



HAL
open science

**Contribution à la gestion de la distribution non continue
de l'eau potable : comprendre le fonctionnement
sociotechnique de l'intermittence des services
d'approvisionnement en eau pour optimiser
l'intervention de l'opérateur du réseau**

Assia Mokssit

► **To cite this version:**

Assia Mokssit. Contribution à la gestion de la distribution non continue de l'eau potable : comprendre le fonctionnement sociotechnique de l'intermittence des services d'approvisionnement en eau pour optimiser l'intervention de l'opérateur du réseau. Autre. École des Ponts ParisTech, 2023. Français. NNT : 2023ENPC0015 . tel-04268617

HAL Id: tel-04268617

<https://pastel.hal.science/tel-04268617>

Submitted on 2 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contribution à la gestion de la distribution non continue de l'eau potable :

Comprendre le fonctionnement sociotechnique de l'intermittence des services d'approvisionnement en eau pour optimiser l'intervention de l'opérateur du réseau

École doctorale N°531, SCIENCES, INGÉNIERIE ET ENVIRONNEMENT (SIE)

Génie Civil et Environnement

Thèse préparée au sein du Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU)

Thèse soutenue en juin 2023, par
Assia MOKSSIT

Composition du jury:

Denis DARTUS
Professeur émérite, ENSEEIHT, Toulouse

Rapporteur

Marie-Hélène ZERAH
Directrice de Recherche, IRD, New Delhi

Rapporteuse

Olivier COUTARD
Directeur de Recherche, CNRS - LATTIS, Paris

Examineur

Driss OUAZAR
Professeur, Ecole Mohammedia des Ingénieurs, Rabat

Examineur

Sandrine VAUCELLE
Maître de conférences, Université Bordeaux Montaigne, Bordeaux

Examinatrice

Aurélie CHAZERAIN
Directrice du Centre Technique Distribution, SUEZ, Paris

Co-Directrice de thèse

Bernard DE GOUELLO
Directeur de Recherche, CEREMA, Paris

Co-Directeur de thèse

Bruno TASSIN
Directeur de Recherche, Ecole des Ponts ParisTech, Paris

Directeur de thèse

Résumé

Mots-clés : Accès à l'eau, distribution par réseau, intermittence, qualité de service, optimisation de la distribution d'eau

Devant une distribution d'eau non continue qui représente la norme pour une grande partie de la population desservie par réseau dans le monde, les études qui portent sur une caractérisation de l'intermittence pour l'amélioration du service d'approvisionnement en eau sont peu nombreuses. Sur les territoires concernés, les difficultés liées à la distribution d'eau sont parfois similaires, et souvent très contextualisées. Elles sont tributaires de la nature de l'intermittence, de son origine, mais aussi des caractéristiques socio-culturelles et des mesures d'adaptation des populations impactées. L'intermittence entraîne des dysfonctionnements techniques et organisationnels, une injustice d'accès à l'eau et des problèmes de sécurité et de santé. De ce fait, l'objectif final des opérateurs est généralement d'assurer aux usagers une transition vers une alimentation continue. Cet objectif, souvent accompagné d'une approche classique de gestion des réseaux d'eau, est rarement atteint. Dans cette thèse nous proposons une approche alternative, basée sur l'amélioration de la qualité de service de distribution d'eau potable, dans le cadre d'un chemin de performance quantifié, avant d'atteindre la continuité de service. L'approche développée se décline en trois étapes :

1. Un diagnostic de l'intermittence et de la qualité de service de l'approvisionnement de l'eau offert par le réseau ;
2. Une analyse de l'écosystème intrinsèque de l'intermittence ;
3. La formulation d'outils pour l'amélioration opérationnelle de l'approvisionnement en eau, avec l'objectif d'assurer l'équité de distribution de la ressource disponible entre les usagers, dans le cadre de l'intermittence.

Dans la première partie, des entretiens avec des opérateurs d'une dizaine de réseaux en intermittence dans le monde, ayant été gérés par SUEZ ont été conduits. Cette étape a permis de proposer une définition technique, et d'explorer le cadre contractuel autour de l'intermittence,

qui fait apparaître son besoin de caractérisation propre, indépendamment des objectifs et standards de l’approvisionnement continu dont elle se distingue. L’intermittence a des caractéristiques, mécanismes de déclenchement, et répercussions qui la caractérisent, et qui s’établissent au sein d’un schéma interconnecté que nous avons pu dresser. Ce schéma démontre, à travers la prévalence de diverses stratégies d’adaptation, la forte implication de l’usager dans l’évolution du service d’approvisionnement en eau en intermittence. Cette implication est liée à la nécessité pour l’usager d’adapter à son besoin d’accès à l’eau une offre de service qui n’y répond pas de manière satisfaisante, selon sa perception du service. A cet effet, nous avons proposé un outil de qualification échelonnée de la qualité du service d’approvisionnement en eau dans le cadre de l’intermittence, qui repose sur les fonctions que doit remplir un système de distribution d’eau, notamment pour répondre aux multiples dimensions inhérentes à la définition réglementaire du droit d’accès à l’eau, et ce avant que la continuité de service ne soit atteinte. La deuxième partie interroge les résultats de la caractérisation du service et la centralité de l’usager, à travers une enquête terrain dans les deux wilaya d’Alger et de Tipaza, en Algérie, où l’intermittence est respectivement historique et actuelle, et pour lesquels l’objectif assumé en début de contrat est l’atteinte du H24. Nous avons réalisé une analyse du vécu de l’intermittence telle que perçue par l’usager, mais également la multiplicité des acteurs qui y sont impliqués, ainsi qu’une analyse des objectifs d’amélioration du service. Les angles d’analyse qui ont été observés sont les suivants :

- Perception de la qualité de service par l’opérateur et par l’usager, selon les contraintes qui régissent l’offre et qui affectent la réponse au besoin ;
- Evaluation du besoin et de l’atteinte de la continuité de service comme objectif d’amélioration de l’offre d’approvisionnement pour les deux terrains.

La troisième et dernière partie propose une démarche technique globale d’amélioration du service par l’opérateur, dans le cadre de l’intermittence. Il s’agit d’une méthodologie basée sur des outils opérationnels, avec l’objectif d’optimiser une équité de distribution de l’eau par réseau, qui tient compte des mesures alternatives prises par l’usager. Cette étape a nécessité de choisir un modèle de simulation hydraulique adéquat, qui permet de décrire des réseaux de distribution d’eau soumis à une alimentation intermittente, qui sont complexes, mal décrits et

souvent mal cartographiés, et de s'insérer dans la stratégie globale d'amélioration des plannings de distribution proposés aux usagers. Cette stratégie permet de répondre aux différents axes de définition de la qualité de service liées au droit d'accès à l'eau qui ont été identifiées en première partie, et se base sur les étapes suivantes :

- la définition de zones de dessertes homogènes ;
- la répartition des volumes d'eau disponibles par l'optimisation des transferts d'eau entre ces zones ;
- la sectorisation des zones définies dans un objectif d'homogénéisation des durées d'approvisionnement ;
- la vérification opérationnelle de la conformité des plannings de distribution.

Abstract

Keywords : Water access, water network distribution, intermittency, quality of service, water supply optimization

Despite intermittent water supply (IWS) being the norm for a large part of the world's population with pipes on premises, there are few studies on the characterization of the intermittency for the improvement of water supply service. In the relevant areas, the difficulties related to water distribution are sometimes similar, and often very contextualized. They depend on the nature of the IWS, its origin, but also on the socio-cultural characteristics and adaptation measures of the populations affected. IWS leads to technical and organizational dysfunctions, unfair access to water and health and safety issues. As a result, the final objective of operators is generally to ensure a transition to a continuous water supply (CWS).

This objective, often accompanied by a classical water system management approach, is rarely achieved. In this document we propose an alternative approach, based on the improvement of the quality of service of drinking water distribution, in the framework of a quantified performance path, before reaching the continuity of supply.

The developed approach is declined into three stages :

1. A diagnosis of IWS and quality of service of the water supply offered by the network ;
2. An analysis of the intrinsic ecosystem of intermittency ;
3. The formulation of tools for the operational improvement of the water supply, with the objective of ensuring equity in the distribution of the available resource, within the framework of intermittency.

In the first section, interviews were held with the operators of a dozen intermittent networks around the world, which had been managed by SUEZ at one point. This step allowed us to propose a technical definition and to explore the contractual framework around intermittency, which reveals its own need for characterization, independently of the objectives and standards of continuous supply from which it is distinguished. Intermittency has characteristics, triggering mechanisms and repercussions that characterize it, and which are established within an interconnected scheme that we have been able to draw up. This diagram demonstrates, through

the prevalence of various adaptation strategies, the strong involvement of the user in the evolution of the intermittent water supply service. This involvement is linked to the necessity for the user to adapt to his need for access to water a service offer that does not respond satisfactorily, according to his perception of the service. To this end, we have proposed a tool for the staged qualification of the quality of water supply service in the context of intermittency, which is based on the functions that a water distribution system must fulfill, in particular to respond to the multiple dimensions inherent in the regulatory definition of the right to access water, before continuity of service is achieved. The second section examines the results of the characterization of the service and the centrality of the user, through a field survey in the two wilayas of Algiers and Tipaza, in Algeria, where IWS is respectively historical and current, and for which the objective assumed at the beginning of the contract is the achievement of H24. We analyze the experience of IWS as perceived by the user, but also the multiplicity of actors involved, as well as an analysis of the objectives of service improvement. The angles of analysis that have been observed are the following :

- Perception of the quality of service by the operator and by the user, according to the constraints that govern the supply and affect the response to the need ;
- Assessment of the need and achievement of service continuity as an objective for improving the supply offer for both networks.

The third and final section proposes an overall technical approach to service improvement by the operator, in the context of intermittent service. It is a methodology based on operational tools, with the objective of optimizing a water distribution equity per network, which takes into account the alternative measures taken by the user. This step required the selection of a suitable hydraulic simulation model, which allows the description of water distribution networks subject to intermittent supply, which are complex, poorly described and often poorly mapped, and to fit into the overall strategy of improving the distribution schedules proposed to users. This strategy makes it possible to respond to the different axes of definition of the quality of service related to the right of access to water that were identified in the first part, and is based on the following steps :

- Definition of homogeneous service areas ;
- Distribution of available water volumes by optimizing water transfers between these areas ;
- Sectorization of the defined zones in order to homogenize the supply durations ; - Operational verification of the conformity of distribution schedules.

Remerciements

Cela ne fait pas si longtemps que je m'étais laissée convaincre que le monde ne s'écroulerait pas si je ne parvenais jamais à terminer cette thèse. Dans l'intervalle, les conditions se sont avérées particulièrement surréalistes et, à l'occasion, éprouvantes. Heureusement, les concours de circonstances avaient déjà fait en sorte que je sois entourée d'un nombre de personnes extraordinaires qui ne m'ont pas laissée baisser les bras...

Ce travail a été de très longue haleine, et son arrivée à bon port, quoique tardive, est un grand soulagement pour moi-même, mais également pour plusieurs personnes dont la contribution a été essentielle.

Je voudrais commencer par exprimer ma gratitude et mon appréciation à mon directeur de thèse et à mon codirecteur de thèse, Bruno Tassin et Bernard de Gouvello, pour leur soutien continu et leur patience dans le développement et l'aboutissement de ce travail. Sans leurs supervisions, leurs encouragements et leurs orientations techniques et scientifiques, ce projet n'aurait pas vu le jour. Ils ont fait preuve d'un soutien, d'un tutorat et d'un engagement hors pair qui m'ont aidée à sortir des sentiers battus lorsque je ne voyais plus le bout du chemin.

Je remercie tout spécialement ma superviseuse industrielle, Aurélie Chazerain, pour son engagement dans ce projet, son soutien, son attitude positive, son sens de l'humour et ses encouragements lorsque j'en avais le plus besoin. J'aimerais également remercier toute l'équipe du Centre Technique de Distribution de Suez qui m'a accueillie chaleureusement et a soutenu ce projet tout au long des années de thèse. En particulier David Duccini et Didier Sinapah pour l'avoir rendu possible, et Pierre Bonardet pour son appui cette dernière année, ainsi que Philippe Mappa et François Figuères pour leur sagesse et leur généreux partage d'expérience sur les conditions opérationnelles des réseaux intermittents.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la collecte et à l'exploitation des données, en particulier Ibrahim Tahar pour ses orientations quant aux particularités du territoire, Vincent Fournier pour avoir joué sans relâche un rôle clé dans l'exécution du travail sur le terrain, Jad Sayegh pour l'expérience à Annaba, Julien Ancourt pour le cours express sur SPSS, et le personnel de SEAAL et de l'ADE qui m'a accueillie avec beaucoup d'ouverture et d'indulgence, ainsi que toutes les personnes interviewées, experts, opérateurs et usagers des services de l'eau, qui ont fourni de la matière à mon travail.

Je voudrais remercier toute l'équipe du LEESU qui a soutenu ce projet. Un remerciement spécial à Annick pour avoir créé un environnement des plus agréables et avoir facilité mon intégration avec bienveillance.

J'aimerais adresser ma gratitude aux personnes qui m'ont porté conseil pour l'organisation de la thèse : Patrice Chatellier, Xavier Litrico, Bambos Charalambous, Diane d'Arras, Nicolas Monterde, Ali Belmeziti, Joshua Cantone, David Taylor et tous les membres du comité de management du Groupe Spécialiste de l'IWA sur l'intermittence.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mes amis qui se reconnaîtront : Un grand merci à vous tous, vous avez su être là quand il le fallait ! Et à ma famille, à mes frères Saad et Abderrahmane, et à ma sœur Kawtar, pour leur incalculable support et leur aide précieuse.

Par-dessus tout, je tiens à exprimer mes plus grands remerciements à mes parents, pour leur amour et leurs encouragements constants au fil des ans.

Notations

W_{AC} (*WaterAccessibility*) Indicateur d'accessibilité exprimé en pourcentage

W_{AF} (*WaterAffordability*) Indicateur d'abordabilité du prix exprimé en pourcentage

$Linear_{travelled}$ Distance parcourue en mètres

$Waiting_{time}$ Temps d'attente estimé en minutes

$Annual_{WaterServiceCost}$ Coût annuel du service de l'eau exprimé en monnaie locale

$Annual_{WaterCopingCost}$ Coût annuel lié aux stratégies d'adaptation exprimé en monnaie locale

$Annual_{HouseholdMedianIncome}$ Revenu médian annuel du ménage exprimé en monnaie locale

V Ensemble des noeuds d'un graphe

E Ensemble des arcs d'un graphe

$G = V \times E$ Graphe dont les noeuds sont les éléments de V et les arcs sont les éléments de E

$G|V'$ Sous-graphe de G induit par les noeuds de V'

S_i Source i du réseau

G_i Sous-graphe de G où seulement la source S_i est active

$p_i(v)$ Pression du noeud v dans G_i

Z_i Zone d'influence alimentée par la source S_i

$T_{(i \rightarrow j)}$ Transfert d'eau de S_i vers S_j

$Q_{(ij,max)}$ Volume maximal d'eau qu'on peut transférer de S_i vers S_j

UC Coefficient d'uniformité

T_k^{max} Optimum local trouvé par la particule k

T^{max} Optimum global trouvé par toutes les particules

$v_i^{intr}(k)$ Vitesse intrinsèque de la particule k

$v_{(i \rightarrow loc)}(k)$ Vecteur de déplacement vers l'optimum local

$v_{(i \rightarrow max)}(k)$ Vecteur de déplacement vers l'optimum global

$pop(i)$ Population obtenue lors de la i^{eme} itération

pop_{surv}^i Population ayant survécu à l'itération i

$sect_i$ Secteur i

$p(v)$ Pression au noeud v

$d(v)$ Demande au noeud v
 $perte(C)$ Perte de charge le long du chemin C
 $centroid(C)$ Centroïde du chemin C
 $n \rightarrow_G m$ Existence d'un chemin dans G qui lie n à m
 $n \not\rightarrow_G m$ Aucun chemin dans G ne lie n à m
 $App_S(sect_i)$ Temps d'approvisionnement du secteur $sect_i$ par la source S
 $app_S(v)$ Temps d'approvisionnement du noeud v par la source S
 $arcs(v)$ Ensemble des arcs directement liés au noeud v
 $adj(sect_i)$ Ensemble des secteurs voisins du secteur $sect_i$
 $orph_s(v)$ Ensemble des noeuds qui deviennent isolés de S si on retire v
 H Charge hydraulique / hauteur piézométrique
 H_i et H_j Charges aux nœuds i et j
 $\frac{p}{\rho g}$ Hauteur de pression
 $\frac{v^2}{2g}$ Hauteur cinétique
 z La cote sol
 Q Débit dans une conduite
 Q_{ij} Débit dans la conduite ou l'élément hydraulique, connectant les nœuds i et j
 $sgn(X)$ Signe de X
 R_{ij} Constante de la conduite, dépendant de sa longueur, son diamètre et sa rugosité
 C_{ij} Constante de frottement de Hazen-Williams
 D_{ij} et L_{ij} Diamètre et longueur de la conduite, respectivement
 β Une constante dépendant du système d'unités utilisé
 V Paramètre de contrôle continu de la vanne
 $H_j - H_i$ Gain de charge à travers la pompe
 A, B et C Constantes décrivant la pompe
 H_p Augmentation fixe de la charge au nœud i
 C_i Consommation au nœud i
 J_i Tous les nœuds connectés au nœud i

M_m Les éléments de maille
 Δh_{ij} Perte de charge au niveau de l'élément entre les nœuds i et j
 ΔH_f Différence d'élévation entre les nœuds de tête fixes
 ΔH^{it} Correction de charge qui tend à satisfaire l'équation de continuité à un nœud
 R'_{ij} Résistances hydrauliques des tronçons de la maille
 b Vecteur de (m) composantes nulles et (nn) composantes q_i
 Q_k Solution obtenue à l'itération du système ($A.Q = b$)
 $(R'_{ij})_k$ Correction de la résistance
 H^* Vecteur solution qui satisfait l'équation ($f_i(H) = 0$)
 δH^k Vecteur correctif
 $\| \|$ Norme euclidienne
 ε Une tolérance spécifiée
 p_i Pression à un nœud i, ou en amont de l'orifice
 p_{min} Pression minimale requise au niveau d'un nœud i
 p_{max} Pression maximale à un nœud i
 q_i Demande à un nœud i, ou décharge au niveau de l'orifice
 q_{max} Demande spécifiée (demandée) par l'utilisateur à un nœud i
 p_0 Pression en aval de l'orifice
 β a une valeur de 0,5 selon la théorie et l'expérience de laboratoire
 K_i Coefficient d'orifice
 D_r Diamètre de la conduite équivalente
 L_r Longueur de la conduite équivalente
 C_r Coefficient de rugosité de Hazen-Williams de la conduite équivalente
 D_i Diamètre de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur
 L_i Longueur de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur
 C_i Coefficient de rugosité de Hazen-Williams de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur
 $\#V$ Cardinal de V , qui correspond au nombre d'éléments de V

Abréviations

ADE : Algérienne des Eaux

AHP : Processus d'hierarchie analytique

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts (Algérie)

ANN : Réseau neuronal artificiel

APC : Assemblée populaire communale (Algérie)

ASIM : Aguas, Servicios e Inversiones de México (Mexique)

AT : Assistance technique

CATO : Centre d'Appel Téléphonique Opérationnel (Algérie)

CBA : Cluster des boissons algériennes

CI : Indice de cohérence

CWS (*Continuous Water Supply*) : Approvisionnement continu en eau

DDM (*Demand Driven Model*) : Modèle basé sur la demande

DG : Direction Générale

DHW : Direction de l'hydraulique de la wilaya (Algérie)

DMA/DMZ (*District Metered Areas/District Metered Zones*) : Secteurs

DRE : Direction des ressources en eau (Algérie)

ENF /NRW : Eaux Non Facturées / Non Revenue Water

EPEAL : Entreprise de production de gestion et de distribution d'eau d'Alger (Algérie)

FAO (*Food and Agriculture Organization*) : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

FAST (*Functional Analysis System Technique*) : Technique d'analyse fonctionnelle d'un système.

H24 : Approvisionnement en eau en continu, 24h sur 24 et 7 jours sur 7, noté aussi 24×7

HT : Hors taxes

IBNET (*The International Benchmarking Network*) : Le réseau international de référence pour les services d'eau et d'assainissement, financé par le groupe de la banque mondiale pour l'eau

ILI (*Infrastructure Leakage Index*) : Indice de fuite des infrastructures

ILP : Indice linéaire des pertes

IWA : International Water Association

IWS (*Intermittent Water Supply*) : Approvisionnement intermittent en eau

KPI (*Key Performance Indicator*) : Indicateur clé de performance

LPCD (*Liter per capita per day*) : Litre par personne par jour

LYDEC : Lyonnaise des eaux de Casablanca (Maroc)

MDGs (*Millenium Development Goals*) : Objectifs du millénaire pour le développement

MOC : Méthode des caractéristiques

MRE : Ministère des Ressources en Eau (Algérie)

NWC (*National Water Company*) : Compagnie nationale des eaux en Arabie Saoudite (Arabie Saoudite)

O&M : Opération et Management

ONA : Office National de l'Assainissement (Algérie)

ONG : Organisme Non Gouvernemental

OPEX (*Operating Expenses*) : Dépenses d'exploitation

PALYJA : PAM (de l'indonésien *Perusahaan Air Minum* pouvant être traduit en « compagnie des eaux (de la) » Lyonnaise Jaya (Indonésie)

PEHD : Polyéthylène haute densité

PPP : Partenariat Public Privé

PRV : Vanne réductrice de pression ou stabilisateur/réducteur de pression

PSO (*Particle Swarm Optimization*) : Optimization à essaim de particules

RAAD : Rapport Annuel au délégataire

RDE : Réseau de distribution d'eau

SDEM : Station de dessalement d'eau de mer

SDGs (*Sustainable Development Goals*) : Objectifs de développement durable

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (Algérie)

SEACO : Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine (Algérie)

SEATA : Société des eaux et de l'assainissement d'El-Tarf et d'Annaba (Algérie)

SEDAL : Société de la wilaya d'Alger (Algérie)

SEOR : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran (Algérie)

SOGREAH : Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques (France)

SONADE : Société Nationale de Distribution de l'Eau (Algérie)

SP : Station de pompage

SPIK : Système de production Isser-Keddara-Boudouaou (Algérie)

ST : Station de traitement d'eau potable

UFC : Unité formant colonie

UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'enfance

VEG : Ventes en Gros

VIP (*Very Important People*) : Personnes très importantes

WHO (*World Health Organization*) : Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Résumé | i |
| Abstract | iv |
| Remerciements | vii |
| Glossaire | xii |
| | |
| Introduction | 1 |
| | |
| Partie 1 Diagnostic du système : Repenser l’intermittence | 11 |
| | |
| 1 Chapitre 1 Accès à l’eau : Contexte et positionnement de l’intermittence vis-à-vis de l’accès à l’eau | 14 |
| 1.1 L’accès à l’eau | 15 |
| 1.1.1 Droit à l’eau et état des ressources | 15 |
| 1.1.2 Moyens d’accès à l’eau | 19 |
| 1.1.3 Approvisionnement par réseau | 21 |
| 1.2 L’approvisionnement intermittent | 23 |
| 1.2.1 Population concernée | 24 |
| 1.3 Une littérature en inadéquation avec la portée du phénomène | 28 |
| 1.4 Un focus sur le passage en alimentation continue | 29 |
| 1.5 Synthèse du chapitre 1 | 40 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2 | Chapitre 2 Portrait du régime de l’intermittence | 42 |
| 2.1 | Méthodologie | 43 |
| 2.2 | Réseaux examinés | 45 |
| 2.3 | Nature du régime et types d’intermittence | 49 |
| 2.3.1 | Définition de l’intermittence | 49 |
| 2.3.2 | Facteurs causals de l’intermittence | 51 |
| 2.3.3 | Problèmes et risques associés à l’intermittence | 60 |
| 2.4 | Interrelation des causes et des conséquences de l’intermittence | 70 |
| 2.5 | Synthèse du chapitre 2 | 75 |
| 3 | Chapitre 3 Adaptation de l’usager face au défaut du régime : Elargissement du périmètre d’analyse | 77 |
| 3.1 | Nécessité d’adaptation | 78 |
| 3.2 | Stratégies d’adaptation de l’usager | 81 |
| 3.2.1 | Mesures d’adaptation de l’offre du réseau | 81 |
| 3.2.2 | Focus sur les modes alternatifs d’alimentation | 86 |
| 3.3 | Stratégies de sortie et adaptation du schéma d’accès à l’eau | 92 |
| 3.3.1 | Acteurs et parties prenantes : Centralité de l’usager | 94 |
| 3.4 | Synthèse du chapitre 3 | 97 |
| 4 | Chapitre 4 Qualification de la qualité de service de l’approvisionnement en intermittence | 99 |
| 4.1 | Concept de la qualité de service | 100 |
| 4.1.1 | Fonction d’un système de distribution d’eau | 100 |
| 4.1.2 | Niveau ou qualité de service | 101 |
| 4.2 | Outil d’évaluation de la qualité de service de l’approvisionnement intermittent | 103 |
| 4.2.1 | Méthodologie | 104 |
| 4.2.2 | Décomposition du droit à l’eau et des objectifs pour le développement durable (SDGs) | 105 |
| 4.3 | Evaluation globale | 113 |
| 4.3.1 | Schéma obtenu | 113 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.3.2 | Application | 114 |
| 4.3.3 | Considération spatiale de l'intermittence | 117 |
| 4.4 | Limites du modèle de qualité de service | 119 |
| 4.4.1 | Interrelations entre les dimensions | 119 |
| 4.4.2 | Différentes qualités pour différents usages | 121 |
| 4.5 | Synthèse du chapitre 4 | 122 |

Partie 2 Etude de cas : Vivre l'intermittence *Rapport à l'eau et écosystème intrinsèque* 123

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Chapitre 5 Méthodologie adoptée : L'enquête terrain | 126 |
| 5.1 | Conception de l'étude | 127 |
| 5.1.1 | Objectif et méthodologie générale | 127 |
| 5.1.2 | Choix des terrains | 129 |
| 5.2 | Présentation de l'étude | 132 |
| 5.3 | Présentation des terrains | 135 |
| 5.3.1 | Généralités sur le secteur de l'eau en Algérie | 135 |
| 5.3.2 | Alger | 138 |
| 5.3.3 | Tipaza | 149 |
| 5.3.4 | Annaba : Elargissement du périmètre et ouverture | 156 |
| 5.4 | Synthèse du chapitre 5 | 159 |
| 6 | Chapitre 6 Perception de l'opérateur : Surmonter l'intermittence | 161 |
| 6.1 | À l'épreuve du territoire | 162 |
| 6.1.1 | Ressources en eau limitées et emprise croissante d'Alger sur l'espace hydraulique régional | 163 |
| 6.1.2 | Demande toujours grandissante au sein d'une urbanisation importante, rapide et pauvrement maîtrisée | 171 |
| 6.1.3 | Pauvre connaissance des indicateurs | 174 |
| 6.1.4 | Opposition entre Alger et Tipaza | 178 |
| 6.1.5 | Un réseau soumis à beaucoup de stress avant et après conversion | 183 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.1.6 | Inadéquation de la disponibilité des investissements avec les plans de déploiement | 189 |
| 6.2 | À l'épreuve du politique | 190 |
| 6.2.1 | Le H24 est un objectif politique | 191 |
| 6.2.2 | Gestion urgentiste d'un système fragile | 193 |
| 6.2.3 | Rigidité de la procédure publique gouvernementale et législative | 195 |
| 6.2.4 | Rapport contradictoire en relation avec l'étranger | 200 |
| 6.2.5 | Perturbations : renouvellement contractuel fréquent | 201 |
| 6.2.6 | Un double discours financier | 202 |
| 6.2.7 | Le H24 est un objectif contre-productif : point de non-retour face à la limitation temporelle et à une exigence résultante | 204 |
| 6.3 | À l'épreuve de la société | 206 |
| 6.3.1 | L'intervention de parties externes : lotisseurs, acteurs alternatifs | 206 |
| 6.3.2 | Communication à deux niveaux et évaluation contradictoire | 208 |
| 6.3.3 | Absence de structures représentatives/regroupant des usagers (syndics) | 211 |
| 6.3.4 | Evolution de la confiance/exigence de l'utilisateur en fonction du service proposé | 213 |
| 6.4 | Synthèse du chapitre 6 | 216 |
| 7 | Chapitre 7 Perception de l'utilisateur : Rapport à l'eau | 218 |
| 7.1 | Evolution de l'approvisionnement et des usages | 219 |
| 7.1.1 | Description de l'approvisionnement | 219 |
| 7.1.2 | Usages adaptés | 232 |
| 7.2 | Evaluation de la qualité de service | 236 |
| 7.2.1 | Evaluation de la qualité de service par l'utilisateur | 236 |
| 7.2.2 | Déclinaison géographique de l'évaluation | 237 |
| 7.2.3 | Comparaison entre évaluation de l'opérateur et celle de l'utilisateur | 240 |
| 7.2.4 | Priorisation des dimensions de la qualité de service | 242 |
| 7.3 | Ecosystème intrinsèque à l'offre de distribution en eau | 243 |
| 7.3.1 | Equipements utilisés | 243 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.3.2 | Acteurs et intervenants | 250 |
| 7.3.3 | Mise en perspective : Cas de Annaba | 261 |
| 7.4 | Synthèse du chapitre 7 | 267 |

Partie 3 Améliorer l'intermittence : Outils opérationnels pour l'amélioration du service **269**

8 Chapitre 8 Modélisation de l'intermittence : Ligne de base des solutions d'amélioration **274**

| | | |
|-------|--|-----|
| 8.1 | Modélisation hydraulique des réseaux | 275 |
| 8.1.1 | Approche classique | 275 |
| 8.1.2 | Adaptation et alternatives de l'approche classique | 282 |
| 8.2 | Modélisation des réseaux d'eau en intermittence | 285 |
| 8.2.1 | La nécessité de modèles spécifiques | 285 |
| 8.2.2 | Spécificités à prendre en compte | 287 |
| 8.2.3 | Processus de mise en charge et autres phénomènes hydrauliques | 290 |
| 8.2.4 | Revue bibliographique des modélisations de la période post-remplissage | 292 |
| 8.3 | Méthode de modélisation proposée | 295 |
| 8.3.1 | Objectif | 295 |
| 8.3.2 | Cadre de modélisation | 295 |
| 8.3.3 | Méthode proposée | 297 |
| 8.3.4 | Application | 300 |
| 8.4 | Synthèse du chapitre 8 | 311 |

9 Chapitre 9 Solutions pour l'amélioration du service : Proposition d'outils opérationnels **313**

| | | |
|-------|---|-----|
| 9.1 | Présentation de la démarche globale | 314 |
| 9.1.1 | Etat de l'art d'amélioration de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence | 314 |
| 9.1.2 | Choix des volets d'amélioration | 315 |
| 9.1.3 | Stratégie adoptée | 316 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 9.2 | Méthodes, spécifications ou algorithmes développés par étape | 317 |
| 9.2.1 | Affectation/estimation des demandes et pertes | 317 |
| 9.2.2 | Définition des Zones d'influence des réservoirs | 318 |
| 9.2.3 | Transferts volumiques : Equilibrage des volumes entre les réservoirs . . . | 325 |
| 9.2.4 | Sectorisation des zones d'influence | 345 |
| 9.2.5 | Définition du planning | 358 |
| 9.2.6 | Fiabilité du planning | 365 |
| 9.3 | Synthèse du chapitre 9 | 377 |

Conclusion et perspectives **379**

References **389**

Annexes **411**

| | | |
|-------|--|-----|
| .1 | Grille d'entretien et exemple de réponse sur version papier | 412 |
| .2 | Critères de choix des terrains d'études | 416 |
| .3 | Guide d'entretien des opérateurs de SEAAL et l'ADE | 417 |
| .4 | Principaux thèmes pour la grille d'entretien | 419 |
| .5 | Déclinaison des thématiques d'entretien par catégorie | 422 |
| .6 | Questionnaire Usager | 425 |
| .7 | Acteurs et thématiques examinées | 434 |
| .8 | Équations régissant la modélisation hydraulique classique des réseaux d'eau potable | 442 |
| .9 | Mode d'emploi de l'outil dégradé pour le suivi des programmes de distribution . | 454 |
| .10 | Spécifications de l'outil d'aide à la décision pour le Master Planning | 463 |
| .10.1 | General Requirements | 463 |
| .10.2 | Modules | 469 |
| .10.3 | Tool Development | 478 |
| .11 | Résultats d'expériences d'optimisation des transferts réalisée par l'algorithme PSO pour différentes valeurs de réponse à la demande par moyens alternatifs . . | 486 |

| | | |
|-------|--|-----|
| .12 | Résultats de l'optimisation de la sectorisation sur la zone 3 du réseau Net3 modifié | 492 |
| .12.1 | Secteur 1 | 492 |
| .12.2 | Secteur 2 | 494 |
| .12.3 | Secteur 3 | 495 |
| .12.4 | Secteur 4 | 496 |
| .12.5 | Secteur 5 | 497 |
| .12.6 | Secteur 6 | 498 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|---|-----|
| 1.1 | <i>Réserves d'eau dans le monde (Shiklomanov, 1993)</i> | 17 |
| 1.2 | <i>Estimation de la population desservie par réseau par une alimentation intermittente dans les pays à revenus faibles et moyens</i> | 27 |
| 1.3 | <i>Objectifs contractuels de systèmes d'approvisionnement en eau réceptionnés en situation d'intermittence</i> | 31 |
| 2.1 | <i>Liste des opérateurs interviewés</i> | 44 |
| 2.2 | <i>Caractéristiques des réseaux examinés</i> | 47 |
| 2.3 | <i>Obstacles à l'amélioration du service de l'eau dans les réseaux examinés</i> | 53 |
| 2.4 | <i>Effet de l'approvisionnement intermittent sur les casses signalées (Alger) - Valeurs adaptées de la présentation de David Duccini aux Journée Techniques Innovation - SUEZ (2009)</i> | 63 |
| 3.1 | <i>Lien entre les pratiques d'adaptation et les étapes d'approvisionnement en eau</i> . | 80 |
| 4.1 | <i>Classification du niveau de service, la valeur du client, les critères de satisfaction de la valeur et les KPI pour l'évaluation des réseaux de distribution d'eau : adapté de (Lee and Kong, 2017)</i> | 102 |
| 4.2 | <i>Exigences de performance pour les techniques domestiques de traitement des eaux et critères de réduction log10 associés pour les objectifs de protection "temporaire", "protecteur" et "hautement protecteur" contre les risques (Hunter and Fewtrell, 2001)</i> | 109 |
| 6.1 | <i>Provenance des ressources en eau superficielles de la wilaya d'Alger</i> | 167 |
| 6.2 | <i>Water Balance (Bilan d'eau) selon l'IWA</i> | 177 |
| 6.3 | <i>Comparaison des structures tarifaires entre SEAAL et LYDEC, données issues d'un ensemble de factures de LYDEC et de SEAAL, en 2020.</i> | 196 |
| 7.1 | <i>Provenance et destination des ressources en eaux superficielles de la wilaya d'Alger</i> | 235 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 7.2 | <i>Exemples de caractéristiques de surpresseurs sur le marché algérien</i> | 246 |
| 8.1 | <i>Exemple de formulation d'une demande dépendante de la pression [Ingeduld et al., 2008] :</i> | 288 |
| 8.2 | <i>Modélisation de l'intermittence dans la littérature</i> | 295 |
| 8.3 | <i>Eléments du réseau : structure du modèle de distribution de Annaba (2010) . . .</i> | 300 |
| 8.4 | <i>Valeurs de la Rugosité en fonction du diamètre de la conduite</i> | 305 |
| 9.1 | <i>Liste des données nécessaires pour la formulation du problème</i> | 332 |
| 9.2 | <i>Intervalle d'initialisation des paramètres</i> | 339 |
| 9.3 | <i>Interprétation des valeurs de la matrice de comparaison des critères</i> | 362 |
| 9.4 | <i>Valeurs de l'indice aléatoire de la méthode AHP pour moins de 10 critères . . .</i> | 363 |
| 9.5 | <i>Matrice de comparaison résultante de l'atelier organisé à Annaba</i> | 364 |
| 9.6 | <i>Résultats de pondération des critères définis lors de l'atelier de Annaba</i> | 365 |

Table des figures

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | <i>Répartition de la rareté physique et économique de l'eau issue d'une étude de l'Institut International de Gestion de l'Eau utilisant le modèle Watersim (Molden et al., 2007)</i> | 18 |
| 1.2 | <i>Composantes de l'accès à l'eau</i> | 20 |
| 1.3 | <i>Process d'un système d'alimentation en eau (adapté de Trifunovic, 2015)</i> | 22 |
| 1.4 | <i>Périmètre de définition de l'alimentation en intermittence : Accès à l'eau par réseau, l'intermittence est constatée au niveau d'un point d'accès au réseau au sein du périmètre de consommation de l'utilisateur</i> | 24 |
| 1.5 | <i>Moyenne des durées d'approvisionnement en eau pour l'ensemble des services publics renseignant la base IBNET d'un pays pour la dernière année (entre 1995 et 2012) pour laquelle des données sont disponibles (Carte reconstituée sur la base de l'indicateur « continuité de service » d'IBNET, https://database.ib-net.org/Reports/Indicators/HeatMap?itemId=34)</i> | 26 |
| 1.6 | <i>Répartition temporelle des références scientifiques dans la littérature sur l'intermittence dans les 4 bases</i> | 29 |
| 1.7 | <i>Répartition des thèmes traités dans les références scientifiques de la littérature sur l'intermittence, sur la base de 162 articles.</i> | 36 |
| 2.1 | <i>Facteurs induisant ou aggravant les risques sanitaires dans un approvisionnement en intermittence</i> | 62 |
| 2.2 | <i>Evolution des fuites à Hussein Dey - Alger, avant et après la transition à l'alimentation continue (Janvier 2008) Source : Graphe adapté de la présentation de David Duccini aux Journées Techniques Innovation - SUEZ (2009)</i> | 63 |
| 2.3 | <i>Facteurs induisant ou aggravant la détérioration du réseau et les fuites dans un approvisionnement en intermittence</i> | 64 |
| 2.4 | <i>Facteurs induisant les problèmes de facturation en approvisionnement intermittent</i> | 65 |
| 2.5 | <i>Facteurs induisant ou aggravant l'inéquité de distribution dans des réseaux alimentés en intermittence</i> | 67 |

| | | |
|------|--|-----|
| 2.6 | <i>Facteurs induisant ou aggravant le gaspillage d'eau dans des réseaux en intermittence</i> | 68 |
| 2.7 | <i>Exemples de facteurs imposant des pratiques d'adaptation aux usagers dans des réseaux en alimentation intermittente</i> | 70 |
| 2.8 | <i>Spirale de dégradation du service de la distribution d'eau en intermittence</i> | 71 |
| 2.9 | <i>Interrelations entre les différentes dimensions de l'intermittence</i> | 73 |
| 2.10 | <i>Extrait du schéma de description des dynamiques de l'intermittence : Zoom sur les stratégies d'adaptation des usagers</i> | 76 |
| 3.1 | <i>Adaptation des composantes de l'accès à l'eau pour un schéma d'approvisionnement en intermittence</i> | 80 |
| 3.2 | <i>Exemple d'un réservoir installé dans une cour de maison à Alger</i> | 84 |
| 3.3 | <i>Stratégies d'adaptation des usagers pour un schéma d'approvisionnement en intermittence</i> | 93 |
| 3.4 | <i>Exemples d'interlocuteurs directs intervenant dans le schéma d'approvisionnement en intermittence</i> | 94 |
| 3.5 | <i>Illustration d'exemples d'équipements nécessaires pour la mise en place de stratégies d'adaptation par l'utilisateur</i> | 98 |
| 4.1 | <i>Méthodologie adoptée pour la construction de l'outil d'évaluation de la qualité de service en approvisionnement intermittent</i> | 104 |
| 4.2 | <i>Hiérarchie des besoins en eau (litre par habitant par jour) Source : (WHO Regional Office for South-East Asia, 2005)</i> | 107 |
| 4.3 | <i>Coûts mensuels d'adaptation, factures d'eau et disposition à payer par décile de revenu dans les ménages népalais, adapté de (Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005)</i> | 112 |
| 4.4 | <i>Disposition à payer pour l'accès à l'eau par revenu moyen dans les ménages népalais, adapté des données du graphique de (Subhrendu K. Pattanayak & Yang, 2005)</i> | 113 |
| 4.5 | <i>Framework pour l'évaluation de l'amélioration de la qualité des services d'eau</i> | 114 |
| 4.6 | <i>Evolution de la qualité de service d'approvisionnement en eau potable à Saltillo entre 2001 et 2019</i> | 115 |
| 4.7 | <i>Evolution de la fréquence d'approvisionnement à Jeddah en 2008, 2010, 2012 et 2014 - Adapté d'une présentation de la NWC aux journées techniques de SUEZ (2015)</i> | 119 |
| 4.8 | <i>Profil de consommation d'eau en fonction du temps de trajet (Cairncross et Feachem, 1997)</i> | 120 |

| | | |
|------|--|-----|
| 5.1 | <i>Contrats de SUEZ entre 1994 et 2019 sur des réseaux d'eau en intermittence – Carte réalisée sur la base des informations fournies par le département Projet Eaux de SUEZ (2019) et superposées sur le fond de carte des régions du monde identifiées comme étant les plus impactées par l'intermittence par le groupe spécialiste sur l'intermittence de l'IWA (IWA IWS SG Newsletter (October 2020))</i> | 130 |
| 5.2 | <i>Exemple de schéma d'interrogation adapté au profil de l'interlocuteur</i> | 133 |
| 5.3 | <i>Evolution de la subdivision administrative en wilayas de l'Algérie en 1984 (gauche) et 2019 (droite) – extraites de bases de données publiques (https://gadm.org pour la répartition en 48 wilayas et requêtage sur Open Street Map pour la subdivision en 58 wilayas)</i> | 136 |
| 5.4 | <i>Organisation de la gestion AEP-Assainissement en Algérie, schéma adapté d'une présentation du MRE (2012)</i> | 137 |
| 5.5 | <i>Etat de la desserte en eau sur la Wilaya d'Alger en mai 2006 - Extrait du premier rapport annuel de SEAAL</i> | 139 |
| 5.6 | <i>Projection de la production d'eau sur le périmètre de la Wilaya d'Alger en 2020 - projection réalisée en août 2019</i> | 140 |
| 5.7 | <i>Evolution mensuelle et spatiale du H24 à Alger entre mai 2006 et janvier 2011, élaborée à partir des données de SEAAL</i> | 145 |
| 5.8 | <i>Evolution des besoins en eau de la wilaya d'Alger entre 2008 et 2019</i> | 147 |
| 5.9 | <i>Estimation des gains à réaliser grâce aux coupures nocturnes à Alger</i> | 148 |
| 5.10 | <i>Programme de rationnement annoncé par SEAAL en juin 2021</i> | 149 |
| 5.11 | <i>Etat de la desserte en eau dans la Wilaya de Tipaza en décembre 2012</i> | 150 |
| 5.12 | <i>Localisation et tâches urbaine des terrains - Alger et Tipaza, données issues de requêtage sur la base de données Open Street Map - 2020</i> | 151 |
| 5.13 | <i>Evolution de la répartition de la desserte dans la wilaya de Tipaza</i> | 154 |
| 5.14 | <i>Positionnement des trois terrains sur image satellitaire – Fond de carte Open Street Map Source : Elaboration propre</i> | 158 |
| 6.1 | <i>Evolution des limites administratives de la wilaya d'Alger</i> | 164 |
| 6.2 | <i>Nappes souterraines de la Mitidja et du Sahel et champs captants</i> | 165 |
| 6.3 | <i>Historique de la production d'eau souterraine de la Mitidja</i> | 166 |
| 6.4 | <i>Synoptique du système d'approvisionnement Isser-Keddara-Boudouaou-Alger (les valeurs dans les cadres bleus représentent les capacités des barrages)</i> | 167 |
| 6.5 | <i>Répartition des ressources en eau entre la wilaya d'Alger et les wilayas limitrophes en 2012</i> | 168 |

| | | |
|------|---|-----|
| 6.6 | <i>Ressources en eau et équipement pour l'approvisionnement de la wilaya d'Alger, schéma adapté à partir de l'actualisation du schéma directeur de 2009</i> | 170 |
| 6.7 | <i>Evolution de la population des wilayas d'Alger et de Tipaza selon les recensements nationaux de 1977 - 1987 - 1998 et 2008</i> | 171 |
| 6.8 | <i>Réseau d'eau à Alger et Tipaza en 2019</i> | 179 |
| 6.9 | <i>Topographie des wilayas d'Alger et de Tipaza</i> | 186 |
| 6.10 | <i>Points sensibles pour la distribution d'eau à Alger, issu des données de SEAAL (rapport annuel de 2019)</i> | 209 |
| 7.1 | <i>Quartiers de la wilaya d'Alger</i> | 220 |
| 7.2 | <i>Evaluation de la régularité de l'approvisionnement par les résultats du questionnaire</i> | 222 |
| 7.3 | <i>Carte d'évaluation de la régularité de l'approvisionnement à Alger : résultats du questionnaire</i> | 222 |
| 7.4 | <i>Résultats du questionnaire : Qualification du type d'approvisionnement à Alger .</i> | 226 |
| 7.5 | <i>Résultat du questionnaire : Evaluation des perturbations du service</i> | 228 |
| 7.6 | <i>Nombre de réponses obtenues à Tipaza</i> | 230 |
| 7.7 | <i>Qualification de la nature de l'approvisionnement par les répondants au questionnaire</i> | 231 |
| 7.8 | <i>Résultat du questionnaire : réponse à la question « buvez-vous l'eau du robinet ? »</i> | 234 |
| 7.9 | <i>Résultat du questionnaire : pratiques de traitement domestique utilisées</i> | 234 |
| 7.10 | <i>Notation des dimensions de la qualité de service par les répondants au questionnaire Source : Elaboration propre</i> | 237 |
| 7.11 | <i>Résultat de l'évaluation de la qualité de service à Alger par les répondants au questionnaire</i> | 238 |
| 7.12 | <i>Résultat de l'évaluation de la qualité de service par les répondants au questionnaire</i> | 239 |
| 7.13 | <i>Evaluation de la qualité de service de distribution d'eau à Tipaza par l'opérateur (années 2012 et 2019) Source : Elaboration propre</i> | 240 |
| 7.14 | <i>Evaluation de la qualité de service de distribution d'eau à Tipaza par l'opérateur et par l'utilisateur (année 2019) Source : Elaboration propre</i> | 241 |
| 7.15 | <i>Priorisation des dimensions de la qualité de service par les répondants au questionnaire Source : Elaboration propre</i> | 242 |

| | | |
|------|---|-----|
| 7.16 | <i>Schéma d'un réservoir installé posé un blacon à Alger</i> | 244 |
| 7.17 | <i>Répartition des sources en eau pour les répondants au questionnaire (Alger et Tipaza)</i> | 249 |
| 7.18 | <i>Exemple d'offre de livraison d'eau potable à Alger-Dar El Beida</i> | 259 |
| 7.19 | <i>Positionnement de la zone de desserte de Annaba et de ses stations</i> | 262 |
| 7.20 | <i>Entrée de Registre à la Station des Santons les 24 et 25 novembre 2019</i> | 263 |
| 7.21 | <i>Fréquences de distribution en eau par sortie de stations selon le témoignage des chefs et agents de stations de Annaba</i> | 264 |
| 7.22 | <i>Schéma d'un système de raccordement d'un réservoir et surpresseur au réseau domestique à Annaba</i> | 265 |
| 8.1 | <i>Étapes de modélisation</i> | 275 |
| 8.2 | <i>Relation entre le débit d'eau et la pression au niveau d'un orifice [Wagner et al., 1988]</i> | 280 |
| 8.3 | <i>Limites et difficultés liées aux étapes de modélisation</i> | 281 |
| 8.4 | <i>Schéma conceptuel du principe de modélisation</i> | 297 |
| 8.5 | <i>Modèle hydraulique DDM de Annaba</i> | 301 |
| 8.6 | <i>Modèle hydraulique de la station des Santons à Annaba</i> | 302 |
| 8.7 | <i>Feuille de calcul du synoptique dynamique du réseau</i> | 303 |
| 8.8 | <i>Points de calage dans la feuille de calcul</i> | 306 |
| 8.9 | <i>Exemple de Courbe de Lorenz</i> | 308 |
| 8.10 | <i>Courbes de Lorenz pour la répartition de la population de Annaba (situation décrite début 2020)</i> | 309 |
| 8.11 | <i>Répartition de la dotation en eau par quartier de Annaba</i> | 310 |
| 9.1 | <i>Étapes du processus proposé pour l'amélioration de la qualité de service dans le cadre de l'intermittence</i> | 317 |
| 9.2 | <i>Saisie des données sur l'extension QGIS de configuration de l'équilibre besoin ressources</i> | 318 |
| 9.3 | <i>logigramme zones d'influence</i> | 321 |
| 9.4 | <i>Réseau réparti en zones d'influence</i> | 322 |
| 9.5 | <i>Réseau réparti en zones d'influence</i> | 323 |

| | | |
|------|---|-----|
| 9.6 | <i>Evolution de la pression aux noeuds dans les 3 zones d'influence définies par simulation</i> | 324 |
| 9.7 | <i>Logigramme Optimisation PSO</i> | 338 |
| 9.8 | <i>Résultat d'une expérience PSO</i> | 339 |
| 9.9 | <i>Moyenne de UC sur 100 expériences de l'algorithme PSO</i> | 340 |
| 9.10 | <i>Histogramme de 100 expériences PSO</i> | 340 |
| 9.11 | <i>Schéma de principe de l'algorithme génétique</i> | 341 |
| 9.12 | <i>Moyenne de UC sur 100 expériences de l'algorithme génétique</i> | 344 |
| 9.13 | <i>Histogramme de l'algorithme génétique sur 100 expériences</i> | 344 |
| 9.14 | <i>Sectorisation initiale en 5 secteurs</i> | 349 |
| 9.15 | <i>Logigramme Optimisation de la sectorisation</i> | 354 |
| 9.16 | <i>Sectorisation en 5 secteurs</i> | 355 |
| 9.17 | <i>Sectorisation en 6 secteurs</i> | 355 |
| 9.18 | <i>Sectorisation en 7 secteurs</i> | 356 |
| 9.19 | <i>Durée d'approvisionnement finale par nombre de secteurs</i> | 356 |
| 9.20 | <i>Evolution de la sectorisation pour 5 secteurs</i> | 358 |
| 9.21 | <i>Schéma de représentation des paramètres temporels d'un planning de distribution pour un secteur i</i> | 359 |
| 9.22 | <i>Procédure pour l'établissement d'un programme de distribution fiable</i> | 366 |
| 9.23 | <i>Schéma bloc des spécifications d'un outil de suivi de la conformité des plannings de distribution</i> | 369 |
| 9.24 | <i>Stations concernées par la procédure de fiabilisation du programme de distribution</i> | 370 |
| 9.25 | <i>Données de saisie (1. Date et Numéro de semaine)</i> | 371 |
| 9.26 | <i>Données de saisie (2. Heures de début et de fin de desserte)</i> | 371 |
| 9.27 | <i>Capture de la liste des consommateurs pour la vérification de la conformité du Planning - Mission de Annaba (janvier 2020)</i> | 372 |
| 9.28 | <i>Mode d'emploi de la feuille de monitoring de la zone Casbah</i> | 374 |
| 9.29 | <i>Bilan hebdomadaire sur les centres Annaba I et II</i> | 375 |
| 9.30 | <i>Stockage de l'information sur l'année</i> | 375 |

*« With 10 years remaining on the Sustainable Development Goal clock, time is short to tackle intermittent water supply, which undermines efforts to achieve the goal of universal and equitable access to safe drinking water ».*¹

Kalanithy Vairavamoorthy, CEO
of the International Water
Association (IWA), December
2020

Introduction

1. « À dix ans de l'échéance fixée pour les objectifs de développement durable, le temps presse pour s'attaquer au problème de l'approvisionnement intermittent en eau, qui mine les efforts déployés pour atteindre l'objectif d'un accès universel et équitable à l'eau potable » Kalanithy Vairavamoorthy, CEO de l'Association Internationale de l'Eau (IWA) ; Décembre 2020

La sécurisation de l'accès à l'eau est l'un des principaux défis imposés par la situation mondiale actuelle qui est régie par un déséquilibre croissant entre les ressources existantes, dont la vulnérabilité se renforce à la lumière du changement climatique, et de la pression exercée par la population et l'urbanisation croissantes.

L'Assemblée Générale des Nations Unies de 2015, dans son sixième objectif de développement durable adopté par l'ensemble des pays du monde, a réaffirmé la nécessité d'assurer d'ici 2030, un accès universel et équitable à une eau potable salubre et abordable pour tous [The United Nations, 2015]. Si cette nécessité, indispensable au plein exercice du droit à la vie de l'être humain, semble s'imposer comme un principe de base, en 2015, plus de 663 millions de personnes dans le monde n'avaient toujours pas accès à l'eau potable [WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme, 2015], et la conjoncture climatique actuelle associée à la prolifération urbaine et la croissance démographique risquent d'aggraver la situation.

On pourrait penser que l'évolution de la demande face à l'irrégularité spatiale et temporelle qui caractérise la ressource en eau en est la principale cause. Si la ressource est effectivement inégalement distribuée dans le monde, la question de l'accès à l'eau ne peut y être réduite [Biggs et al., 2013]. Si le captage et le traitement de l'eau sont d'une importance primordiale, l'étape la plus impactante et également la plus coûteuse d'un système d'approvisionnement en eau reste la distribution [Kleiner et al., 1998], surtout si l'on tient compte du vieillissement des infrastructures.

Dans notre société, la pratique de l'approvisionnement en eau par réseau représente une conséquence logique de l'évolution du mode de vie de l'être humain. L'accès à l'eau par réseau est ainsi assimilé à une norme fréquemment associée au respect du droit à l'eau.

Les réseaux urbains de distribution d'eau suivent une configuration globalement constante dans le monde. Ils sont dimensionnés dans le but d'amener une eau répondant aux normes et standards d'usage en vigueur, de l'unité de production à l'utilisateur. Une connexion au réseau devrait à ce titre assurer l'accès à l'eau. Or, dans de nombreuses situations, cette connexion n'est pas synonyme de disponibilité d'une eau potable en permanence.

En réalité, en raison de contraintes locales ou territoriales variées, de facteurs démographiques, géographiques, sociaux et économiques divers, l'eau n'est pas toujours livrée en continu [Galaiti et al., 2016]. L'état de l'art sur l'accès à l'eau par réseau montre que l'alimentation en eau non continue— que nous appellerons dans un premier temps « alimentation intermittente » - touche une grande part de la population mondiale. Proportionnellement à la population concernée, et jusqu'à très récemment, la question de l'intermittence n'était pas suffisamment abordée si on la compare à d'autres tendances plus à la mode comme les réseaux intelligents etc., dont le périmètre d'impact est pourtant moindre.

L'évocation de l'intermittence est généralement accompagnée d'une incitation au passage en alimentation continue (H24). La gestion et l'amélioration du service d'approvisionnement, propres aux réseaux en intermittence, en soi, n'est pas suffisamment étudiée.

Les cas de passage en H24 de réseaux intermittents dans le monde restent à ce jour très peu nombreux. Or du point de vue de l'opérateur, qui est généralement soumis à des modèles contractuels limités dans le temps et conditionnés par une restriction des moyens disponibles, les conditions de passage en alimentation continue ne sont pas toujours réunies, et les systèmes doivent être gérés dans le cadre de l'intermittence.

Cette configuration met en évidence l'importance pratique, pour l'opérateur, d'optimiser la performance de la gestion de ce régime, avant même le passage en H24. La question de **savoir comment l'intermittence peut être vécue concrètement de manière améliorée pour toutes les parties prenantes** se pose. Cette question soulève le besoin d'établir par l'opérateur une stratégie adaptée dans une logique d'optimisation, qui soit alignée avec l'amélioration du vécu des usagers.

La question introduit des dimensions inhérentes à tout processus d'amélioration. Ces dimensions comptent en premier lieu **la description du régime**, puisque dans le but de perfectionner sa gestion, il faut d'abord comprendre son fonctionnement initial. C'est cette ligne de base que l'on cherche à améliorer, avant de concevoir **les moyens d'amélioration** et des **moyens de mesure** permettant de qualifier cette amélioration. Ces critères traduisent tous des interrogations étroitement liées à la particularité de l'intermittence, si on la compare à un approvisionnement

réseau « continu ».

La première question est **comment décrire la situation de l'intermittence, avec précision**. Cette question va au-delà de l'établissement d'un portrait du régime. Elle met en avant l'importance de définir une méthodologie de qualification de l'intermittence, qui est liée notamment à la variété des configurations qu'elle peut prendre. L'établissement d'un portrait global du système est toutefois nécessaire en première étape, parce qu'il permet d'évaluer les constantes caractéristiques de l'intermittence. Les analyses disponibles dans la littérature ne prenant pas en compte les considérations des exploitants, nous avons fait le choix de réaliser une enquête auprès des opérateurs ayant des expériences de gestion de ces réseaux dans le monde. L'objectif était d'établir un schéma global décrivant les interrelations entre les éléments déclencheurs de l'alimentation intermittente, ses caractéristiques et les impacts qu'elle a sur le service de distribution d'eau. Cet exercice a permis de relever la complexité de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence, qui est caractérisé par une dégradation non linéaire du service.

Au-delà de cette analyse des systèmes dans leur globalité, l'intermittence dans le monde prend des formes variables. Elle peut aller d'un approvisionnement régulier avec des plages de distributions définies par l'opérateur et connues par les usagers, à une intermittence ponctuelle saisonnière, ou encore à un service sans visibilité quelconque. Un réseau alimenté en intermittence ne peut être comparé à un autre sans une base commune. L'évaluation du régime, ainsi que son amélioration, nécessite de disposer de **moyens de mesure standardisés** qui permettent de déduire des enseignements des expériences similaires, et de quantifier l'amélioration. Ce dernier point est d'autant plus avéré que les indicateurs de performance contractuels auxquels les opérateurs sont soumis actuellement ne sont pas standardisés, et sont en majorité complètement détachés de la réalité de l'intermittence. Il s'agit usuellement d'une reproduction des mesures appliquées classiquement aux réseaux continus, sans aucune adaptation à la particularité du régime.

La construction d'indicateurs adaptés à l'intermittence nécessite une refonte des notions de performance et de durabilité afin qu'elles soient alignées avec la spécificité de ces réseaux, en

gardant à l'esprit l'objectif final de l'alimentation en eau. Dans ce sens, nous sommes partis du principe que l'objectif d'un opérateur est d'assurer un service permettant de satisfaire au mieux le droit à l'eau des individus. Les situations de l'approvisionnement intermittent, en l'occurrence, gardent ce même objectif mais sont sujettes à des contraintes variées. Nous nous sommes donc basés sur les dimensions contenues dans la définition du droit à l'eau pour établir **des indicateurs d'évaluation de la qualité de service de distribution d'eau potable**, avec des graduations permettant de qualifier le service avant d'atteindre l'approvisionnement continu. Il s'agit d'une qualification de la capacité du système à minimiser le désagrément ressenti par l'utilisateur, avant d'atteindre un service d'eau répondant complètement à la définition du droit à l'eau.

La seconde question englobée dans la construction de la stratégie globale d'optimisation de la gestion de l'intermittence est celle de comment décrire la manière dont elle est vécue par l'utilisateur. Lors de notre première analyse, c'est le point de vue de l'opérateur qui nous a permis d'établir un schéma global de caractérisation du régime. Cette caractérisation, bien que riche au vu de la diversité des réseaux analysés, reste lacunaire. La réponse à la question nécessite par construction l'implication de l'acteur qui vit cette intermittence, notamment en bout de chaîne.

L'hypothèse émise est qu'en situation d'intermittence, l'utilisateur n'est plus passif, c'est un coproducteur du service. Par ailleurs, le régime intermittent est caractérisé par la présence et l'interdépendance de toute une myriade d'acteurs qui font que ce régime fonctionne au sein d'un écosystème « équilibré », et ceci impose une reconsidération du périmètre des acteurs observés lors de son analyse, qui est usuellement limitée à l'opérateur. L'objectif étant d'intégrer des approches qui sont plutôt du côté de l'utilisateur, et des autres acteurs auxquels il a recours et qui sont impliqués dans l'alimentation en eau, dans une logique de mutualisation des solutions proposées, qui font l'équilibre de cet écosystème.

La réponse à cette question a nécessité deux analyses. La première est une **étude compréhensive démarrant de l'opérateur**, dans le but de comprendre à travers l'examen de ses **retours d'expériences sur des terrains** variés ses méthodes d'interaction avec le tissu lo-

cal lors de la prise en main d'un nouveau réseau avec un ordre préétabli, afin d'en dégager les moyens d'assimilation adoptés dans un contexte d'intermittence qui peut exacerber les éléments de conflit potentiel, en l'absence d'une stratégie d'insertion dédiée.

La seconde analyse a consisté en une **enquête terrain orientée autour de la qualification et la quantification du rapport à l'eau de l'utilisateur dans les deux villes algériennes de Tipaza et d'Alger.**

L'objectif de l'enquête est **d'identifier ces différentes stratégies alternatives et de les positionner dans une situation d'intermittence** pour décrire comment la gérer en pratique, au-delà des restrictions imposées par le réseau, en cartographiant les acteurs concernés, et les flux d'offre et de demande qui en découlent. Cette approche permet également de se détacher de la vision de l'opérateur ou de l'exploitant, pour dégager la nature de la demande de l'utilisateur, et examiner notamment s'il aspire vers une unicité de la ressource, ou si c'est une situation qui lui est imposée par le gestionnaire du service, et les différents acteurs qui définissent l'offre du service de l'eau.

La finalité de cet exercice était de **poser la question de l'intermittence au regard des différents rapports à l'eau en remplaçant le rapport au réseau comme moyen d'accès au sein d'un dispositif plus global**, afin de caractériser la réponse au besoin en eau des populations soumises à ce régime, dans toute sa complexité.

Un des éléments principaux qui est ressorti de l'analyse des réseaux intermittents lors de l'établissement de la méthodologie pour la réponse aux deux premières questions – i.e. la construction d'un cadre de qualification des caractéristiques de l'intermittence, avec un schéma de mesure de l'amélioration - est la nature du service essentiellement coproduit qui est intrinsèque au régime, ce qui met en avant la nécessité d'impliquer toutes les parties prenantes dans l'établissement des pistes d'action à implémenter, que ce soit celles pour l'évaluation et l'amélioration de la qualité du service ou, à terme, celles qui interviennent dans la transition vers un approvisionnement continu.

Afin de définir des moyens d'amélioration du système, nous effectuons le choix de nous placer

du côté de l'opérateur. Ce choix est motivé par le fait que l'action d'amélioration de l'opérateur le place en tant qu'élément perturbateur de l'équilibre établi, lorsqu'il vient prendre en main un réseau en intermittence. L'objectif est de **proposer des solutions qui pourraient améliorer le service rendu à l'utilisateur, sans brusquer l'adaptation des flux intrinsèques au système**, au vu des rôles des différents acteurs impliqués. Il s'agit pour l'opérateur de mettre en place des solutions et techniques d'optimisation de sa stratégie de gestion de l'intermittence, qui doivent s'insérer efficacement dans l'écosystème dans lequel il intervient.

Du fait de l'absence d'outils opérationnels dédiés à la gestion de l'intermittence dans la littérature et sur le marché, il est utile de concevoir des solutions pratiques pour améliorer la performance du réseau, et garantir une qualité de service optimisée à l'utilisateur. L'implémentation d'un système de contrôle optimal est très prisée au sein des systèmes à la complexité croissante que sont les réseaux d'eau potable. Ce constat est d'autant plus affirmé dans le cas des réseaux en intermittence, dont le fonctionnement est lié à plusieurs aléas, et soumis à un certain nombre de déficiences, relatives à la ressource, aux infrastructures ou à la gestion du système [Totsuka et al., 2004].

Lors de la prise en main du système, en particulier, une déficience supplémentaire, liée à l'insuffisance des données disponibles, constitue une caractéristique majeure de ces réseaux. Un système de contrôle de gestion optimal établi sous ces contraintes constitue une piste d'amélioration du service du côté opérateur, qu'on peut explorer.

Une démarche d'optimisation de gestion de l'intermittence adaptée consiste en la **réalisation d'une stratégie support d'outils opérationnels d'aide à la décision**, qui permettront d'améliorer la gestion d'un système d'alimentation intermittent, **en optimisant l'usage des données disponibles**.

Un système de contrôle optimal peut être développé en s'appuyant sur trois modèles sous-jacents : **Un modèle hydraulique du réseau, un modèle de prévision de la demande et un modèle d'optimisation**.

Le modèle hydraulique a pour but de décrire le fonctionnement de l'approvisionnement en

eau du réseau. Les réseaux de distribution d'eau soumis à une alimentation intermittente sont complexes, mal décrits et souvent mal cartographiés, la question est donc d'établir dans quelle mesure on peut adapter la modélisation à l'intermittence. L'objectif est de simuler au mieux le comportement de ces réseaux, et de valider ou infirmer des procédés d'optimisation. L'hydraulique renvoie à la répartition optimisée de la ressource dans le réseau, selon les objectifs à atteindre. Elle comprend les procédés d'équilibrage des flux en entrées et sorties et à l'intérieur du réseau, dans une optique de réduction du hasard et d'amélioration de la prévisibilité du système. Dans cette optique, **des modèles parcimonieux** sont à privilégier. Avec pour premier objet la description du système, de ses dysfonctionnements et de ses impacts. La difficulté de cette opération est principalement liée aux données lacunaires et peu fiables que le réseau présente, et au manque d'adéquation entre le besoin opérationnel des gestionnaires et les résultats offerts usuellement par les modèles et outils « classiques » de distribution d'eau.

Outre le peu de données disponibles pour caractériser ces réseaux, l'alimentation en intermittence sous-entend une réponse à la **demande dépendante de la pression dans le réseau**, or la modélisation classique est dictée par la demande. Il s'agit donc de reconsidérer cette approche en liant le besoin aux points de sortie du réseau à la charge hydraulique disponible. Ce paramètre est également gouverné par les modes d'alimentation et d'adaptation, côté usager, imposés par ce régime. Le modèle de prévision de la demande doit donc inclure ces composantes dans sa formulation.

Enfin, une première optimisation opérationnelle de l'approvisionnement a pour but d'assurer l'équité de distribution de la ressource disponible entre les différents usagers. Cette équité est exprimée par des plannings de distribution adaptés, dont l'objectif est d'assurer opérationnellement une intentionnalité répondant à un objectif acceptable par les usagers et autres acteurs compte tenu des contraintes liées à ces réseaux.

Dans ce cadre, des procédés de modélisation hydraulique (Mass Balance et Modélisation hydraulique simplifiée) appliqués à des cas pratiques, auxquels ont été associés des algorithmes d'optimisation évolutionnaire ont été mises en place.

Après optimisation, d'autres outils sont proposés pour **la vérification de la conformité**

opérationnelle des actions terrains, et atteindre pratiquement les objectifs d'optimisation formulés théoriquement.

Dans cet écosystème multi-acteurs, la création de l'amélioration issue du travail d'optimisation de l'opérateur reste néanmoins à évaluer en prenant en considération sa portée sur la globalité du système, notamment sur l'évolution de la manière dont les différents acteurs peuvent s'adapter à cette évolution d'une configuration intermittente qui leur était familière, où le rôle de l'utilisateur était intégré et lui imposait le développement de compétences propres, à une évolution imposée du service qui peut les faire disparaître, et dégrader de ce fait la résilience initiale de l'approvisionnement.

Objectif global et plan de thèse

En plus de l'objectif de compréhension du système multi-acteurs et multi-sources d'approvisionnement en situation d'intermittence, l'objectif opérationnel de la thèse est le développement d'une stratégie d'amélioration de la gestion des réseaux d'eau en intermittence par le gestionnaire. Il est important de noter que le but de ce travail n'est pas d'encourager l'intermittence de l'approvisionnement. Toutes variables étant égales par ailleurs, un approvisionnement en continu est généralement plus bénéfique et plus confortable pour le réseau et pour les usagers, et une transition vers l'alimentation continue est souhaitable, à terme, si elle peut être maintenue.

La stratégie ciblée a pour objectif de permettre d'un côté à l'opérateur de mieux gérer son réseau lorsque l'intermittence est établie, et à l'utilisateur d'obtenir un service d'accès à l'eau fiable au caractère moins aléatoire. Ce besoin s'affirme au vu des tendances d'évolution de la ressource, de l'évolution démographique et l'urbanisation, qui indiquent que l'intermittence risque bien de s'imposer à une plus grande échelle à l'avenir.

L'approche développée a été structurée selon trois grands volets, qui correspondent aux trois parties de la thèse et de ce document :

1. **Partie 1 - Diagnostic du système : Repenser l'intermittence** *Le positionnement, la caractérisation et la définition d'indicateurs pour le diagnostic et l'analyse de*

l'intermittence ;

2. **Partie 2 - Etude de cas : Vivre l'intermittence - Rapport à l'eau et écosystème intrinsèque** *Le développement d'objectifs adaptés pour l'amélioration du service d'approvisionnement en eau au sein d'un cadre systémique établi ;*
3. **Partie 3 – Améliorer l'intermittence : Solutions et outils pour l'optimisation du service** *La proposition de solutions opérationnelles pour l'optimisation du service en situation d'intermittence.*

Dans un contexte où la distribution d'eau intermittente touche et touchera une fraction importante de la population mondiale, cette thèse propose au gestionnaire une démarche d'analyse sociotechnique des outils pour l'exploitation et l'amélioration du service dans des situations où l'intermittence est rencontrée, et de contribuer à l'alimentation de la réflexion sur la qualité du service de l'eau et la pérennité des approches classiques de gestion des systèmes d'eau potable.

« It is imperative to face the reality and set together the expertise for mastering the intermittent distribution situation! »²

Diane d'Arras, President of the International Water Association (IWA), April 2019

Partie 1

Diagnostic du système : Repenser l'intermittence

2. « Il est impératif de faire face à la réalité et réunir les compétences nécessaires pour maîtriser la situation de la distribution intermittente ! » Diane d'Arras, Présidente de l'Association Internationale de l'Eau (IWA); Avril 2019

L'objectif de cette thèse est d'aboutir à une stratégie visant à améliorer la gestion de l'intermittence de l'approvisionnement en eau, avec en première étape une proposition de diagnostic de l'intermittence en tant qu'objet d'étude. Cette première partie détaille ce diagnostic en repensant l'intermittence à travers sa caractérisation et son évaluation.

Repenser l'intermittence est ici associé à une remise en situation pour une qualification du régime, afin de comprendre pourquoi il s'établit, comment il se présente, qui il implique et en déduire à quoi il peut prétendre, et ainsi construire le processus d'amélioration sur un socle descriptif précis du phénomène, et vers une cible adéquatement identifiée.

Globalement, toute la démarche d'amélioration met en avant plusieurs éléments à identifier. Ces éléments sont la raison d'existence de l'objet, son cadre d'évolution systémique, et sa manifestation. La démarche à développer nécessite d'être replacée dans la continuité des tentatives d'amélioration existantes, afin de proposer une avancée tangible.

Dans le cas de l'intermittence, qui représente à ce stade une manière dégradée d'assurer le service d'approvisionnement en eau des usagers, l'objet d'amélioration considéré nécessite son positionnement au sein de la considération de l'accès à l'eau par les populations.

L'accès à l'eau est donc pris comme objectif ultime, ou raison première d'existence de l'intermittence, qui est par ailleurs imposée par des contraintes détaillées dans la suite. Le bénéficiaire est ici l'utilisateur, destinataire du service d'approvisionnement en eau, tandis que les moyens pour l'amélioration sont ceux à disposition du gestionnaire du service.

Dans cette première partie, l'intermittence est donc repensée dans cette optique fonctionnelle d'assurer l'accès à l'eau, qui est d'abord examiné sous l'œil de la réglementation et de la situation planétaire actuelle, avant de se pencher sur la définition du régime, le périmètre qu'il impacte, et la nature du traitement de la question dans la littérature.

Tout processus d'amélioration doit reposer sur une base descriptive suffisamment complète pour rendre compte de la réalité de la situation de départ de l'objet à améliorer. Cette étape permet d'identifier les mécanismes en place, dont les rouages potentiellement performants et les éventuelles failles de fonctionnement qu'ils peuvent présenter.

L'établissement d'un portrait compréhensif du système est traité en seconde étape, avec l'objectif d'évaluer les constantes caractéristiques de l'intermittence. Les analyses disponibles dans la littérature ne prenant pas en compte les considérations des exploitants, nous avons fait le choix de les croiser avec les résultats d'une enquête auprès des opérateurs ayant des expériences de gestion de ces réseaux dans le monde afin d'établir un schéma global décrivant les interrelations entre les éléments déclencheurs de l'alimentation intermittente, ses caractéristiques et les impacts qu'elle a sur le service de distribution d'eau.

La caractérisation esquissée de l'objet d'étude présente ainsi une assise pour un cheminement méthodique permettant dans la suite de repérer les pistes d'action avec une potentielle forte valeur ajoutée.

L'identification de la valeur ajoutée dépend de l'objectif général dans lequel s'insère l'amélioration, lui-même dépendant du bénéficiaire concerné par le sujet de l'amélioration. Elle est sujette à des contraintes liées aux moyens disponibles, et des acteurs qui les détiennent. Ces différentes parties prenantes doivent être dûment mises en évidence de leur côté.

Ce processus de caractérisation a notamment permis de mettre en avant l'importance de l'implication de l'utilisateur dans l'approvisionnement en intermittence, par opposition au rôle limité qu'il joue dans le cadre d'une distribution d'eau continue. Cette particularité a été examinée en troisième étape, en tant qu'introduction à une analyse systémique de l'intermittence où l'utilisateur est central, mais où l'opérateur n'est pas le seul intervenant.

Enfin, la réponse à la question « comment décrire l'intermittence, avec précision » va au-delà de l'établissement d'un portrait descriptif du régime d'approvisionnement en eau. La question met en avant l'importance de définir une méthodologie de qualification de l'intermittence, agrémentée d'indicateurs associés. Ces indicateurs permettant à la fois de positionner l'intermittence d'un réseau au regard de la variété des configurations qu'elle peut prendre, et de présenter un moyen de mesure de l'amélioration de l'accès à l'eau assuré par le service qu'elle offre, en évaluant la qualité du service présenté par le gestionnaire à l'utilisateur.

Chapitre 1

Accès à l'eau :

Contexte et positionnement de l'intermittence vis-à-vis de l'accès à l'eau

Comme présenté dans l'introduction, la première partie de cette thèse consiste à établir un diagnostic de l'objet de recherche. Dans un premier temps, l'approvisionnement intermittent en eau est considéré en tant que service rendu à l'utilisateur pour assurer l'accès à l'eau.

Nous commençons par examiner le cadre de l'analyse, à savoir les variables environnementales et réglementaires qui interviennent dans le positionnement du besoin d'accès à l'eau auquel répond ce service.

Cette étape passe par l'exploration du contexte et de la situation générale de l'accès à l'eau, avant d'introduire la distribution par réseau, puis l'intermittence, qui est examinée au regard du périmètre qu'elle impacte et de ses déclinaisons et considérations dans la littérature.

Cette approche, agrémentée par une exploration du cadre contractuel autour de l'intermittence, fait apparaître un besoin de caractérisation qui lui est propre, indépendamment des objectifs et standards de l'approvisionnement continu dont elle se distingue.

1.1 L'accès à l'eau

1.1.1 Droit à l'eau et état des ressources

L'eau est essentielle à la vie humaine, et à la vie en général depuis l'apparition des premiers organismes vivants il y a 3.5 milliards d'années [Kleiner, 1999]. La disponibilité de l'eau potable a toujours été un prérequis et une circonstance nécessaire pour l'existence des êtres humains et le développement de la civilisation [Sklivaniotis and Angelakis, 2006].

Au tout début du siècle dernier, Woeikof déclarait que l'impact de l'Homme sur l'exploitation des ressources en eau était une des principales tâches que l'être humain n'avait pas encore réussi à maîtriser [Woeikof, 1901]. Cette tâche inclut aussi bien les interactions de l'Homme avec l'eau dans la nature que le contrôle de son approvisionnement pour répondre à ses besoins de consommation.

2023 marque la treizième année depuis que l'Assemblée Générale des Nations Unies a adopté une résolution reconnaissant explicitement les droits de l'homme à l'eau et à l'assainissement [United Nations, 2010]. Cette résolution a invité les Etats et les organisations internationales à assurer les moyens nécessaires pour aider les pays à fournir une eau potable pour tous, et avant elle, en novembre 2002, le Comité des droits économiques, sociaux et culturels a adopté l'Observation générale n°15 sur le droit à l'eau dont le premier article stipule que « Le droit de l'homme à l'eau est indispensable pour mener une vie dans la dignité humaine. C'est une condition préalable à la réalisation des autres droits de l'homme » [United Nations, 2010].

Selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Unicef sur les progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau, 844 millions d'individus, soit 11% de la population mondiale, n'avaient toujours pas accès à l'eau potable en 2017 [WHO, 2017b].

Pour l'OMS, la notion d'accès est ample : avoir accès à l'eau c'est pouvoir y accéder à moins de 30 minutes de son domicile. Et sur les 6.5 milliards de personnes qui ont accès à l'eau selon cette définition, 1.3 milliard (représentant 17 % de la population mondiale) doivent se déplacer

pour la collecter. La garantie sur les 5.2 milliards restants, qui ont accès à l'eau « en toute sécurité », est uniquement celle de disposer d'une eau non contaminée à domicile au moins douze heures par jour³. Cette spécification temporelle inhérente à la notion d'accès à l'eau dans les considérations de l'OMS est un point qu'il est important de relever.

Globalement, la situation est loin de l'universalité préconisée d'ici 2030 par les Objectifs pour le Développement Durable (Sustainable Development Goals, SDGs). Ces objectifs et les cibles qui en découlent ont été fixés par les Nations Unies pour donner suite et augmenter la portée des Objectifs du Millénaire pour le Développement (MDGs)⁴ en matière d'eau et d'assainissement. La cible 6.1 (SDG 6.1) étant notamment d'« assurer un accès universel et équitable à une eau salubre et abordable pour tous » [World Health Organization and Unicef, 2017].

Une ressource en eau exploitable à son état brut n'est pas à la portée de main de toutes les personnes, ce qui induit en partie le fait que l'accès à l'eau n'est pas garanti pour tous, de la même manière⁵. Une grande partie des ressources mondiales est disponible à des endroits où les demandes sont faibles, comme dans le bassin amazonien, en Sibérie et à l'Extrême-Orient russe, au Canada et en Alaska [World Meteorological Organization et al., 2004].

Pourtant, sur une planète couverte à 71% d'eau, nous avons l'impression que l'eau est présente partout. Cette impression d'abondance peut d'ailleurs biaiser la perception de l'accès à l'eau dans certaines communautés en crise [Cary, Giglio and Melo, 2018], alors qu'en réalité, uniquement 2,5% de l'hydrosphère est constituée d'eau douce [Shiklomanov, 1993] (Tableau 1.1), et une plus faible fraction (0.3%) est potentiellement utilisable pour la consommation humaine [Nace, 1967].

3. Accès à l'eau potable « en toute sécurité », c'est-à-dire à la fois à domicile, au moins douze heures par jour en eau non contaminée. (WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme, 2015)

4. Les Objectifs de Développement du Millénaire fixent un seuil simple pour ce qui représente l'eau potable (c'est-à-dire aine publique, un forage, un puits creusé protégé, une source protégée ou une collecte d'eau de pluie) [Gasson, 2017]

5. Hannah Ritchie (2017) - "Water Use and Stress". Publié en ligne sur OurWorldInData.org. lien : <https://ourworldindata.org/water-use-stress> [Resource en ligne] – Données extraites de la base de données Aquastat du FAO (Food and Agricultural Organisation of the United Nations), entre 1960 et 2015

6. Cette répartition volumique a évolué depuis cette date. Les calottes glaciaires ont notamment perdu en volume à un rythme accéléré au cours des dernières décennies. C'est le cas du Groenland qui abrite la deuxième plus grande calotte glacière de la planète, et dont la perte de glace a été multipliée par six depuis les années 1980. Publié en ligne sur : <https://global-climat.com/2019/04/25/la-perte-de-glace-au-groenland-multipliee-par-six-depuis-les-annees-1980/> [Ressource en ligne]

TABLE 1.1 – Réserves d'eau dans le monde (Shiklomanov, 1993)

| Ressource d'eau | Volume $km^3 \times 10^3$ | Fraction du volume total de l'hydrosphère, % | Fraction de l'eau douce, % |
|--|------------------------------|---|-------------------------------|
| Océans, mers et baies | 1338 000 | 96,54 | - |
| Eau souterraine (gravité et capillarité) : | 23 400 | 1,69 | |
| - Douce | 10 530 | 0,76 | 30,1 |
| - Salée | 12 870 | 0,93 | - |
| Humidité des sols | 16,5 | 0,001 | 0,05 |
| Calottes glaciaires, glaciers et couverture neigeuse permanente ⁶ : | 24 064 | 1,74 | 68,7 |
| - Antarctique | 21 600 | 1,56 | 61,7 |
| - Groenland | 2 340 | 0,17 | 6,68 |
| - Iles arctiques | 83,5 | 0,006 | 0,24 |
| - Régions montagneuses | 40,6 | 0,003 | 0,12 |
| Glace de sol de la zone de permafrost | 300 | 0,022 | 0,86 |
| Eau des lacs : | 176,4 | 0,013 | - |
| - Douce | 91,0 | 0,007 | 0,26 |
| - Salée | 85,4 | 0,006 | - |
| Marais | 11,47 | 0,0008 | 0,03 |
| Eau des rivières/cours d'eau | 2,12 | 0,0002 | 0,006 |
| Eau biologique | 1,12 | 0,0001 | 0,003 |
| Atmosphère | 12,9 | 0,001 | 0,04 |

La stratégie traditionnelle de gestion des ressources en eau destinées à la consommation humaine s'appuie principalement sur le ruissellement des eaux superficielles et la recharge des eaux souterraines, plus facilement exploitables. Le volume renouvelable disponible de cette eau destinée à la consommation s'élève à environ 40 000 km³ par an. Sur ce total, on estime qu'environ 10 % ont été prélevés pour des usages humains en 1995 (avec une évolution de 12% à partir des années 2000⁷), dont plus de la moitié est prélevée, et le reste est restitué à l'écosystème, avec une qualité plus dégradée [Cosgrove and Rijsberman, 2000].

Si cette proportion semble constituer un faible pourcentage, elle n'inclut pas la fraction d'eau dégradée par la pollution, et les ressources en eau renouvelables ne sont pas toutes utilisables, à cause notamment des très courtes périodes pendant lesquelles une grande quantité des préci-

7. Hannah Ritchie (2017) - "Water Use and Stress". Publié en ligne sur OurWorldInData.org. lien : 'https://ourworldindata.org/water-use-stress' [Resource en ligne] – Données extraites de la base de données Aqustat du FAO (Food and Agricultural Organisation of the United Nations), entre 1960 et 2015

pitations et des écoulements fluviaux se produit, comme dans les bassins tropicaux ou pendant la saison de mousson en Asie [Cosgrove and Rijsberman, 2000].

Enfin, même si les gens n'utilisent qu'une fraction réduite de l'eau renouvelable au niveau mondial, cette fraction est beaucoup plus élevée dans de nombreuses régions arides et semi-arides où l'eau est rare. Lorsqu'on ajoute à ceci les écarts économiques entre les pays du monde, nous obtenons des qualifications très inégales de la répartition de la rareté de l'eau (Figure 1.1). Une disparité qui connaîtra potentiellement une aggravation avec l'impact du dérèglement climatique qui dépend également des capacités d'adaptation et de mitigation déséquilibrées entre les pays.

1.1.2 Moyens d'accès à l'eau

L'introduction du volet « économique » est très importante dans la considération de l'accès à l'eau. Au vu de l'inégalité de distribution des ressources de l'échelle globale à celle du pays, de la ville et du quartier, installer toutes les populations sur des terrains où l'eau est accessible au niveau individuel est peu envisageable. En plus du positionnement physique de la ressource, à une échelle plus globale, qui régissait historiquement les lieux d'installation de l'homme nomade puis des villes qui s'implantaient traditionnellement le long des cours d'eau ou près des sources naturelles [Sklivanotis and Angelakis, 2006], d'autres aspects interviennent dans la mise à disposition de l'eau à l'utilisateur final. Tout au long de l'histoire, les êtres humains ont conçu des systèmes et des pratiques pour faciliter l'approvisionnement en eau de leurs communautés et de leurs foyers depuis des sources distantes [Mays, 2000].

L'eau doit être prélevée, puis acheminée de sa ou de ses sources jusqu'à l'utilisateur, en subissant une transformation (traitement) en chemin. Les points de prélèvement étant liés à la nature de la source, ce cheminement permet de tracer les trois éléments qui définissent la nature de l'accès à l'eau, à savoir, la source de cette eau, son moyen d'acheminement, et le point d'accès de l'utilisateur (Figure 1.2).

L'accès à l'eau prend aujourd'hui des configurations variées, sur la base des articulations entre

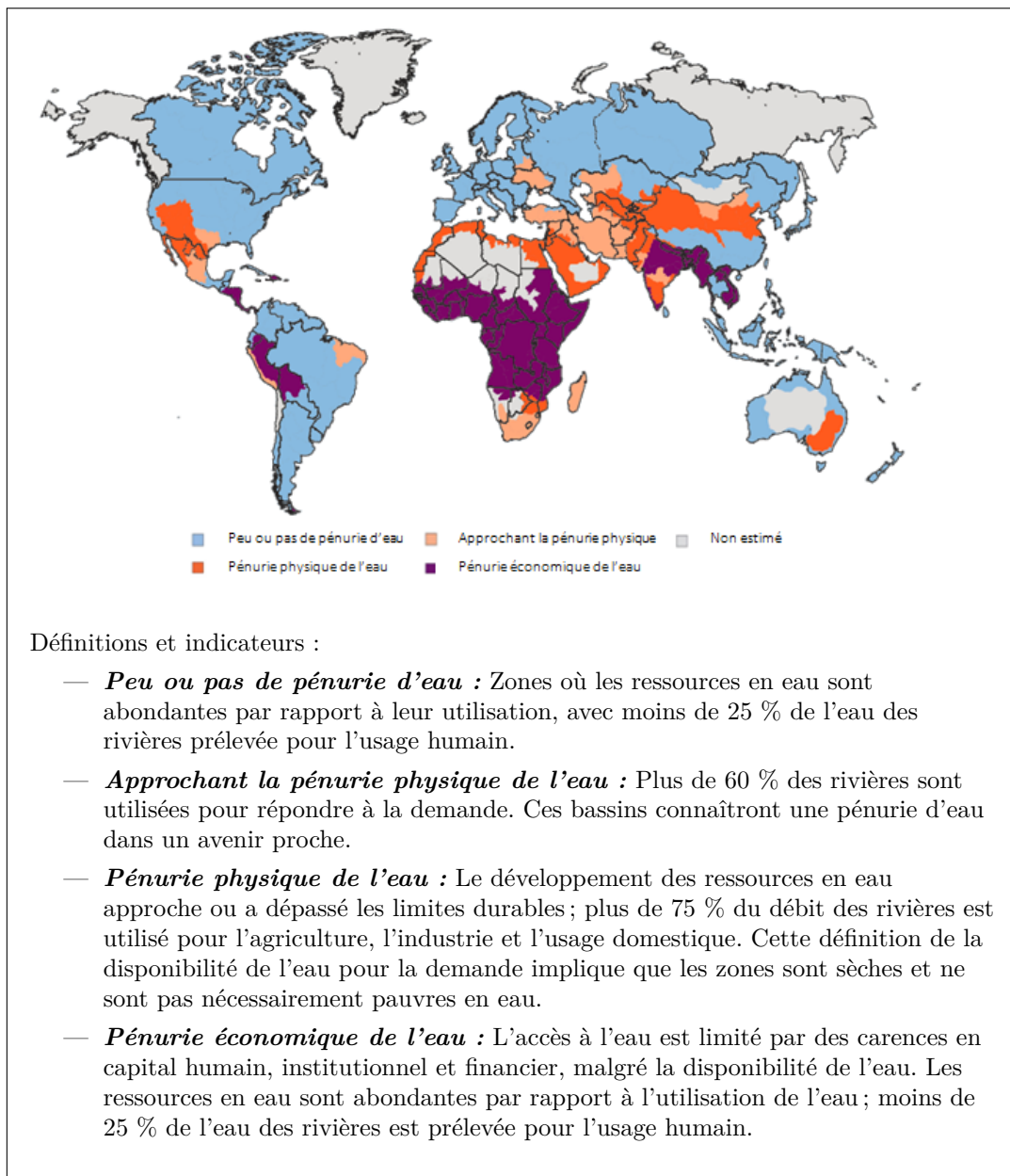


FIGURE 1.1 – Répartition de la rareté physique et économique de l'eau issue d'une étude de l'Institut International de Gestion de l'Eau utilisant le modèle Watersim (Molden et al., 2007)

les différentes possibilités offertes par chacune de ces trois composantes (Figure 1.2) :

- **Source** : Eau douce surfacique (lac, cours d'eau, etc.) ou souterraine (aquifère à travers un puits ou forage...), eau salée (eau de mer, biseau salé...), calottes/glaces, eau recyclée, eau de pluie...
- **Moyen d'acheminement** : Réseau, camion-citerne, ligne de distribution de marchandises (pour les bouteilles et les tonneaux d'eau industriels ou informels, etc.). Ce compo-

sant peut être réduit en échelle à un contenant (seau) et de l'énergie (énergie de pompage, un treuil et des bras...) lorsque la source d'eau se trouve sur le lieu de consommation, quand l'utilisateur dispose d'un puits domestique au sein de sa propriété par exemple. Et il peut être multiple lorsque le fournisseur collecte l'eau d'un point d'accès différent de la source avant de la livrer à l'utilisateur final, comme lorsqu'un camion-citerne s'approvisionne sur l'eau du réseau.

- **Point d'accès** : Le point d'accès de l'utilisateur peut être défini en termes de distance ou de temps d'accès jusqu'au lieu de consommation (habitation ou activité) ou au lieu de stockage de l'eau avant sa consommation finale. Il comprend les robinets, les bornes fontaines, les kiosques⁸, les contenants transportables (bouteille, bidon, seau, tonneau...), et les puits. Lorsque la source se trouve dans le périmètre du lieu de consommation, le point d'accès est confondu avec le point de prélèvement, dans le cas contraire il s'agit du point qui se trouve au bout du trajet d'acheminement, juste avant que l'eau soit collectée par l'utilisateur.

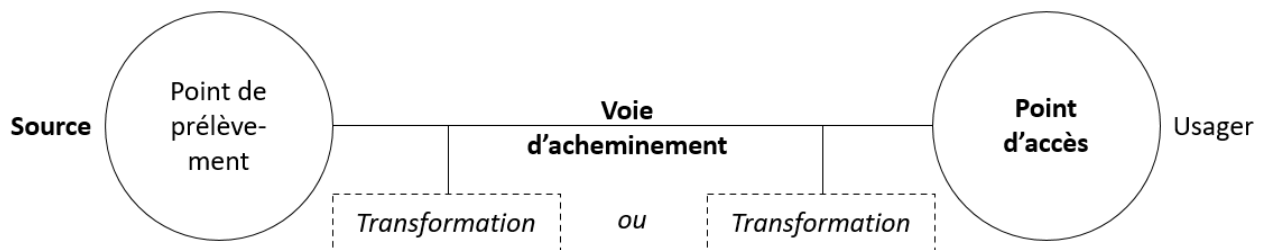


FIGURE 1.2 – Composantes de l'accès à l'eau
Source : élaboration propre

L'accès à l'eau est certainement différent entre les personnes qui vont chercher de l'eau à des sources naturelles, puits, kiosques ou des bornes fontaines publiques, celles qui sont amenées à acheter de l'eau chez des vendeurs dans des contenants ou des camions-citernes, ou encore les personnes qui ont de l'eau chez elles, au niveau de leurs robinets, et qui sont généralement alimentées par réseau.

Il est également important de noter que les usagers ne sont pas tenus d'adopter un moyen d'accès unique pour l'acquisition de l'eau, et qu'en fonction des usages qu'ils en font, de leurs

⁸. Les kiosques sont des bornes fontaines protégées de l'extérieur, et avec un fontainier qui vend l'eau du réseau aux usagers

circonstances et des systèmes qui leurs sont accessibles, ils peuvent avoir recours à différents moyens pour subvenir à leurs besoins. Certaines personnes peuvent ainsi privilégier d'acheter l'eau en bouteille pour leur usage de boisson, par exemple, même lorsque leur foyer est raccordé à un réseau d'eau potable, ou utiliser l'eau d'un puits pour arroser leur jardin, ou remplir une piscine.

1.1.3 Approvisionnement par réseau

L'émergence de l'accès à l'eau par réseau peut être liée au changement du mode de vie de l'Homme, du chasseur-cueilleur nomade au mode de vie sédentaire, au sein d'institutions urbaines ou agricoles [Butzer, 2002]. Les premières grandes civilisations considéraient qu'un approvisionnement organisé en eau était un prérequis essentiel pour tout établissement urbain important [Sklianiotis and Angelakis, 2006].

Parmi les plus anciennes preuves d'adoption de systèmes d'approvisionnement réseau, nous trouvons la construction de canaux d'irrigations dans l'Égypte du temps des pharaons [Butzer, 2002], les vestiges archéologiques de systèmes de transport à Knossos, ancienne capitale de l'île de Crète en Grèce qui datent de 3500 ans avant J.-C et des tuyaux en Anatolie en Turquie (3000 ans avant J.-C) [Mays, 2000]. A Rome, en Italie, des documents historiques décrivent vers le premier siècle après J.-C l'édifice de neufs aqueducs d'une longueur totale de plus de 420 km, qui transportaient l'eau sur des distances allant jusqu'à 90 km vers un réseau de distribution de tuyaux en plomb, et fournissaient quotidiennement plus d'un million de m³ à la population [Hodge, 2002].

La structuration d'un système d'approvisionnement d'eau par réseau aujourd'hui est pratiquement restée la même. En général, le système est constitué d'un réseau de transport et d'un réseau de distribution, et englobe les processus suivants (Figure 1.3) :

1. Extraction et transport de l'eau brute ;
2. Traitement et stockage de l'eau ;
3. Transport et distribution de l'eau traitée.

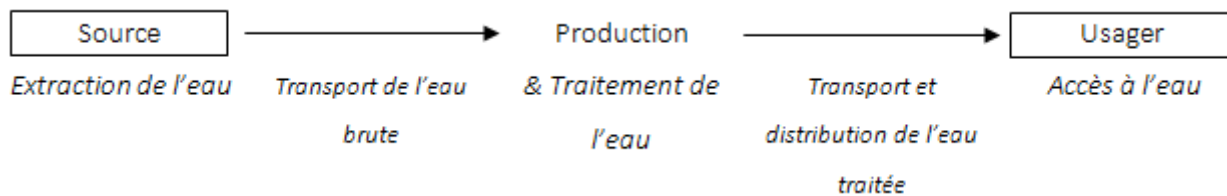


FIGURE 1.3 – Process d'un système d'alimentation en eau (adapté de Trifunovic, 2015)

Un réseau de transport est un ensemble de dispositifs, tels que des réservoirs de retenue, des forages, des stations de traitement, des aqueducs et toutes les stations de pompage associées nécessaires pour transporter l'eau brute vers les stations de traitement. Il comprend généralement les infrastructures d'eau traitée jusqu'aux réservoirs de service avant le réseau de distribution d'eau où l'eau traitée est acheminée principalement par des canalisations, stockée par moments et pompée si nécessaire, afin d'amener l'eau par branchements jusqu'aux points de consommation des usagers [Trifunović, 2006].

Bien que la délimitation entre le réseau de transport et le réseau de distribution soit souvent utilisée au sein des services publics et chez les opérateurs à des fins organisationnelles, on parle de réseau d'approvisionnement en eau en général lorsqu'il s'agit de livrer l'eau aux clients par tuyaux ou canalisations [Pearson, 2019].

L'eau distribuée par canalisations est souvent considérée comme sûre, on joint d'ailleurs le terme de potabilité à ce type de distribution dans l'expression « Alimentation en Eau Potable », qui est communément utilisée pour désigner la discipline, alors qu'une eau « distribuée par réseau » serait plus juste. Lors du lancement de la décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement, le Dr Mahler, directeur général de l'OMS à l'époque (novembre 1980), avait déclaré que « ...le nombre de robinets d'eau pour 1000 habitants est un bien meilleur indicateur de l'état de santé d'un pays que le nombre de lits d'hôpitaux » (Forum de développement, 1987)[Vairavamoorthy, 1994].

25 ans plus tard, entre 2000 et 2015, 1.2 milliards de personnes ont pu accéder à l'eau du réseau, dépassant le taux de croissance démographique mondial et augmentant l'accès de 57% à 64% de la population globale [WHO, 2017b]. Mais avoir un robinet lié à un réseau ne signifie pas forcément avoir accès à une eau de bonne qualité, disponible à tout moment. Même lorsque le

traitement en amont est suffisamment adéquat pour garantir une qualité de l'eau conforme à l'entrée du réseau, les canalisations ne sont pas toujours remplies d'eau [Bivins, 2017, Laspidou and Spyropoulou, 2017], et les déficiences du réseau, causées par des fuites ou par des interruptions de l'approvisionnement, imposent des conditions qui ne garantissent pas la qualité de l'eau desservie quand ces canalisations sont bien sous pression [Lee and Schwab, 2005, Onda et al., 2012, Kumpel and Nelson, 2013, Shaheed et al., 2014, WHO, 2017b, Taylor et al., 2018].

Les statistiques de l'OMS définissant l'accès à l'eau par réseau parlent d'un seuil minimal de 12h de distribution par jour⁹, ce qui n'implique donc pas forcément que ces conduites soient remplies tout le temps. La dégradation du service de l'accès à l'eau liée aux interruptions de l'approvisionnement réseau a pourtant été bien constatée dans les systèmes qui en souffrent régulièrement, par rapport à une alimentation continue [Philipp Klingel, 2012, Abu-Madi and Trifunovic, 2013, Agathokleous and Christodoulou, 2016, Charalambous and Nguyen, 2017, Mokssit et al., 2018, Simukonda et al., 2018b, Alazzeh et al., 2019]. Cette forme de distribution d'eau par réseau que nous appellerons pour l'instant une alimentation « intermittente » ou « en intermittence » par opposition aux systèmes d'alimentation continue, livre l'eau de manière moins équitable [Vairavamoorthy and Elango, 2002, De Marchis et al., 2011] et est plus susceptible de recontaminer l'eau traitée [Kumpel and Nelson, 2013, Solgi et al., 2016].

1.2 L'approvisionnement intermittent

Dans un premier temps, nous considérons l'approvisionnement en intermittence, objet de cette thèse, comme étant « *un approvisionnement réseau géré par un opérateur, caractérisé par une disponibilité temporelle discontinue de l'eau au niveau du point d'accès au réseau, qui se trouve dans le périmètre de consommation des usagers* »^{10 11} (Figure 1.4). Cette définition est volon-

9. Accès à l'eau potable « en toute sécurité », c'est-à-dire à la fois à domicile, au moins douze heures par jour et eau non contaminée. Source : OMS, Unicef. Données 2015 – © Observatoire des inégalités

10. Le périmètre de consommation de l'utilisateur peut être son habitation lorsqu'il dispose d'un branchement connecté au réseau, comme il peut d'agir d'une borne fontaine, ou d'un kiosque semi-collectif ou collectif, qui sont alimentés par le réseau d'eau.

11. L'imprécision de la définition proposée à ce niveau est volontaire. Elle est liée à la multiplicité des définitions de l'intermittence dans la littérature, notamment pour l'estimation de la population impactée par l'intermittence de la distribution eau. Les durées et les fréquences d'approvisionnement considérées sont impré-

tairement générale dans un objectif d'inclusion de tous les cas considérés lors de l'estimation du périmètre impacté par l'intermittence dans la littérature. Nous introduisons donc cette estimation avec la précaution que le flou autour de la notion de l'intermittence impose.

Nous discuterons de manière plus détaillée la définition de la notion d'intermittence dans la suite du document.

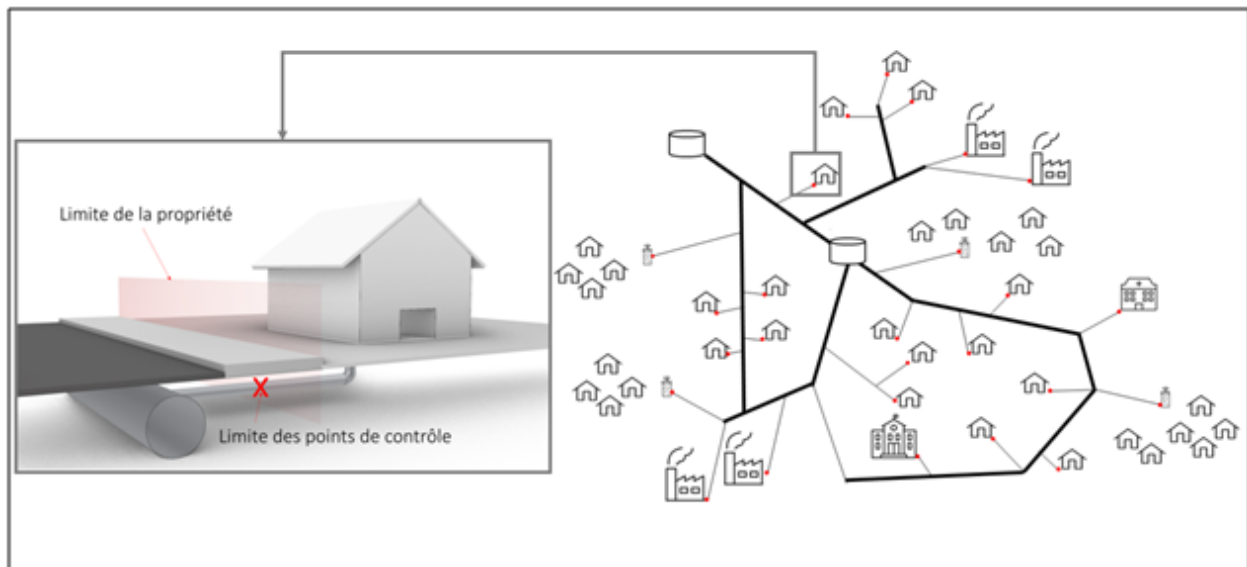


FIGURE 1.4 – Périmètre de définition de l'alimentation en intermittence : Accès à l'eau par réseau, l'intermittence est constatée au niveau d'un point d'accès au réseau au sein du périmètre de consommation de l'utilisateur (représenté en rouge dans la figure)

Source : élaboration propre

1.2.1 Population concernée

Selon une estimation faite en l'an 2000 par l'organisation mondiale de la santé, environ un tiers de la population avec un approvisionnement réseau en Amérique latine et en Afrique, et plus de la moitié de la population livrée par réseau en Asie reçoit l'eau en intermittence [WHO and UNICEF, 2000].

L'organisation panaméricaine de la santé pousse ce ratio à 60% en Amérique Latine et aux Caraïbes dans son rapport régional de 2001 [PAHO, 2001].

cises et non standardisées, et la portée du phénomène est généralisée là où les données ne sont pas disponibles. Nous proposerons une définition plus précise dans le chapitre 2.

Les données disponibles actuellement sur le portail de benchmarking international des réseaux d'eau et d'assainissement de la banque mondiale (IBNET)¹² montrent que seuls 16 % des services d'eau dans les pays en développement assurent un approvisionnement continu. En moyenne, l'approvisionnement serait assuré 16 heures par jour [Danilenko, 2014].

97% des services de l'eau en Asie du Sud opèrent en intermittence [Danilenko, 2014]. Rien qu'en Inde, il est estimé qu'au moins 200 millions de personnes sont connectées à des réseaux intermittents [Kumpel and Nelson, 2016], avec une durée moyenne d'approvisionnement de 4.5 heures par jour en 2009 [Government of India, 2009].

Aujourd'hui, il n'y a pas de dénombrement consensuel du nombre de personnes qui reçoivent l'eau du réseau de manière intermittente à l'échelle mondiale, c'est un projet que le nouveau groupe spécialiste de l'IWA (International Water Association) sur l'intermittence¹³ a lancé lors du premier renouvellement de son mandat en 2020.

Dans la littérature, nous trouvons des données éparpillées et parfois contradictoires sur la prévalence de ce mode d'approvisionnement [Laspidou and Spyropoulou, 2017], avec des approximations basées sur des méthodologies qui surestiment [Laspidou and Spyropoulou, 2017] ou sous-estiment [Kumpel and Nelson, 2013] la population concernée. Les évaluations autour d'un milliard (Tableau 1.2) de personnes semblent toutefois s'insérer dans les fourchettes de ces différentes études, avec des durées moyennes d'alimentation globalement faibles (Figure 1.5), et une tendance qui était vers la diminution dans beaucoup de pays à faibles revenus au début du millénaire [Thompson and International Institute for Environment and Development, 2001].

12. IBNET (International Benchmarking Network for water and sanitation utilities) : Réseau de Benchmarking International pour les services d'eau et d'assainissement, fondé par le groupe eau de la banque mondiale.

13. IWA's Intermittent Water Supply Specialist Group

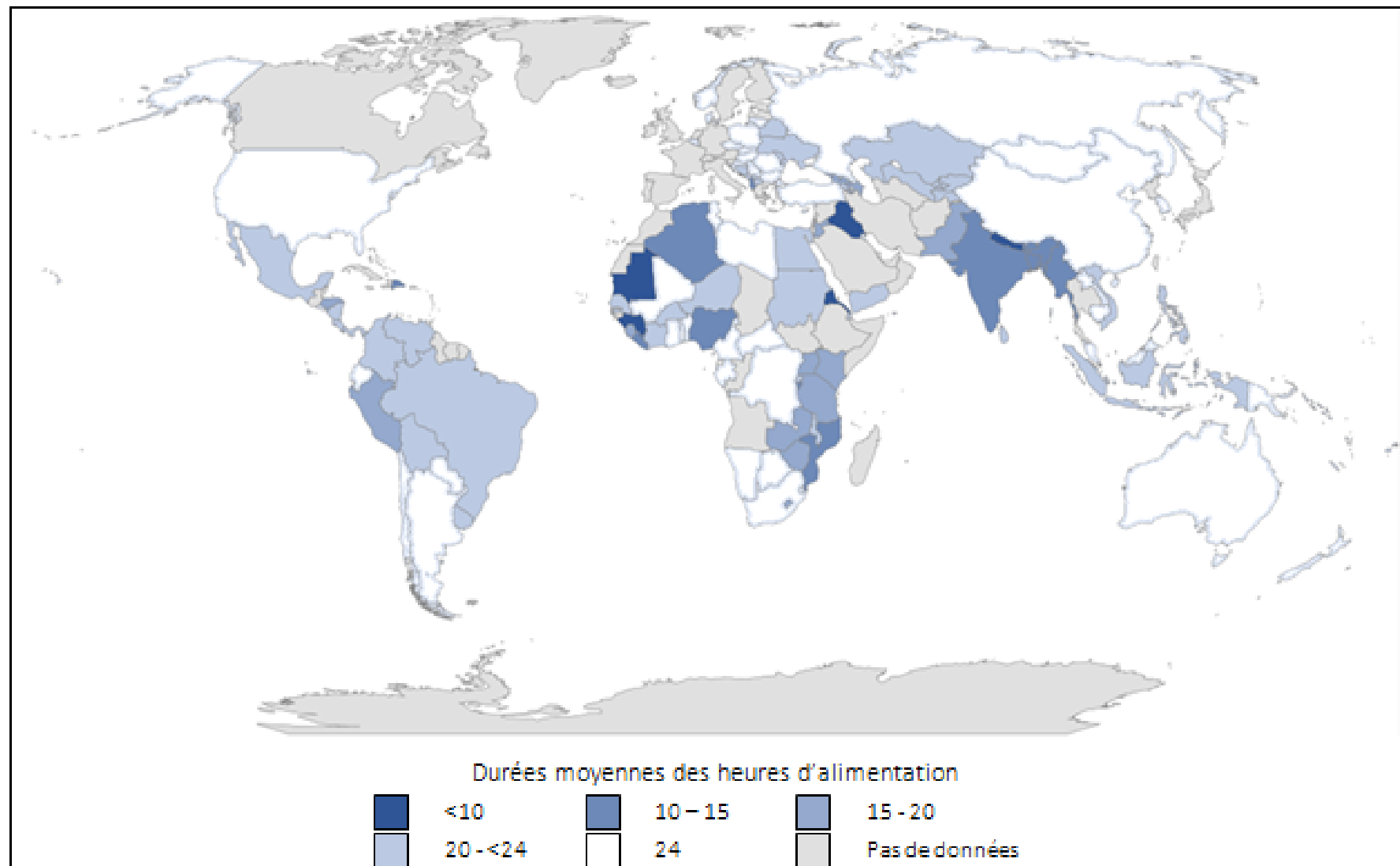


FIGURE 1.5 – Moyenne des durées d’approvisionnement en eau pour l’ensemble des services publics renseignant la base IBNET d’un pays pour la dernière année (entre 1995 et 2012) pour laquelle des données sont disponibles (Carte reconstituée sur la base de l’indicateur « continuité de service » d’IBNET, <https://database.ib-net.org/Reports/Indicators/HeatMap?itemId=34>)

TABLE 1.2 – *Estimation de la population desservie par réseau par une alimentation intermittente dans les pays à revenus faibles et moyens* Source [Laspidou and Spyropoulou, 2017]¹⁴

| Groupes de pays à revenus faibles et moyens | Population affectée par l’alimentation en intermittence (En millions) | | |
|---|---|--------|--------|
| | Urbaine | Rurale | Totale |
| Afrique | 66,8 | 17,4 | 83,6 |
| Asie de l’Est et Pacifique | 121,4 | 48,0 | 169,4 |
| Europe et Asie centrale | 53,2 | 18,9 | 71,9 |
| Moyen Orient et Afrique du Nord | 150,7 | 49,0 | 248,9 |
| Amérique Latine et Caraïbes | 216,0 | 50,1 | 266,3 |
| Asie du Sud | 296,5 | 175,4 | 472,0 |
| Total | 904,6 | 358,8 | 1312,1 |

Les conséquences de l’alimentation en intermittence sur la santé sont estimées à 17 millions d’infections et 4 millions de cas de diarrhées annuellement [Bivins et al., 2017].

Malgré l’incertitude sur le nombre total de personnes affectées par l’alimentation en intermittence, ces chiffres sont parlants, et le seuil d’un milliard d’usagers représente plus d’un tiers de la population connectée aux réseaux d’eau (2.9 milliards [WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme, 2015]). Ce nombre va très probablement augmenter alors que le changement climatique, la croissance démographique et l’urbanisation rapide augmentent la pression sur les ressources d’approvisionnement en eau. Par ailleurs, le financement de l’expansion des infrastructures hydrauliques, surtout au niveau des pays en voie de développement dont les populations sont les plus concernées par ce régime, devient une entreprise de plus en plus difficile, [Vairavamoorthy et al., 2008, Danilenko, 2014, Laspidou and Spyropoulou, 2017].

Devant l’étendue du périmètre impacté par l’intermittence actuellement et à l’avenir, la vulnérabilité des populations qu’elle affecte, et face à un examen de la définition du droit à l’eau par les Nations Unies qui précise que l’approvisionnement en eau « doit être suffisamment constant pour permettre le prélèvement de quantités susceptibles de couvrir tous les besoins, sans transiger sur la qualité de l’eau » [de Albuquerque, 2010], les questions de la compréhension, de la

14. Il s’agit probablement d’une surestimation puisque la population estimée est parfois supérieure aux données d’accès à l’eau par réseau reportée par le programme joint de l’OMS et de l’UNICEF sur le suivi de l’eau et de l’assainissement (WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme, 2015).

conformité et de l'amélioration potentielle de ces systèmes sont à soulever en urgence.

1.3 Une littérature en inadéquation avec la portée du phénomène

Pour toute analyse documentaire, la compréhension du vocabulaire permettant de décrire l'objet de recherche est importante, dans le cas des régimes d'approvisionnement en intermittence, cette question est en soi un défi [Galaiti et al., 2016].

La réalisation d'une revue de la littérature sur l'intermittence met en lumière l'ambiguïté qui entoure la question et le manque de normalisation de la terminologie associée, ce qui entraîne une plus grande confusion et rend plus difficile la prise de mesures pour résoudre les problèmes qui y sont liés [Charalambous and Laspidou, 2017a].

Selon Galaiti *et al.*, dans un article de 2016 basé sur une vaste revue de la littérature, les termes faisant référence à l'approvisionnement intermittent en eau comprennent l'approvisionnement irrégulier, peu fiable, inadéquat, médiocre ainsi que les interruptions de service et la rareté [Galaiti et al., 2016]¹⁵.

Nous reprenons donc ces termes associés à l'approvisionnement/alimentation d'eau, en plus d'« intermittent », « discontinu » et « non continu », afin d'évaluer l'étendue de la couverture du sujet par la littérature scientifique. L'analyse documentaire se fait sur la base des publications scientifiques répertoriées entre 1994 et juin 2020 dans le « World Wide Science Database », « SciELO », la base de données de « Google Scholar » et « Scopus ».

Il est intéressant de noter que la littérature recueillie sur l'intermittence est relativement récente et rare malgré la taille de la population touchée par ce phénomène (Figure 1.6). Cependant, la répartition temporelle des articles tend vers une augmentation générale qui est le signe d'un intérêt croissant pour la question, et qui pourrait prendre encore plus d'ampleur avec

15. La recherche s'est faite en anglais, avec les mots clés utilisés par Galaiti et al. "irregular, unreliable, inadequate and poor supply as well as outages and scarcity" [Galaiti et al., 2016], et les termes "Intermittent", "non continuous", "discontinuous".

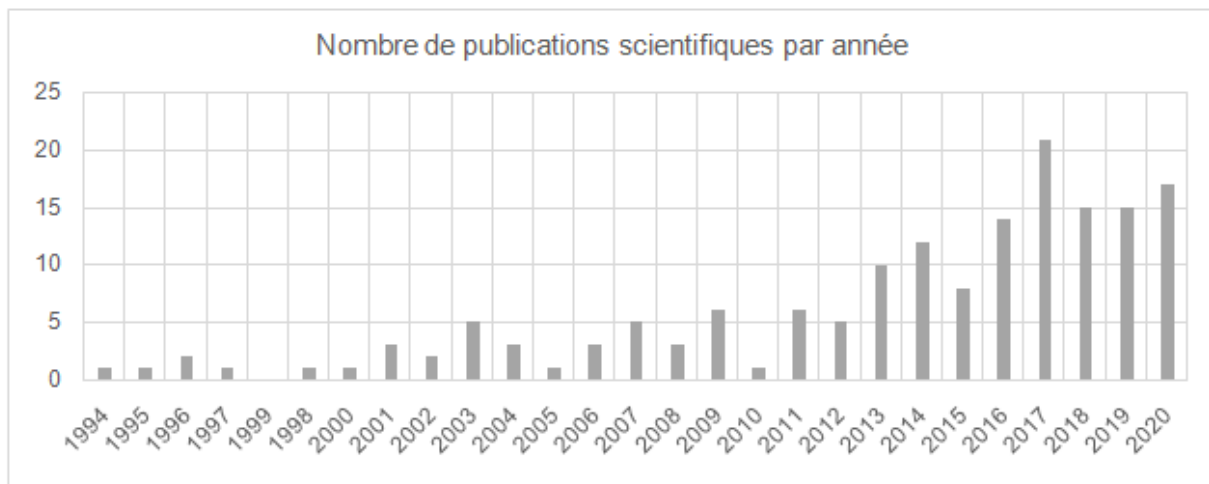


FIGURE 1.6 – Répartition temporelle des références scientifiques dans la littérature sur l’intermittence dans les 4 bases.
Source : élaboration propre

la création récente du groupe de spécialistes de l’IWA sur l’intermittence en 2017 (nous remarquons d’ailleurs un pic cette année-là) et l’organisation en 2019 de la première conférence internationale dédiée à ce régime à Kampala, en Ouganda. Le nombre de publications dédiées à l’intermittence reste toutefois très faible devant les publications sur la gestion des ressources en eau (un dixième des publications répertoriées dans Web of Science sur la période 1994 - 2019) [Lv et al., 2021], et l’ensemble des articles scientifiques¹⁶.

1.4 Un focus sur le passage en alimentation continue

Actuellement, des agences internationales et les gouvernements promeuvent la conversion à l’alimentation continue [Franceys and Jalakam, 2010, Seetharam and Birdges, 2010, Charalambous, 2011, Pearson, 2019], qui, malgré le fait qu’elle soit désirable, reste un challenge pour des configurations de ressource restreinte [Charalambous and Laspidou, 2017b].

Les clauses contractuelles imposées aux opérateurs d’eau pour la gestion de réseaux en intermittence incluent généralement des objectifs d’atteinte de la continuité de service, et des indicateurs conçus pour l’évaluation de la performance d’une alimentation 24 heures sur 24, 7 jours sur

¹⁶. Une moyenne de 2.5 Millions d’articles scientifiques est publiée par an d’après : https://www.stm-assoc.org/2015_02_20_STM_Report_2015.pdf [référence en ligne].

7 (notée H24 ou 24x7), sans qu'ils soient nécessairement adaptés aux contraintes des réseaux en intermittence. Nous listons dans ce qui suit les objectifs et les indicateurs de performance définis dans des appels à proposition de contrats de délégation, d'opération, d'assistance opérationnelle ou de gestion de réseaux en intermittence dans le monde, ou d'organismes financeurs de ces projets (Tableau 1.3).

TABLE 1.3 – Objectifs contractuels de systèmes d’approvisionnement en eau réceptionnés en situation d’intermittence

| Contrat | Description | Objectif | Indicateurs (KPIs) ¹⁷ |
|---|---|---|---|
| Coimbatore – Inde ¹⁸ (1,1 millions d’habitants en 2011) | Contrat O&M (Opération et Maintenance) sur 25 ans avec une période de construction de 4 ans | Mise en place d’un système d’approvisionnement en eau 24h/24 et 7j/7 pour la ville de Coimbatore | Pourcentage de branchements convertis à l’alimentation continue |
| | | | Délai de traitement des réclamations des usagers |
| | | | Qualité de l’eau à la station de traitement et aux robinets des usagers |
| | | | Efficacité de collecte (recouvrement) |
| | | | Pertes en eau |
| Malviya Nagar - Inde ¹⁹ (383000 habitants en 2011) | Projet Pilote de Partenariat Public Privé (concession sur 12 ans) | Améliorer la performance du réseau de distribution d’eau dans la zone de Malviya Nagar (New Delhi) | Couverture de l’alimentation réseau |
| | | | Dotation par habitant |
| | | | Continuité d’approvisionnement |
| | | | Étendue du comptage des branchements d’eau |
| | | | Eaux Non facturées |
| | | | Efficacité de traitement des réclamations en 24 heures |
| | | | Qualité de l’eau |
| | | | Efficacité de recouvrement |
| Mumbai - Inde ²⁰ (12,4 millions d’habitants en 2011) | Contrat d’amélioration de service de 5 ans | Passage en H24 au niveau des 15 zones de service (<i>wards</i>) des banlieues Est et Ouest de Mumbai | Nombre de zones mises en service |
| | | | Conversion effective en approvisionnement continu |
| | | | Support opérationnel pendant 6 mois au niveau de chaque zone |
| Jeddah - Arabie Saoudite ²¹ (3,5 millions d’habitants en 2010) | Contrat de management sur un terme de 7 ans (prolongé de 2 ans) | Améliorer la performance du réseau de distribution d’eau par une gestion rentable et augmenter les revenus grâce à une organisation commercialement viable tout en réduisant la dépendance vis-à-vis des subventions gouvernementales | Couverture du comptage |
| | | | Taux de recouvrement |
| | | | Fréquence de recouvrement |
| | | | Volumes d’eau comptés |
| | | | Volumes facturés |
| | | | Continuité de service |
| | | | Qualité de l’eau |
| | | | Durée d’écoulement des fuites |
| | | | Nombre de réclamations |
| | | | Délai de branchement au réseau |
| | | | Couverture par camion-citerne |
| | | | Délai de réponse aux réclamations |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | Autonomie du service |
| | | | Consommation d'énergie |
| Cluster Nord-Ouest (Arabie Saoudite) ²² | Appel d'offres en cours | Améliorer la performance du réseau de distribution des villes de Médine et de Tabūk | Efficacité de recouvrement |
| | | | Réclamations et cas signalés |
| | | | Délai de remplissage d'un branchement |
| | | | %des branchements desservis / demandés |
| | | | Durées d'alimentation |
| | | | Eaux non facturées |
| Plusieurs contrats successifs à Alger et Tipaza - Algérie ²³ (5 millions d'habitants) | Contrats de Management : 1 : 2006 – 2011 2 : 2011 – 2016 3 : 2016 – 2018 4 : 2018 - 2021 | Modernisation des services d'eau et d'assainissement du grand Alger, avec comme objectifs d'étapes : 1 : Rétablissement de la continuité de service H24, mise en place d'une politique de gestion patrimoniale et maîtrise de la qualité de l'eau 2 : Amélioration et maîtrise de la ressource et H24 à Tipaza depuis 2012 3 : Réhabilitation des ouvrages 4 : Transfert de savoir faire | Continuité de service |
| | | | Conformité de la qualité de l'eau livrée au réseau |
| | | | Taux de recouvrement |
| | | | Eaux non facturées |
| | | | Satisfaction des usagers |
| Amman - Jordanie ²⁴ (2,2 millions d'habitants) | Contrat de performance des Eaux Non Facturées pour les zones DZ24, DZ32, DZ33 et DZ34 à Amman. | Améliorer la performance, la gestion, le fonctionnement et la fourniture des services d'eau pour la zone de services d'Amman et préparer le terrain pour une participation durable du secteur privé dans la gestion globale des services d'eau du pays. | Priorisation réussie des investissements sectoriels |
| | | | Amélioration de l'efficacité de la distribution de l'eau : Réduire de 15% la quantité d'eau non comptabilisée |
| | | | Amélioration de la continuité de l'approvisionnement : Augmenter la régularité de l'approvisionnement en eau en saison de pointe (heures d'alimentation par semaine) |
| | | | Réhabilitation du réseau |
| | | | Efficacité de la gestion |
| | | | Renforcement des capacités et de la viabilité financière de l'Autorité des eaux de Jordanie |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Saltillo - Mexique ²⁵ (840000 habitants en 2016) | Plan de partenariat public privé sur 3 ans | Améliorer la performance du réseau de distribution : L'approvisionnement continu n'est pas obligatoire pour la municipalité, l'objectif contractuel est d'assurer une desserte de 20h/jour | Disponibilité |
| | | | Performance physique et commerciale (déclinaison du rendement) |
| | | | Couverture |
| | | | Durée d'approvisionnement journalier |
| | | | Continuité de service |
| | | | Fréquence des casses canalisations et branchements |
| Port au Prince -Haiti ²⁶ (3 millions d'habitants en 2012) | Contrat d'assistance opérationnelle sur 3 ans | Réhabiliter le réseau d'eau potable et améliorer la performance de l'opérateur public - Amélioration de la qualité de service - Augmentation des montants collectés par l'entreprise - Efficacité administrative et financière - Formation du personnel | Accès à l'eau : Nombre d'usagers |
| | | | Linéaire total, nombre et volume utile des réservoirs, nombre de fontaines, de kiosques et de branchements individuels (avec et sans compteurs) |
| | | | Volumes pompés et volumes distribués |
| | | | Prix unitaires et recettes pour l'accès à l'eau (fontaines, kiosques et branchements individuels) |
| | | | Qualité de la ressource |
| | | | Teneur en chlore résiduel mesurée quotidiennement au niveau des points d'analyse |
| Jakarta-Ouest – Indonésie (5,8 millions d'habitants en 2016) | Concession de 25 ans sur la partie ouest de la ville de Jakarta | Approvisionnement continu et augmentation de la zone de couverture ²⁷ | Eaux non facturées |
| | | | Nombre de branchements |
| | | | Volume d'eau facturée |
| | | | Taux de couverture |
| | | | Capacité de production |
| | | | Qualité de l'eau |
| | | | Pression de service à atteindre (7.5 mCE) dans des points prédéfinis du réseau |
| | | | Délai de réponse aux réclamations |
| | | | Délai de réparation des fuites |

17. KPIs : Key Performance Indicators (Indicateurs Clés de Performance)

18. Informations issues de la notice d'appel à propositions pour le contrat d'Opération et Maintenance de Coimbatore : Notice Inviting for Request for Proposal (Coimbatore CITY Municipal Corporation). Tender n°2896/08/JN5. Date : 28/01/2016

-
19. Informations issues du contrat de spécifications techniques du projet de partenariat public privé de Malviya Nagar : Contract Agreement Malviya Nagar : Vol-3. Draft Schedules & Technical Specifications
 20. Informations issues de l'appel à propositions pour le contrat d'amélioration de service de Mumbai : Mumbai-RFP-III
 21. Informations issues de l'appel à propositions pour le contrat de management de Jeddah : Jeddah PPP Management Contract RFP – 25 Aug 2007
 22. Informations issues du document de description technique de l'appel à propositions pour le contrat de Partenariat Public Privé sur le secteur de la distribution de l'eau (Cluster Nord-Ouest) en Arabie Saoudite : Private Sector Participation in the Water Distribution Sector – RFP 1 (North West Cluster) – 8 August 2019
 23. Informations issues d'une présentation par SEAAL (Société des Eaux et Assainissement d'Alger) à une délégation angolaise en 2018.
 24. Informations issues du rapport de la banque mondiale : World Bank. Implementation completion and results Report (ibrd-44450) on a loan in the amount of us\$55.0 million to the Hashemite kingdom of Jordan for a Amman water and sanitation management project. Report No : ICR0000448. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/812871468273306539/pdf/ICR0000448.pdf>
 25. Informations issues d'un entretien réalisé le 12 juin 2019 avec Nicolas Monterde Roca : ancien directeur technique (2011 – 2017), puis responsable de l'opération et de la maintenance des réseaux d'eau et d'assainissement, et Planning Manager de "Aguas de Saltillo" (2017 – 2020).
 26. Indicateurs extraits de l'Annexe 4 : Matrice de Suivi des Indicateurs de Performance (SIP) de l'Actualisation du Plan Stratégique Sectoriel : Rapport Diagnostic, par l'Office International de l'Eau.
 27. Informations collectées de présentations internes SUEZ et suite à l'entretien avec David Duccini, ancien directeur technique de PALYJA, Jakarta (1999 – 2003).

Il est apparent sur cet échantillon que les indicateurs sélectionnés pour l'évaluation d'un projet d'amélioration de la performance d'un réseau en intermittence diffèrent d'un contrat à l'autre. Les indicateurs qui reviennent le plus sont la continuité de service, mais avec une définition différente selon le contrat (nombre d'heures d'approvisionnement, nombre de zones converties en alimentation continue, pression de service à atteindre dans des points du réseau), et des indicateurs classiques d'évaluation de la performance des services dans des réseaux d'alimentation continue, à savoir les eaux non facturées ou non comptabilisées, la couverture et la qualité de l'eau. Il est intéressant de relever que la qualité de l'eau est généralement évaluée à la sortie de l'usine de traitement, à part dans le cas de Port au Prince où la situation épidémique du choléra impose des analyses de chlore quotidiennes au niveau de points d'analyse dans le réseau. La couverture est répertoriée sur la base du nombre d'usagers ou de branchements individuels ou kiosques et bornes fontaines à Haïti, et dans le cas de Jeddah, la couverture par camion-citerne accessible à l'utilisateur est également intégrée par l'opérateur qui gère une partie de cet approvisionnement aussi. Pour ce qui est du rendement du réseau, aucun indicateur ne prend en compte les incertitudes liées au comptage et aux volumes de pertes liés aux durées d'écoulement des fuites, caractéristiques d'une alimentation intermittente, que nous discuterons plus en détail dans le Chapitre 2.

La tendance est similaire dans la littérature scientifique, il n'existe pas de standardisation des pratiques de l'intermittence, si ce n'est la proposition de stratégies théoriques de conception de ces systèmes pour dépasser certains des problèmes qui leurs sont inhérents [Batish, 2003, Tot-suka et al., 2004, Gottipati and Nanduri, 2014, Neelakantan et al., 2014], comme l'inéquité de distribution qui sera détaillée au niveau du Chapitre 2, même si à notre connaissance aucun réseau d'eau centralisé n'a été conçu spécifiquement selon ces propositions. Un scénario commun est que les systèmes de distribution actuellement en intermittence assuraient à l'origine une alimentation continue mais leur capacité de réponse à la demande des usagers sur l'ensemble du système a été limitée par des changements durables, comme l'expansion du réseau, la densification de la zone de desserte, l'augmentation des pertes d'eau, ou une diminution des ressources en eau [Kumpel and Nelson, 2016], éventuellement associés à un financement insuffisant et une mise en œuvre inadéquate [Sanjay and Dahasahasra, 2007].

Les points qui sont traités dans la littérature explorée (Figure 1.6) vont de constats génériques de l'impact négatif de ces régimes, surtout au niveau de la détérioration de la qualité de l'eau et des risques sanitaires qu'elle engendre²⁸, dans un argumentaire d'incitation au passage en alimentation continue (H24), à des questions techniques qui concernent des phénomènes très pointus comme la modélisation de la phase transitoire du régime d'alimentation [De Marchis et al., 2010, De Marchis et al., 2011, Lieb, 2016, Campisano et al., 2018, Zhang, 2017] (Figure 1.7).

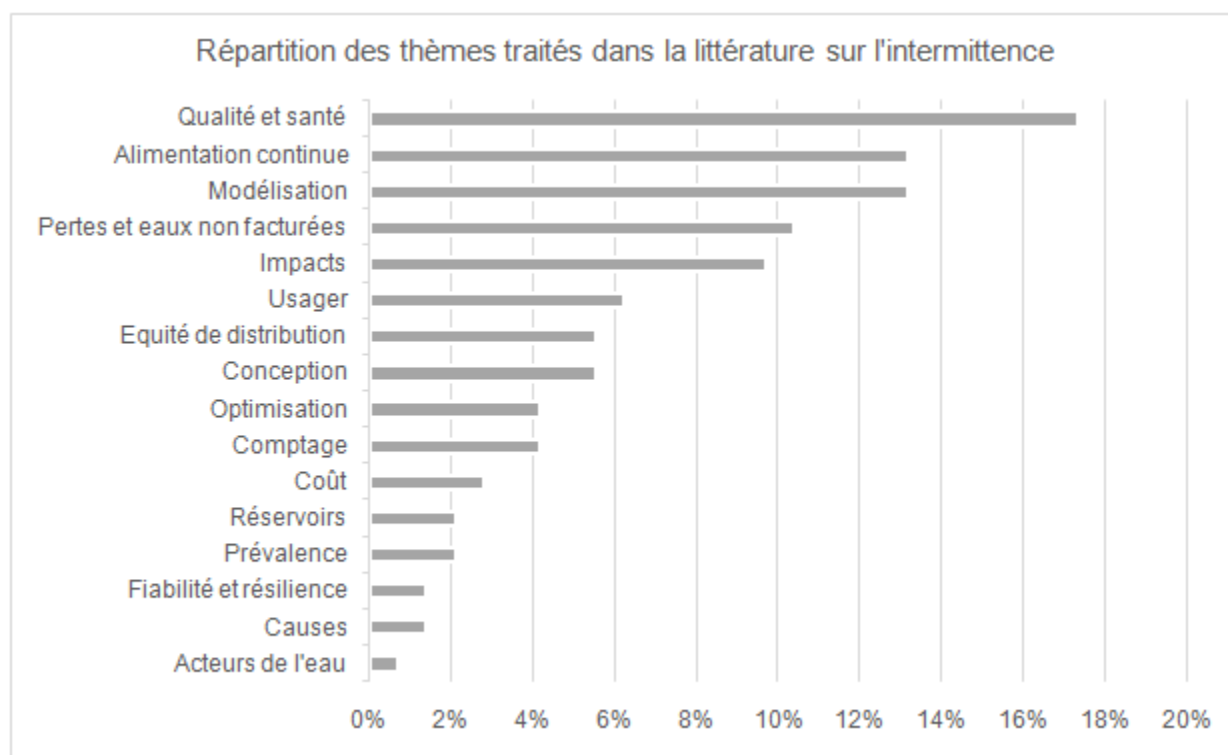


FIGURE 1.7 – Répartition des thèmes traités dans les références scientifiques de la littérature sur l'intermittence, sur la base de 162 articles examinés.

Source : élaboration propre

Sur les propositions de méthodologies de transition vers l'alimentation continue, plusieurs études ont été entreprises sur la conversion de l'approvisionnement en eau intermittent en approvisionnement en eau continu [Sanjay and Dahasahasra, 2007, Klingel and Nestmann, 2014, Charalambous and Laspidou, 2017a, Ray et al., 2018, Ilaya-Ayza et al., 2018]. Charalambous propose un cadre théorique structuré pour faire face à cette tâche, principalement basé sur des actions de

²⁸. Un premier article publié par A. Carpenter au British medical journal lie l'intermittence de l'approvisionnement en eau à la prolifération de la fièvre typhoïde à Croydon au Royaume uni aussi tôt qu'en 1875 [Carpenter, 1875].

réduction des pertes physiques sur le réseau. Des interventions à court, moyen et long termes doivent être mises en place afin que les services d'eau puissent acquérir la capacité, le savoir-faire et l'expertise nécessaires pour exploiter les systèmes. Charalambous suggère en outre que des actions pratiques par le biais d'interventions structurées doivent être mises en œuvre dans le cadre de plans d'action stratégiques fondés sur des études de base et des diagnostics validés du système, le focus étant sur l'amélioration de la performance du réseau par la réduction des pertes par l'opérateur [Charalambous and Laspidou, 2017a]. McIntosh recommande une conversion progressive de l'approvisionnement en eau intermittent en alimentation H24 par zones [McIntosh, 2003]. Klingel et Nestmann ont donné une approche conceptuelle de la transformation d'un système de distribution fonctionnant en intermittence en un système continu en tenant compte de questions techniques comme la restructuration du réseau et la nécessité d'une base de données fiable, et comme McIntosh, ils ont privilégié une conversion progressive zone par zone. Klingel et Nestman déclarent par ailleurs que la conversion ne peut être réalisée qu'en agissant sur la demande globale : en réduisant les pertes, mais également le gaspillage d'eau et la sur-consommation [Klingel and Nestmann, 2014]. Sanjay et Dahasahasra ont appliqué une approche basée sur le calcul d'un équilibre besoin/demande du réseau dans toutes les étapes de sa division en secteurs pour l'introduction progressive de l'approvisionnement continu en eau par l'intermédiaire de ces secteurs [Sanjay and Dahasahasra, 2007]. De manière générale, ces études établissent qu'il serait théoriquement possible de convertir un système d'approvisionnement intermittent en un approvisionnement en eau continu, en adoptant une approche progressive basée sur l'atteinte de l'équilibre besoin/ressource, avec une démarche qui respecte la planification, la collecte de données, les études pilotes dans certains secteurs et l'exécution de mesures et d'interventions stratégiques bien planifiées. Malheureusement, la méthodologie basée sur une conversion spatiale progressive, même transitoire, peut être complètement rejetée par les usagers et les autorités publiques, qui peuvent y voir une atteinte à l'équité de distribution des ressources. Choisir une zone de desserte pour la transition à l'alimentation continue plutôt qu'une autre est une décision politiquement difficile à prendre. A Jeddah, en l'occurrence, l'opérateur a témoigné d'un refus net des autorités locales de cette transition progressive, dans un souci de maintien de l'équité d'approvisionnement.

Ensuite, ces études ne définissent pas les coûts associés à cette conversion, ni le cadre temporel nécessaire, et ne tiennent généralement pas compte de tous les flux initiaux qui régissent l'équilibre établi de cette intermittence, avec tous les acteurs qui interviennent dans son fonctionnement, sa gestion, sa maintenance...

Enfin, toute conversion nécessite une phase de transition et peu d'études se penchent sur l'amélioration du service de l'eau avant l'atteinte de la continuité d'approvisionnement. L'amélioration de la gestion de l'intermittence, en soi, n'est pas suffisamment étudiée. Les cas de passages en alimentation continue pour des systèmes ayant un long historique d'intermittence dans le monde sont très rares. Dans les contrats cités plus hauts en exemple, seule une zone pilote à Malviya Nagar et le réseau d'Alger ont été entièrement convertis en alimentation continue, et dans le cas de Malviya Nagar, cette transition a été temporaire, alors qu'à Alger, un des défis qui se présentent à l'opérateur aujourd'hui encore est le maintien de cette continuité de service²⁹.

Nous pouvons ajouter à cela le cas de Phnom Penh, passé de quelques heures lors du redémarrage de la prise en main du réseau en 1979 à 10 heures d'approvisionnement par jour en 1998 puis au H24 en 2005, qui a connu une transformation impressionnante de ses services d'alimentation, transformation ayant nécessité, de la même manière qu'à Alger, des investissements et des travaux importants afin de permettre techniquement d'atteindre une bonne qualité de service, impossible initialement au vu de la sous-capacité évidente des infrastructures. Phnom Penh a bénéficié d'une aide internationale massive fournie dans le cadre de l'urgence de l'après-guerre après la fin du régime khmer rouge.

Ces investissements ont rendu possible la maîtrise des volumes distribués à travers l'installation de 80 000 compteurs et 15 000 robinets publics sur le réseau, et ont été accompagnés d'opérations d'adaptation de la tarification. Bien qu'ayant été augmentés à deux reprises (en 1997 puis en 2001), la structure en blocs croissants des tarifs a permis de subventionner les usagers à faibles revenus, avec un tarif moyen de 0.24US\$ qui reste abordable pour l'Asie. A laquelle s'est ajoutée, au niveau des coûts de branchement, une stratégie « eau propre pour les pauvres » qui

29. Le réseau d'Alger a rebasculé en approvisionnement intermittent en 2020.

consistait en des mesures d'étalement de leur paiement sur 10 à 20 mois pour les usagers aux faibles moyens financiers, et des subventions par des ONGs et par un fond obtenu auprès de la Banque mondiale en 2005.

Des actions pour l'implication des employés du gestionnaire, et des usagers ont également été entreprises. La volonté des usagers de payer a permis d'assurer le recouvrement total des investissements et a accompagné l'amélioration de la qualité de service. Le rendement du réseau est ainsi passé de 36,3% en 1998 à 90% en 2007, enregistrant un des taux de pertes d'eau dans le réseau les plus bas dans le monde [Blanc and Riès, 2007].

Dans tous les exemples cités plus haut, cette conversion requiert la mobilisation importante de ressources et de moyens financiers, dont ne disposent généralement pas les pays à faibles revenus [Simukonda et al., 2018b], qui sont les plus concernés par la situation, ainsi qu'une implication des populations.

1.5 Synthèse du chapitre 1

La sécurisation de l'accès à l'eau est l'un des principaux défis imposés par la situation mondiale actuelle qui est régie par un déséquilibre croissant entre les ressources existantes, dont la vulnérabilité se renforce à la lumière du changement climatique, et de la pression exercée par la population et l'urbanisation croissantes.

Dans notre société, la pratique de l'approvisionnement en eau par réseau représente une conséquence logique de l'évolution du mode de vie de l'être humain. L'accès à l'eau par réseau est ainsi assimilé à une norme fréquemment associée au respect du droit à l'eau. Cependant, l'état de l'art en matière d'accès à l'eau montre que l'approvisionnement intermittent, qui touche une grande partie de la population mondiale, ne respecte pas toujours ce droit, même si l'eau est bien distribuée par réseau.

Par ailleurs, en proportion de la population concernée, la question de l'intermittence n'est pas suffisamment abordée dans la littérature si on la compare à la production scientifique sur l'eau.

En particulier, l'amélioration de la gestion de l'intermittence n'est pas assez explorée. Peu d'études sur la formulation de recommandations et formalisation de pratiques pour l'approvisionnement intermittent en eau existent. Les efforts sont orientés vers la satisfaction de la curiosité scientifique par rapport à des phénomènes très spécifiques, dont la maîtrise ne présente pas nécessairement une valeur ajoutée significative en termes d'amélioration du service pour l'utilisateur, ou plus souvent sur la nécessité d'éviter ou de dépasser ce régime au vu de ces impacts négatifs, même si les cas de passage à un approvisionnement continu sont peu nombreux dans le monde.

Or, du point de vue de l'opérateur, qui est généralement soumis à des modèles contractuels limités dans le temps et conditionnés par une restriction des moyens disponibles, les conditions de passage en alimentation continue ne sont pas toujours réunies, et les systèmes doivent être gérés dans le cadre de l'intermittence. Cette gestion est particulièrement difficile lorsqu'on constate que les standards adoptés en termes d'objectifs contractuels sont la transition vers le

H24, ou des indicateurs calqués des normes existantes, qui ont été construites pour la gestion de l’approvisionnement continu, pourtant différent de l’intermittence, à laquelle on essaie de les appliquer.

Cette question soulève l’importance de caractériser la distribution d’eau en intermittence, afin de démarrer d’une base de compréhension solide du régime avant d’entamer la construction du processus d’amélioration de l’accès à l’eau qu’il assure.

Chapitre 2

Portrait du régime de l'intermittence

L'approvisionnement en eau par réseau est généralement conçu sur la base de la continuité du service, qui, même quand elle fait défaut, reste présente en tant qu'idéal à atteindre.

Cette considération va à l'encontre de la réalité de la situation du périmètre impacté par l'intermittence, qui s'impose dans de nombreux endroits du monde comme un *modus operandi* de la distribution de l'eau par réseau sans qu'un arsenal réglementaire et technique (bonnes pratiques) ne lui soit dédié dans l'espace contractuel ou institutionnel.

Cette réalité, qui peut par ailleurs découler d'une crainte de légitimer l'intermittence si un cadre stable lui est consacré, entraîne une confusion autour de la nature même du fonctionnement du régime, que le peu de littérature sur le sujet vient aggraver.

La nécessité de dresser un portrait détaillé du régime d'intermittence devient de ce fait manifeste. Ce chapitre caractérise l'intermittence en définissant ses caractéristiques, ses mécanismes de déclenchement, et ses répercussions.

2.1 Méthodologie

Afin de peindre un portrait aussi réaliste que possible du régime d’approvisionnement en intermittence³⁰, nous avons fait le choix d’axer l’approche sur les témoignages et retours d’expérience d’opérationnels ayant eu à gérer ou à intervenir dans des projets de gestion de réseaux en intermittence, que nous avons complétés par les caractérisations disponibles dans la littérature scientifique (paragraphe 3). Cet exercice a également été complété par une revue de la littérature grise sur le sujet, principalement des archives et des rapports de service de l’eau et d’organismes internationaux ou de fonds d’investissements ayant financé ou évalué ce type de projets.

20 opérateurs ont été interviewés, parmi lesquels 18 avec une expérience pertinente dans les filiales de SUEZ dans le monde (Alger et Tipaza (Algérie), Jeddah (Arabie Saoudite), Amman (Jordanie), Port-au-Prince (Haïti), Carthagène et Barranquilla (Colombie), Mexico, Cancun et Saltillo (Mexique), Mumbai, Delhi, Coimbatore (Inde)...) et 2 opérateurs des compagnies d’eau locales de Jeddah et Amman.

La liste des personnes interviewées est présentée dans le Tableau 2.1 :

En fonction de la disponibilité des interlocuteurs, les entretiens ont été menés en présentiel ou à distance (Grille d’entretien en Annexe 1), et des questionnaires individuels complémentaires ont été envoyés dans les cas de Saltillo, Jeddah et de Amman. Il est à noter que pour Saltillo,

30. Par portrait du régime, nous entendons une description des causes d’établissement de ce système d’approvisionnement, ses caractéristiques, et les impacts qu’il a sur les usagers et l’opérateur, que nous considérons dans un premier temps comme les premiers acteurs concernés par le service de gestion de l’eau.

31. PALYJA : PAM Lyonnaise Jaya est une filiale de SUEZ présente à Jakarta pour améliorer l’approvisionnement en eau potable et les services aux habitants de la partie occidentale de Jakarta depuis le 1er février 1998, dans le cadre d’un accord de coopération de 25 ans avec la PAM Jaya.

32. SEAAL : Société des Eaux et de l’Assainissement d’Alger, est une Société Publique par actions créée à l’issue d’un partenariat Public privée du gouvernement algérien avec SUEZ. Elle est détenue à 70% par l’Algérienne des Eaux (ADE) et à 30% par l’Office National de l’Assainissement (ONA). La principale mission de SEAAL est de produire et de desservir en Eau potable les wilayas d’Alger et de Tipaza, et de collecter et traiter les Eaux usées au niveau de ces deux périmètres.

33. DMA/DMZ : District Metered Areas / District Metered Zones : peuvent être traduits par des secteurs hydrauliques, destinés au suivi du débit minimal nocturne afin de détecter les anomalies de consommations et de pertes sur le réseau.

34. *Aguas, Servicios e Inversiones de México* (ASIM) et ses sociétés TECSA et IACMEX, font partie du groupe SUEZ, et alimentent en eau potable la partie Est de la ville de Mexico.

35. Miyahuna : Compagnie jordanienne des services d’eau et d’assainissement

TABLE 2.1 – Liste des opérateurs interviewés

| Nom | Activité ou poste en relation avec l'approvisionnement en intermittence |
|-----------------------------------|---|
| Juan MATEOS IÑIGUEZ | Ancien ingénieur à Barranquilla et Cartagena (1996 - 2000) |
| Philippe CARTON | Directeur technique du contrat de Port-au-Prince et Haïti depuis 2014, ancien directeur du contrat de gestion de Amman (2001-2003) |
| David DUCCINI | Ancien directeur technique de "PALYJA" ³¹ , Jakarta (1999-2003), et de "SEAAL" ³² , Alger (2006-2008) |
| Didier SINAPAH | Ancien directeur de sectorisation (DMA/DMZ ³³) à Jeddah (2008-2010) |
| François FIGUERES | Ancien directeur technique à Mumbai (2014-2017) |
| Philippe MAPPA | Intervenu en 2008 à Jeddah pour la sectorisation du réseau, ancien directeur technique de "PALYJA", Jakarta (2010-2012), ancien directeur technique en Inde, offrant un support technique à Bangalore et à Mumbai, ancien directeur des opérations à Malviya Nagar, New Delhi (2012-2015) |
| Fayçal TAGHLABI | Ancien ingénieur à Port-au-Prince (entre octobre 2013 et mars 2014) |
| Diane D'ARRAS | Intervenue à Port-au-Prince en 2013, présente au début du contrat de Buenos Aires (1993-1994) |
| Pascale GUIFFANT et Aymeric BAJOT | Soutien aux entités opérationnelles et commerciales de SUEZ dans la mise en œuvre de programmes sociétaux pour l'accès à l'eau et à l'assainissement dans les quartiers informels (Mumbai, Alger, Jakarta, Casablanca, Haïti et autres villes) (2014-2018) |
| Nicolás MONTERDE ROCA | Ancien responsable technique à "Aguas de Saltillo" (2011-2017). Responsable de l'exploitation et de l'entretien des réseaux d'eau potable et d'eaux usées. Responsable de la planification à "Aguas de Saltillo" (2017-2020) au Mexique |
| Alberto JIMENEZ | Ancien directeur des opérations à Malviya Nagar, New Delhi (2015-2018) |
| Olivier NARBEY | Responsable du projet d'approvisionnement en eau potable à "SEAAL", Alger (2009-2011), ancien chef du département des études stratégiques et des projets à "SEAAL", Alger et Tipaza (2011-2016) |
| Samir NAIT KACI | Ancien directeur de comptage à Jeddah (2008 – 2009) |
| Sobral RUI | Ancien directeur de "TECSA-IACMEX" ³⁴ , Mexico (2007 – 2012) |
| Anne IBRAHIMA | Directeur de Projets Eau chez SUEZ, en charge de la gestion des appels d'offres, notamment sur des projets à Tabūk, Médine et Riyadh, en Arabie Saoudite |
| Didier GAUJOUS | Directeur opérationnel, directeur technique et des investissements de plusieurs projets de SUEZ à l'international depuis 1983 (Libye, Cameroun, Brésil, Philippines) |
| Victor GARNREITER | Responsable commercial à Aguas de Limeira (1995-2000), ancien directeur du service clientèle et du marketing de "PALYJA", Jakarta (2000-2003) |
| Bo Li | Chef de Projets Eau chez SUEZ, en charge de la gestion des appels d'offres, notamment sur des projets à Tabūk, Riyadh et Médine, en Arabie Saoudite |
| Abdulrahman ALSEHRI | Ancien responsable de l'approvisionnement en eau (2012-2015) et ancien responsable de la transmission (2009-2012) à Jeddah |
| Jiries DABABNEH | Directeur des services techniques de "Miyahuna" ³⁵ , Amman (2008-2016) |

un deuxième entretien en face à face a été conduit par la suite. Ces entretiens ont couvert les aspects suivants :

- Expérience avec des réseaux en intermittence : description du réseau et du rôle de l'opérateur ;
- Nature et perception de l'intermittence : fréquence, prédictibilité, ... ;
- Causes : raisons derrière le déploiement de l'intermittence ;
- Historique : régimes passés du réseau ;
- Dysfonctionnements : problèmes associés à l'intermittence et priorisation ;
- Conversion à l'alimentation continue : intérêt éventuel et tentatives de passage en H24 ;
- Outils et données disponibles : Utilisation de modèles et de solutions disponibles ou adaptées à la gestion de l'intermittence ;
- Parties prenantes : différents acteurs et entités impliqués dans la gestion de l'approvisionnement en eau.

L'objectif de l'exercice était de définir une spécification opérationnelle de l'intermittence sur la base des réseaux décrits dans la littérature et à l'issue des interviews.

Dans la section qui suit, nous faisons état des informations descriptives obtenues pour chacun des cas étudiés, avant d'examiner les facteurs causals, et les problèmes et risques qui sont liés à l'intermittence qui ont pu en être tirés.

2.2 Réseaux examinés

Nous présentons dans le tableau suivant (Tableau 2.2) les caractéristiques des réseaux décrits par les opérateurs interviewés.

L'examen préliminaire de ces réseaux de configurations et de densités variées souligne la largeur du spectre que peut prendre l'intermittence sur le plan des durées et des fréquences d'approvisionnement, ces paramètres étant eux-mêmes difficiles à comparer au vu des différentes manières dont les opérateurs décrivent l'approvisionnement.

Ce constat de grande variabilité est relevé à la fois sur la considération des niveaux de service obtenus et la manifestation de l'intermittence et ses répercussions, que nous examinerons dans la section 2.3.

Un autre point qu'il est toutefois important de relever était la nécessité de préciser lors des interviews ce qu'on entendait par « intermittence », aux opérateurs qui géraient ces réseaux. Ce point est en phase avec le manque de standardisation autour de ce mode d'approvisionnement dans la littérature et au niveau des réglementations, alors qu'il n'y a pas d'ambiguïté lorsqu'on parle d'approvisionnement H24, qui est pris comme référence. Certains des opérateurs préféraient d'ailleurs utiliser le terme de distribution « non continue » ou « irrégulière » en décrivant les réseaux dans lesquels ils sont intervenus.

TABLE 2.2 – Caractéristiques des réseaux examinés

| Réseau | Données démographiques | | | Caractéristiques du réseau | | Caractérisation de la distribution | |
|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| | Périmètre / Superficie | Population | Taux de croissance annuelle | Linéaire (en 2017) | Nombre de branche- ments | Durée ou fréquence de desserte | Couverture réseau ou H24 |
| Alger (Algérie) | 1190 km ² (57 communes) | 4 millions d'habitants | 1,9% | 5200 km (en 2019) | 730 000 | 13h en moyenne en 2006 (zones en H24 et zones à moins de 6h par jour) | 8% du réseau en alimentation continue en 2006 |
| Tipaza (Algérie) | 2166 km ² (28 communes) | 670 000 habitants | 2% | 1500 km (en 2019) | 130 000 | Certaines zones du chef-lieu en H24 - Moins de 3 heures par semaine sur les villages éparpillés. Approvisionnement quotidien à l'est et au centre (2018) | Chef-lieu et gros usagers en H24 en 2012 |
| Jeddah (Arabie Saoudite) | 720 km ² | 4,5 millions (en 2013) | 2.7% | 5500 km (7000 km en 2018) | 217 000 | Une fois tous les 23 jours en 2008 (programme mensuel de distribution) | 8% en 2009 (33% en 2012) |
| Amman (Jordanie) | 1680 km ² | 2.2 millions d'habitants (en 2007) | 1,5% | 3300 km (en 1998) | 350 000 | Fréquence d'alimentation allant de 24 à 48h, pendant des jours limités par semaine (1999) - entre 24 et 168h par semaine en 2006 (moyenne de 66 heures en 2006 qui a chuté à 47 puis 44 heures par semaine les années suivantes) | 27% en H24 en 2006 |
| Mumbai (Inde) | 57 km ² | 12,4 millions d'habitants (en 2011) | 1% | 5500 km (en 2017) | 850 vannes opérées par jour | Distribution journalière de 2 à 4 heures par jour en 2014 | H24 sur deux projets pilotes en 2018 (H/W et T Ward ; 670000 habitants) qui a été implémenté en 2017 mais qui n'a pas pu être maintenu |
| Coimbatore (Inde) | 105.6 km ² | 1.1 millions d'habitants (en 2011) | 1% | 1122 km (en 2018) | 106 121 | La période d'approvisionnement (2018) est d'une ou deux fois tous les 7 jours selon la disponibilité de l'eau. La durée de l'alimentation reste en moyenne de 3 à 5 heures le jour de l'approvisionnement. | Pas de H24 lors de la prise en main du réseau en 2018 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---|------|---------------------|---------|--|--|
| New Delhi (Inde) | Malviya Nagar : 14 km ² | Malviya Nagar 383000 habitants (en 2011) | 1,1% | 191 km (en 2011) | 36228 | 3 à 8h par jour en 2013 | Couverture de l'approvisionnement réseau de 84% en 2011 (pas de H24 à part sur la zone pilote, temporairement) |
| Carthagène (Colombie) | 572 km ² | 895 400 (en 2005) > 955 709 (en 2011, estimation) | 1,3% | 1633 km | 162 000 | 17 h par jour en moyenne en 1990 | Accès au réseau de 70% de la population en 1990 – 99% en H24 en 2005 |
| Cancun (Mexique) | 1980 km ² | 934000 (en 2011) | 1,5% | 2200 km | 202 000 | 3 zones de desserte (2011) : Zone touristique : alimentation en H24 Zone centrale : moins de 10h par jour, tous les jours Zone en développement : durée d'alimentation entre 4 et 10h | Alimentation H24 de la zone touristique |
| Saltillo (Mexique) | 3837 km ² | 840000 habitants (en 2016) | 1,9% | 2600 km (en 2019) | 250 000 | 6h par jour en moyenne en 2001 – 10% des usagers en approvisionnement quotidien (2001) 2016 : 16,5 h 2019 : 20h | 15% en H24 en 2016 53% en 2019 |
| Mexico (Mexique) | 1485 km ² | 9 millions d'habitants (quart du périmètre) | 0,8% | 2200 km | 202 000 | Plus de 20% de la population n'a pas un approvisionnement quotidien (2014) | Moins de 30% de la population de la métropole a l'eau en H24 en 2014 |
| Port au Prince (Haïti) | 30 km ² | 3 millions d'habitants (en 2012) | 2,9% | 750 km | 57 030 | Approvisionnement très inégal entre des zones à moins d'une heure et d'autres à 160 heures par semaine (2011) | Pas de H24 (5% de couverture en eau par réseau en 2010) |
| Jakarta Ouest – Palyja (Indonésie) | 370 km ² | 4,5 millions d'habitants en 2013 (5,8 millions en 2016) | 1,4% | 5300 km | 404 000 | Coupures d'eau de plusieurs heures par jour (approvisionnement non régulier) | Couverture par réseau d'eau augmentant de 34% en 1998 à 65% de la population de la zone Ouest en 2010 (enclivés vers les modes d'approvisionnement alternatifs, H24 dans les quartiers riches de la ville) |

2.3 Nature du régime et types d'intermittence

L'exploration des cas d'études décrits par les opérateurs a permis de constater l'incertitude autour de la notion de l'intermittence et de mettre en avant la variété de ses manifestations.

Afin de contribuer à éclaircir cette notion, nous commençons dans ce qui suit par revenir sur la définition du concept, avant de relever les principaux points qui le caractérisent.

Dans cette optique, nous avons complété les informations recueillies des opérateurs avec les résultats de la littérature sur ces aspects pour construire un schéma global et détaillé de l'intermittence.

2.3.1 Définition de l'intermittence

Globalement, les caractéristiques de l'intermittence s'appliquent à un système de distribution par canalisation, avec un approvisionnement plus ou moins régulier et limité dans le temps. Le périmètre de distribution est délimité par les réseaux de canalisations secondaires et tertiaires, de la source à la sortie (logements, kiosques, bornes-fontaines, etc.) [Charalambous and Lapidou, 2017b]. Certains considèrent le système comme intermittent si tous les réseaux ne sont pas toujours remplis d'eau et pressurisés [Sridhar, 2013].

L'approvisionnement intermittent en eau englobe un large éventail de pratiques dont la durée et les modalités de distribution varient [Kumpel, 2013]. Il n'existe pas de définition complète, partagée et unanime de l'intermittence des réseaux d'eau dans la littérature, même si dans la dernière publication du Groupe de Spécialistes sur les Pertes en Eau de l'IWA, une définition a été proposée [Pearson, 2019]. Celle-ci se limite aux modalités de coupures d'eau de certaines parties du réseau par rotation, mais ce modèle de fonctionnement n'englobe pas la totalité des manifestations de l'intermittence de desserte en eau.

Ce régime est souvent lié au rationnement, à la répartition ou à la restriction [Fan et al., 2014, Guragai et al., 2017, Pearson, 2019], ou défini par l'impact qu'il a sur le réseau [Whitting-

ton, 2002, Georges M Ayoub, 2006], soulignant parfois son inadéquation [Fan et al., 2014, Charalambous and Laspidou, 2017a, Pearson, 2019]. Une première description de base peut être extraite des propositions de différents auteurs et résumée comme suit : « *L'approvisionnement intermittent en eau est un service de distribution d'eau par canalisation qui fournit de l'eau aux utilisateurs pendant moins de 24 heures dans une journée* ». [Andey and Kelkar, 2009, Charalambous, 2011, Taylor, 2014, Agathokleous and Christodoulou, 2016, Charalambous and Laspidou, 2017b, Vairavamoorthy, 1994].

Cette description est largement reprise avec de légères variations et des éléments supplémentaires selon les auteurs.

En particulier, la notion de *régularité temporelle* de la distribution ne fait pas l'unanimité. Pour Gohil, même en cas d'approvisionnement intermittent, l'eau doit être livrée à intervalles réguliers tout au long de la journée, par exemple quelques heures le matin ou le soir [Gohil, 2013], alors que pour Shrestha et Buchberger, l'approvisionnement en eau est dit intermittent lorsque l'eau est acheminée régulièrement ou « irrégulièrement » par des réseaux de canalisations pendant moins de 24 heures par jour [Shrestha and Buchberger, 2012], l'intermittence irrégulière désignant un approvisionnement arrivant à des intervalles inconnus dans de courtes périodes de temps ne dépassant pas quelques jours [Galaitis et al., 2016]. Le manuel de l'IWA donne quant à lui le nom d'approvisionnement « rotationnel » à un système avec un approvisionnement en eau régulier et intermittent, de sorte qu'il existe pour l'utilisateur un schéma relativement cohérent quant au moment où l'approvisionnement est disponible [Pearson, 2019].

La *durée de l'approvisionnement* qui caractérise ce type de distribution d'eau est également un point de divergence dans la littérature. La restriction temporelle est bien établie et soulignée partout [Sashikumar et al., 2003, Kumpel and Nelson, 2016], mais certains auteurs s'écartent de la limitation à moins de 24 heures par jour, et élargissent le spectre à un approvisionnement qui peut aller de quelques heures par jour à quelques jours par semaine ou moins [McIntosh, 2003, Philipp Klingel, 2012, Vacs Renwick, 2013, Abu-Madi and Trifunovic, 2013, Galaitis et al., 2016].

La *fréquence ou la périodicité de l'approvisionnement* en eau n'est pas non plus définie, elle est

généralement considérée comme quotidienne [Solgi et al., 2016], bien que dans des cas extrêmes, la périodicité dure plus d'une journée [Ilaya-Ayza et al., 2016], et l'eau a globalement une « disponibilité peu fréquente » [Brick et al., 2004]. Dans certains réseaux intermittents comme ceux de Jeddah, Port-au-Prince ou Coimbatore, le calendrier de distribution de l'eau adopté est hebdomadaire, voire mensuel, plutôt que journalier, la limitation dans le temps est alors toujours présente mais les temps de fourniture et leur périodicité varient. Dans tous les cas, la fréquence d'interruption des systèmes d'alimentation en intermittence doit être récurrente [Brick et al., 2004]. L'intermittence diffère des interruptions de service exceptionnelles ou accidentelles, qui couvrent par ailleurs des zones plus localisées. La fréquence des interruptions de service est un indicateur habituel de la qualité du service qui peut être révisé dans le cas des réseaux d'eau en intermittence.

Parfois l'intermittence peut sembler délibérée pour s'adapter à des circonstances exceptionnelles. L'interruption de l'approvisionnement est mise en œuvre pour économiser l'eau et/ou l'énergie [Vairavamoorthy et al., 2008, Taylor, 2014, Bozorg-Haddad et al., 2016, Pearson, 2019], ou pour des raisons économiques, politiques ou de sécurité [Fan et al., 2014].

Du point de vue de l'opérateur, l'approvisionnement en intermittence est en pratique mis en place par des coupures généralement par rotation, souvent établies par la capacité des réservoirs, le programme de pompage et le fonctionnement des vannes [Erickson et al., 2017] dans certains secteurs pour permettre de garantir une mise en charge des canalisations et une pression adéquate³⁶ dans d'autres parties du réseau pendant ce temps [Haddad et al., 2014, Lieb et al., 2016, Solgi et al., 2016, Bozorg-Haddad et al., 2016].

Du point de vue de l'utilisateur, la définition devrait inclure la disponibilité globale de l'eau aux points de sortie. **Une définition plus technique tenant compte des deux extrémités serait alors de considérer un système comme intermittent lorsque la pression résiduelle aux points de sortie n'est pas en permanence supérieure à un seuil donné.** La valeur du seuil doit être adaptée aux caractéristiques de chaque réseau. Dans le cas du réseau

³⁶. La notion de pression adéquate dépend du seuil qui permettrait théoriquement de faire parvenir l'eau au deuxième étage d'un bâtiment. Elle est souvent définie dans les clauses contractuelles d'un projet d'approvisionnement en eau.

de Jeddah, par exemple, cette valeur peut être fixée à 0,5 bar, conformément à l'indicateur de performance fixé par le ministère de l'eau et de l'électricité du pays pour son contrat de gestion (2007), alors qu'à Coimbatore, au moins 7 m de colonne d'eau (0,69 bar) sont nécessaires au niveau du raccordement [Government of India, 1999].

2.3.2 Facteurs causals de l'intermittence

Si les définitions de l'intermittence sont variées, la majorité des auteurs et tous les opérateurs interrogés mettent en avant des expériences qui traduisent globalement l'impact négatif de l'intermittence sur la qualité de la distribution d'eau potable, cet aspect sera détaillé dans le paragraphe suivant (2.3.3). Mais face à ce consensus, une première question qui se pose est : « pourquoi et comment ce régime d'approvisionnement s'établit ? »

Ni les opérateurs interrogés ni la littérature n'ont mis en évidence un élément déclencheur précis qui aurait pu faire basculer l'approvisionnement vers un régime intermittent ; ils ont plutôt évoqué, au premier abord, un contexte général de contraintes multifactorielles au niveau de l'inadéquation ressource/demande, des infrastructures ou de la gestion qui constituent selon eux des obstacles à l'amélioration du service de l'eau dans ces réseaux (Tableau 2.3)³⁶. Ces conditions sont symptomatiques des contraintes générales auxquelles les réseaux d'eau potable sont soumis aujourd'hui, auxquelles s'ajoutent les comportements des usagers.

37. Les cas d'Alger et de Tipaza sont présentés de manière globale ici, et seront explorés plus en détail au niveau de la partie 2 du document.

TABLE 2.3 – *Obstacles à l'amélioration du service de l'eau dans les réseaux examinés*

| Réseau | Amenusement ou instabilité des ressources | Insuffisance ou inadéquation des infrastructures | Croissance de la demande | Planification stratégique lacunaire | Gouvernance et cadre politique et réglementaire | Gestion opérationnelle | Intervention / comportement de l'utilisateur |
|---|--|---|---|---|--|---|--|
| Alger (Algérie), 4 millions d'habitants | Fort stress hydrique qui s'était fait ressentir très violemment dans les années 2000 | Besoin de réhabilitation du système de transport, et de modulation de pression (très fort relief) | Croissance démographique et densification urbaine importantes | Sous-estimation de l'accroissement urbain par le schéma directeur | Cadre réglementaire rigide sur la tarification de l'eau, l'achat de matériaux, et la sous-traitance | Contraintes sur la réalisation des travaux | Branchements illégitimes (plus de 50%) |
| Tipaza (Algérie), 670 000 habitants | Ressources déficitaires. L'amélioration de l'approvisionnement dans la partie Ouest de la ville est conditionnée par la mise en service d'un barrage dont la livraison par les autorités algériennes était prévue en 2016, et qui n'a toujours pas eu lieu | Réseau ancien très dégradé | | Absence de schéma directeur lors de la prise en main du contrat | Priorisation territoriale (Alger par rapport à Tipaza, et Chef-lieu par rapport aux villages annexes) | Mauvaise gestion des bornes fontaines publiques (sur lesquels certains particuliers se connectent directement) | Dispositifs de stockage chez les habitants |
| Jeddah (Arabie Saoudite), 4,5 millions d'habitants (2013) | Stress hydrique important : Moins de 90m ³ d'eau par habitant par an. La grande majorité de l'approvisionnement en eau, qui est instable, est basée sur le dessalement d'eau de mer | Surdimensionnement des infrastructures qui restent inutilisées conduisant à leur détérioration | Population croissante et développement économique rapide | Absence d'un diagnostic détaillé de la demande en eau et de la production | Lobbying du système de camions-citernes mobiles par les concurrents locaux influents Mauvaise planification du système administratif : investissements mal dimensionnés au niveau des infrastructures | Manque de compétences en matière d'exploitation et d'entretien, de gestion de réseau et de gestion des ressources humaines. Retard dans l'exécution des travaux | Branchements clandestins Grands réservoirs de stockage chez les usagers |

| Réseau | Amenusement ou instabilité des ressources | Insuffisance ou inadéquation des infrastructures | Croissance de la demande | Planification stratégique lacunaire | Gouvernance et cadre politique et réglementaire | Gestion opérationnelle | Intervention / comportement de l'utilisateur |
|---|---|--|---|--|--|--|---|
| Amman (Jordanie), 2,2 millions d'habitants (2007) | Moins de 150m ³ d'eau disponible par personne par année La ville, autrefois essentiellement auto-suffisante en termes de ressources en eau, dépend aujourd'hui fortement des importations d'eau en provenance de sources éloignées (elle consomme 40 % des ressources du pays). | Extensions sans redimensionnement des réseaux Manque de réservoirs en altitude : Amman est construite sur 14 collines et la distribution se fait uniquement en refoulement direct et avec des pressions allant jusqu'à 10-15 bars | Forte croissance démographique causée en partie par un flux migratoire considérable (zones limitrophes conflictuelles) | Suivi dans l'urgence de l'expansion rapide de la ville | Gestion insuffisante des pertes techniques et commerciales (30 %) sur le réseau : Réseau très fuyard (9 casses par km en 2004 contre une norme de 0.4 casses par km) | Peu d'OPEX dédiés à la maintenance et à l'extension du réseau | 22000 branchements illicites en 2004 Réservoirs et citernes installées dans la majorité des habitations pour stocker l'eau du réseau Surpresseurs utilisés pour << monter >> l'eau malgré le manque de pression |
| Mumbai (Inde), 12,4 millions d'habitants en 2011 | Variabilité des ressources à cause de l'irrégularité causée par la saison de Mousson | Réseau surdimensionné : La taille des branchements a été conçue pour une pression plus élevée | Malgré la croissance démographique, le volume d'eau injecté dans le réseau est équivalent à 300 litres par personnes par jour, ce qui devrait théoriquement couvrir les besoins d'un approvisionnement en H24 | La majorité du territoire est constitué de bidonvilles. Densification liée notamment aux nouveaux projets de développement et de réhabilitation du projet de transport urbain... | Mauvaise coordination et absence de concertation entre le gestionnaire et l'autorité gouvernementale cliente Tarifs bas | Déficience de la qualité des travaux de construction Insuffisance des compétences en matière d'entretien du réseau Taux de pertes élevé (ENF dans les 60 %) Irrégularité de la relève | L'approvisionnement en intermittence n'est pas considéré comme problématique par la population La plupart des usagers disposent d'une capacité de stockage de 2 à 3 jours dans des réservoirs souterrains et de toit et les usagers ne ferment jamais leur robinet de stockage souterrain. |
| Coimbatore (Inde), 1,1 millions d'habitants en 2011 | Variabilité des ressources à cause de la saison de Mousson | Absence de compteurs stratégiques, pertes (>20%), piquage direct pour la distribution Réseau de distribution : conduites sous-dimensionnées, pression inadéquate Besoin de réhabilitation de 15 réservoirs stratégiques | Estimation de la population basée sur le recensement de 2011 : besoin de maîtrise de la clientèle | Extension du réseau sans prise en compte des besoins en dimensionnement hydraulique adéquat du réseau | Tarifcation gérée par l'autorité gouvernementale | | Présence de réservoirs domestiques aux fuites non maîtrisées Recours au pompage sur réseau par surpresseurs domestiques |

| Réseau | Amenagement ou instabilité des ressources | Insuffisance ou inadéquation des infrastructures | Croissance de la demande | Planification stratégique lacunaire | Gouvernance et cadre politique et réglementaire | Gestion opérationnelle | Intervention / comportement de l'utilisateur |
|--|---|--|--|--|---|--|---|
| New Delhi (Inde), Malviya Nagar : 383000 habitants en 2011 | Production d'eau et réseau primaire sous la directive de l'autorité gouvernementale | Besoin de réhabilitation du réseau (41000 branchements) | Problème posé essentiellement par les pertes physiques dans le réseau et chez les usagers. En 2011, le volume d'eau livré au réseau par personne était estimé à 286 lpcd, contre 96 lpcd consommés | Pas d'évaluation correcte de la disponibilité des ressources nécessaires | Mauvaise coordination et absence de concertation entre le gestionnaire et l'autorité gouvernementale cliente Tarifs plus bas que le coût de production | | Refus de certains usagers de l'approvisionnement en continu Branchements illégitimes Surpresseurs branchés directement sur le réseau Et stockage souterrain fuyard |
| Carthagène (Colombie), 895 400 (2005) : 955 709 (2011, estimation) | Ressources suffisantes pour répondre à la demande qui inclue les pertes (60 %) | Inadéquation des infrastructures existantes avec la demande de la population croissante | Densification de la ville à cause d'un flux migratoire important (état d'insécurité) | Planification insuffisante pour accompagner le flux migratoire | Pression exercée par des minorités au pouvoir sur la distribution de l'eau La séparation entre la politique nationale et les services publics n'a pu être entamée qu'en 1991 suite à la nouvelle constitution nationale qui a mis ces services sous la responsabilité des représentants locaux | Taux de recouvrement faible Insuffisance du financement pour l'entretien du réseau Coûts internes élevés : Plus de 1000 employés | <i>Pas un obstacle : Pression des usagers sur le gouvernement pour l'amélioration du service</i> |
| Cancun (Mexique), 934 000 (2011) | Manque d'anticipation de la croissance rapide de la population due à l'urbanisation rapide et au développement touristique : Augmentation annuelle des usagers de 7.5 % (2002 - 2010). La population de Cancun a triplé entre 1994 et 2009. | Inadéquation du dimensionnement des réseaux primaires. En plus, le système hydraulique de la ville est un système de pompage par étapes de distribution, dont l'absence d'intégration entraîne des pertes élevées et une augmentation de sa complexité hydraulique | Urbanisation rapide et non contrôlée (superficie de la ville 20 fois plus importante entre 1970 et 2000) Activité touristique très importante (1 hôtel pour 6 maisons en 2010) | Schéma directeur réalisé en une fois, et non mis à jour | Attribution de la responsabilité du développement des réseaux de distribution à des lotisseurs immobiliers locaux dont la qualité du travail est très insuffisante, avec des matériaux de mauvaise qualité et une absence de synchronisation avec les réseaux primaires. Orientation de l'approvisionnement en eau vers les hôtels au détriment des ménages domestiques | Connaissance insuffisante des flux, des volumes, et des limites des zones d'approvisionnement Pas de modélisation hydraulique des conduites de transport et des stations de pompage | Vols d'eau par branchements illicites au niveau des zones périphériques Pratiques de sabotage des compteurs d'eau |

| Réseau | Amenusement ou instabilité des ressources | Insuffisance ou inadéquation des infrastructures | Croissance de la demande | Planification stratégique lacunaire | Gouvernance et cadre politique et réglementaire | Gestion opérationnelle | Intervention / comportement de l'usager |
|---|---|--|---|---|--|---|--|
| Saltillo (Mexique), 840 000 habitants en 2016 | Problème de ressources (Surexploitation des eaux souterraines : 5 zones de captage supplémentaires ont été acquises) et 85 forages ont dû être optimisés | Infrastructure limitée dans certaines zones du réseau Stations de pompage de forages mécaniques et électriques dépassées et mal conçues | Urbanisation informelle rapide | Problème de planification urbaine face à l'émergence d'habitat informel | <i>Existence d'institutions informelles ayant une influence et un pouvoir politiques dans les bidonvilles</i> | Absence de programmes de maintenance Matériaux de mauvaise qualité utilisés dans les branchements domestiques et les réseaux secondaires Manque de technologie et outils de gestion obsolètes | Branchements illégaux et utilisation de réservoirs de stockage |
| Mexico (Mexique), 9 millions d'habitants (quart du périmètre) | <i>Théoriquement, les précipitations seraient probablement capables de satisfaire les besoins en eau de la ville si des dispositions étaient prises pour stocker une partie de l'eau dans des barrages et injecter le reste dans le lit du lac environnant afin de l'exploiter pendant la longue saison sèche. Actuellement : aquifère en crise, rechargé par des ressources externes, à cause de la surexploitation et l'imperméabilisation des terrains</i> | Infrastructures hydrauliques complexes et vieillissantes souffrant de nombreuses défaillances | Expansion de l'aire métropolitaine, et croissance démographique importante dans les années 80 | Modèle de développement urbain aléatoire à inadéquat : La "récupération" des terres marécageuses et le pavage des rues des villes ont limité les possibilités de rechargement naturel des aquifères | Déni du problème de la part des autorités, qui imposent l'insertion de tinacos (réservoirs de toits) dans les standards de construction. Problème d'enracinement d'une mafia de l'eau qui gère la distribution de l'eau par camions citernes Les administrateurs locaux ont aidé et encouragé les invasions et imperméabilisations des zones sensibles en échange d'un soutien politique Cadre institutionnel qui permet à certains de puiser des volumes d'eau illimités dans l'aquifère commun de la vallée | Habitude de sabotage des compteurs par les usagers, suite à une qualité de service jugée insuffisante. Recours aux tinacos pour le stockage de l'eau | |

| Réseau | Amenusement ou instabilité des ressources | Insuffisance ou inadéquation des infrastructures | Croissance de la demande | Planification stratégique lacunaire | Gouvernance et cadre politique et réglementaire | Gestion opérationnelle | Intervention / comportement de l'utilisateur |
|---|--|--|---|--|--|---|--|
| Port au Prince (Haïti), 3 millions d'habitants en 2012 | Enorme écart entre la demande et la disponibilité des ressources | Pas de mise en charge des canalisations de transport Coupure fréquente de l'électricité Conséquences du tremblement de terre sur le patrimoine | Enorme écart entre la demande et la disponibilité des ressources | Pas de schéma directeur compréhensif Pas de diagnostic du système | Bureaucratie très marquée et absence d'approche visionnaire collective | Compréhension lacunaire du réseau et de son fonctionnement opérationnel Pas de cartes ou plans du réseau Taux de pertes très élevé Mauvaise gestion des kiosques et bornes fontaines | Détérioration des réseaux d'eau par des tiers |
| Jakarta Ouest – Palyja (Indonésie), 4,5 millions d'habitants en 2013 (5,8 millions en 2016) | | Insuffisance des réservoirs et des infrastructures sur le site de production Absence du système d'assainissement au début du contrat | Développement et changements urbains considérables. Le développement du logement s'est accru en raison du boom économique entre 1972 et 1990. | Aucune précision sur la répartition des tâches entre les entités gouvernementales en charge de cadrer l'approvisionnement en eau de la ville. Aucun organe n'est chargé de l'analyse stratégique pour une politique à long terme pour les ressources et l'approvisionnement en eau de la ville et de la région dans son ensemble | Priorisation de l'allocation des investissements pour l'irrigation plutôt que l'approvisionnement en eau potable Sélection des entreprises de gestion et allocation des zones décidées unilatéralement par le gouvernement (pas d'Appel d'Offre, manque de transparence) Crise financière et chute du régime politique de départ dans les premiers mois du contrat Manque de concertation / coordination avec le gouvernement Manque de précision dans les clauses contractuelles et un dispositif d'incitation mal conçu Procédures bureaucratiques compliquées Refus d'adaptation (hausse) tarifaire | Mauvaise qualité des travaux et des matériaux utilisés, en partie parce que les partenariats avec les fournisseurs locaux étaient imposés par le gouvernement (alliées politiques) | Branchements illicites Achat d'eau traitée à des tiers Une partie de la population (1/3) préfère s'approvisionner autrement que par réseau, à cause notamment des coûts de raccordement et du développement généralisé de puits privés et l'absence de réglementation et de contrôle de l'utilisation de l'aquifère, les ménages ayant déjà investi dans des équipements de pompage qui ne paient pas de frais d'extraction pour l'eau qu'ils tirent de leurs puits ne sont pas prêts à recevoir des factures de l'opérateur |

La rareté de l'eau et de l'énergie, l'augmentation de la densité de population et la dynamique de l'expansion urbaine d'un côté, combinées aux défaillances de la gouvernance et au manque de planification adéquate et d'adaptation structurelle dans les villes en développement, rendent la fourniture des services urbains de base plus complexe [Mohammed and Sahabo, 2015, Simukonda et al., 2018a]. C'est généralement une combinaison de plusieurs de ces facteurs, avec une contribution de l'attitude de la population envers l'eau, qui explique l'apparition ou la subsistance de l'intermittence [Philipp Klingel, 2012, Galaitsi et al., 2016].

Totsuka, Trifunovic et Vairavamoorthy (2004) ont proposé une structuration de ces causes en trois types d'anomalies liées soit aux ressources, soit aux investissements et infrastructures, soit à la gestion.

Cette classification d'anomalies correspond globalement aux catégories d'obstacles relevés par les opérateurs :

- Ressources : amenuisement ou instabilité des ressources face à la croissance de la demande et une planification stratégique lacunaire ;
- Infrastructures : insuffisance ou inadéquation des infrastructures par rapport à la croissance de la demande ;
- Gestion : sur le plan stratégique en termes de l'adéquation de la gouvernance et du cadre politique et réglementaire, ainsi que sur le plan technique et opérationnel.

L'intervention de l'utilisateur, qui n'est pas présente explicitement dans les considérations de Totsuka *et al.* peut être abordée en fonction de sa prise en compte dans la stratégie de gestion de l'opérateur.

Dans ce qui suit, nous énumérons des exemples de réseaux décrits par les opérateurs interrogés qui sont soumis à l'une ou l'autre de ces anomalies.

Les villes de Barranquilla et Carthagène en Colombie ont souffert d'un manque d'infrastructures pour faire face au flux migratoire provoqué par les états d'insécurité du Sud et du Centre du pays. Cette situation a entraîné une importante densification des villes qui, combinée à un

manque de planification, a provoqué un déséquilibre dans la distribution de l'eau. Le problème n'était pas un problème de ressources, qui existent en quantité suffisante, mais plutôt un problème de gestion lié à la non-durabilité du modèle financier de l'opérateur public, et aggravé par la pression exercée par les minorités, telles que les riches ou les chefs de quartier, sur la volonté politique.

Le plan directeur de la ville de Cancun au Mexique a été réalisé d'un seul coup sans mise à jour. En conséquence, les prévisions de ce plan directeur ont fortement sous-estimé la croissance démographique de la ville, étroitement liée à l'activité touristique florissante de la région, qui a généré une demande en eau 5 fois supérieure aux prévisions. Parmi les mesures prises par le gestionnaire pour faire face à cette situation, les quartiers périphériques de la ville ont été tactiquement mis en approvisionnement intermittent pour limiter les vols d'eau dus aux branchements illégaux mis en place par les habitants des bidonvilles de la banlieue, qui n'arrivaient pas à satisfaire leurs besoins d'eau autrement.

Enfin, Mumbai est un exemple frappant d'une situation où les ressources et la capacité hydraulique sont suffisantes mais où la détérioration du réseau, le comportement des usagers, la densification urbaine incontrôlée (bidonvilles) et les responsabilités de l'autorité délégante induisent un dysfonctionnement du service, puisque la ville n'a pas de problème de ressources en eau à l'entrée du réseau, avec un ratio de disponibilité en eau par personne de 300 litres par jour alors que pour la ville de Barcelone, où l'eau est fournie en continu, la dotation par personne par jour ne dépasse pas 180 litres. Dans le cas de Mumbai, l'intermittence est imposée par une tentative de réduction des pertes dans le réseau très fuyard, en agissant sur la durée d'écoulement des fuites (réduction de 24h à 4h).

Lorsqu'une compagnie des eaux est confrontée à l'une ou plusieurs des anomalies relevées, les solutions adoptées consistent selon les cas en une action sur les ressources (acquisition de nouvelles ressources, utilisation de sources non conventionnelles ou d'eau recyclée), sur la demande (réduction de la demande à travers la maîtrise des pertes commerciales et la limitation du gaspillage, par sensibilisation ou par rationnement...), ou à travers l'adaptation de l'approvisionnement par réseau au moyen d'une alimentation continue à faible débit, avec la réduction

conséquence des pressions sur le réseau ou un recours à l'intermittence [Soltanjalili et al., 2013].

Lorsque c'est l'intermittence qui est imposée, il est important de tenir compte des comportements des usagers dans la considération des « obstacles » à l'amélioration du service, puisqu'il s'agit d'un élément mis en avant par tous les opérateurs. Nous verrons dans la suite que cet aspect présente la particularité de constituer à la fois une cause et une conséquence de l'intermittence.

2.3.3 Problèmes et risques associés à l'intermittence

Tous les opérateurs interrogés, ainsi que la littérature, soulignent l'impact négatif de l'intermittence sur le réseau, et sa répercussion sur l'efficacité des opérations, la gestion de la demande et l'approvisionnement en eau en général [Totsuka et al., 2004, Charalambous and Laspidou, 2017b]. Les impacts les plus fréquemment mentionnés sont les suivants :

- Risques pour la santé : qualité de l'eau et risques pour la santé [Ayoub and Malaeb, 2006, Kumpel, 2013, Vacs Renwick, 2013, Charalambous and Nguyen, 2017, Bivins, 2017, Erickson et al., 2017, Alazzeah et al., 2019] ;
- Problèmes techniques : usure du réseau [Al-Ghamdi, 2011, Abu-Madi and Trifunovic, 2013, Agathokleous and Christodoulou, 2016, Charalambous and Laspidou, 2017a] ; difficulté à détecter et à réparer les fuites [Al-Ghamdi, 2011, Rabah and Jarada, 2012, Charalambous and Laspidou, 2017b] ;
- Problèmes économiques : coût de la détérioration du réseau ; problèmes de comptage et de facturation [Criminisi et al., 2009, De Marchis et al., 2013, Walter et al., 2017, Kumpel et al., 2017].
- Problèmes sociaux et politiques : connexions illégales et stratégies d'adaptation des usagers [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005, Baisa et al., 2010, Charalambous, 2011, Mohammed and Sahabo, 2015, Cook et al., 2016] ; Inégalité de l'approvisionnement en eau [Philipp Klingel, 2012, Gottipati and Nanduri, 2014, Guragai et al., 2017, Burt et al., 2018, De Marchis et al., 2011] ; Gaspillage de l'eau [Philipp Klingel, 2012, Charalambous

and Laspidou, 2017b, Kumpel et al., 2017] ;

Et les restrictions générales dans la qualité de l'approvisionnement [Philipp Klingel, 2012] telles que l'indisponibilité de l'eau...

Dans ce qui suit, nous allons rendre compte des différents aspects de ces impacts sur le réseau, et d'autres problèmes qui ont été identifiés par les opérateurs et dans la littérature. Le dernier point - la restriction de la qualité de l'approvisionnement - sera examiné en détail dans le Chapitre 4.

2.3.3.1 Risques Sanitaires

L'interruption de service est la principale caractéristique de l'intermittence ; elle provoque des vides et des pressions basses à négatives dans les réseaux pendant des périodes relativement longues [Taylor, 2014, Taylor et al., 2018]. Cela rend les conduites favorables à la contamination dès qu'il y a une voie de pénétration de substances et d'organismes extérieurs. Comme nous le précisons plus loin, les réseaux en intermittence sont généralement peu étanches, ce risque d'intrusion et donc de contamination est de ce fait assez élevé. De plus, les variations de pression et de vitesse induisent un détachement du biofilm bactérien et une reviviscence bactérienne à l'intérieur des conduites [Ayoub and Malaeb, 2006, Kumpel and Nelson, 2014], et l'eau non prélevée, qui reste dans les tuyaux après la distribution reste longtemps en place, de sorte que l'effet résiduel du chlore peut être réduit [McIntosh, 2003].

En outre, parce qu'elle ne fournit pas un service adéquat aux usagers, à savoir l'eau disponible en cas de besoin, l'intermittence conduit les usagers à utiliser des systèmes complémentaires tels que des installations de stockage d'eau domestique, comme un réservoir d'eau sur le toit de la maison, une citerne ou tout autre dépôt permanent à la maison [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005, J.A. Cabrera-Bejar and V.G. Tzatchkov, 2009, Criminisi et al., 2009, Baisa et al., 2010, Charalambous, 2011, Shrestha and Buchberger, 2012, Cook et al., 2016, Guragai et al., 2017, Kumpel et al., 2017]. En raison de sa stagnation dans les réservoirs ou citernes domestiques, la qualité de l'eau est à nouveau détériorée chez l'utilisateur [Barrera et al., 1993,

Jensen et al., 2002, Brick et al., 2004, Elala, Labhasetwar and Tyrrel, 2011, Vacs Renwick, 2013, Hernandez-Lopez et al., 2016], car ce type d'installation n'est pas toujours défini par une obligation réglementaire ou contractuelle, et donc rarement construit selon des normes prenant en considération la prévention contre la contamination. Cet aspect a été relevé par plusieurs opérateurs à Amman, Mumbai, New Delhi, Coimbatore et Port-au-Prince.

Les risques élevés de contamination créent ou intensifient des risques sanitaires majeurs [Bivins, 2017], et certaines villes intermittentes connaissent des problèmes sanitaires importants [Elala, Labhasetwar and Tyrrel, 2011, Kumpel, 2013, Kumpel and Nelson, 2014, Adane et al., 2017, Bivins et al., 2017], comme c'est le cas pour la population de Port-au-Prince, qui souffre de la propagation du choléra, et où la population a besoin de traiter l'eau à domicile, afin de réduire le risque de contamination [Stacie E. Dunkle et al., 2011].

Enfin, l'approvisionnement intermittent présente également des risques en termes de détérioration des comportements³⁸ d'hygiène des populations. Le rationnement réduit la consommation d'eau, la fréquence des lavages, et généralise les pratiques de partage de l'eau entre les membres de la famille et parfois même les voisins, ce qui entraîne des risques sanitaires supplémentaires [Fan et al., 2014]. La Figure 2.1 est une illustration de ces risques sanitaires.

2.3.3.2 Problèmes techniques

a) *Détérioration du réseau*

Les systèmes d'approvisionnement intermittent en eau connaissent plus de fluctuations répétitives et parfois brusques de la pression dans les réseaux que les systèmes d'approvisionnement continus [De Marchis et al., 2010, Stephen Nyende-Byakika, 2012, Zhang, 2017]. De plus, les opérations de remplissage et de vidange répétées peuvent induire l'emprisonnement et la suppression de bulles d'air qui se seraient infiltrées dans les tuyaux pendant les périodes d'arrêt de l'alimentation [Batish, 2003, Sashikumar et al., 2003]. Ces deux phénomènes provoquent une corrosion et une accélération de l'usure des tuyaux et

38. Les comportements sont ici des « choix » de pratiques hygiéniques imposées aux usagers par le manque d'eau.

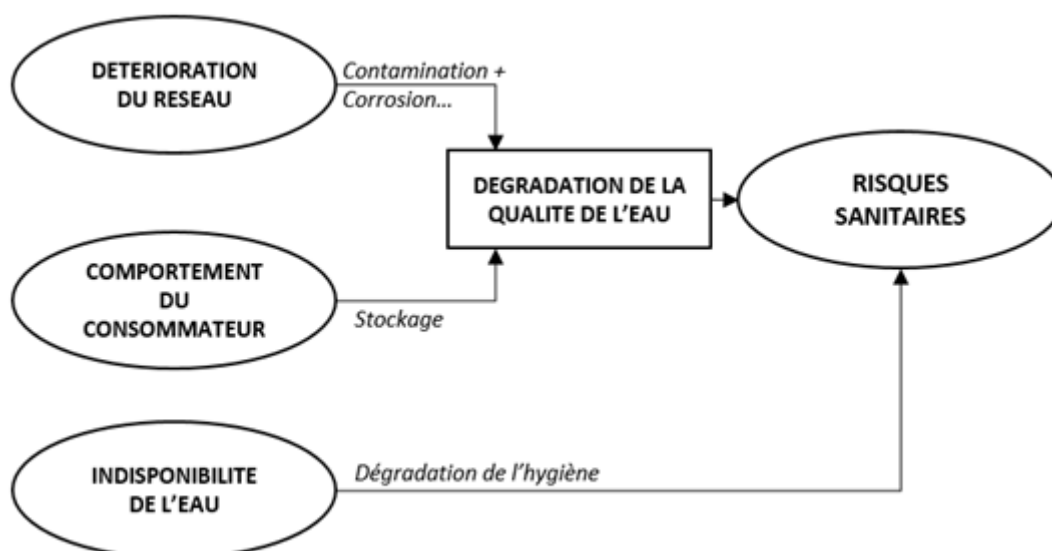


FIGURE 2.1 – *Facteurs induisant ou aggravant les risques sanitaires dans un approvisionnement en intermittence*
 Source : élaboration propre

des joints, et donc une augmentation de leur taux de casse [Agathokleous and Christodoulou, 2016]. Cette détérioration affecte également les équipements installés sur le réseau, qui sont manipulés plus fréquemment, les vannes en particulier [Sanjay and Dahasahasra, 2007].

Tous les opérateurs interrogés ont témoigné de la dégradation du réseau qu'ils ont eu à gérer, entraînant une augmentation du taux de casse et des coûts de maintenance dans ce type de réseau, la Figure 2.2 illustre l'évolution des fuites à Hussein Dey, une zone pilote d'un linéaire de réseau de 56 km à Alger ; avant et après son passage de l'alimentation intermittente à l'alimentation continue, le nombre moyen de fuites signalées a sensiblement diminué tant sur les conduites de distribution que sur les branchements³⁹ (Tableau 2.4). Ce phénomène a également été confirmé par une étude réalisée à Chypre, où la modélisation du comportement d'un réseau pendant et après l'intermittence a montré la vulnérabilité du réseau une fois que l'intermittence s'est établie [Gohil, 2013, Agathokleous and Christodoulou, 2016].

³⁹. Le passage en alimentation continue a été accompagné d'une gestion de la pression. La diminution du nombre de fuites est donc attribuable à ces deux facteurs : le passage au H24 évite la création de nouvelles casses, et la diminution de la pression du réseau réduit leur débit d'écoulement, sur une période d'approvisionnement plus longue.

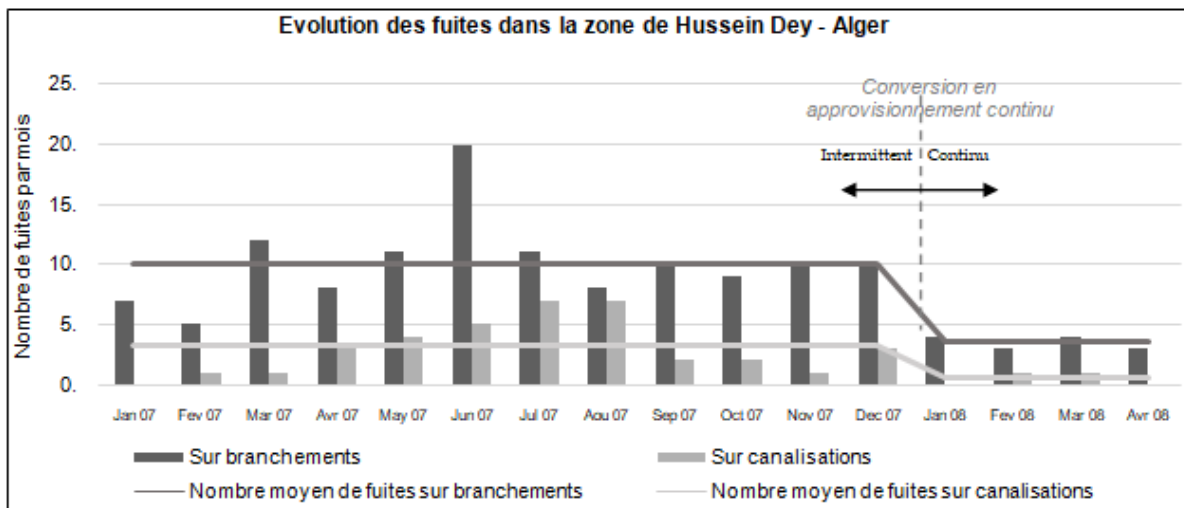


FIGURE 2.2 – Evolution des fuites à Hussein Dey - Alger, avant et après la transition à l'alimentation continue (Janvier 2008) Source : Graphe adapté de la présentation de David Duccini aux Journées Techniques Innovation - SUEZ (2009)

TABLE 2.4 – Effet de l'approvisionnement intermittent sur les casses signalées (Alger) - Valeurs adaptées de la présentation de David Duccini aux Journée Techniques Innovation - SUEZ (2009)

| Description | Nombre de casses signalés | | |
|---------------|---------------------------|-------------------------|--------------|
| | Avant le passage en H24 | Après le passage en H24 | % diminution |
| Canalisations | 10,08 par km | 3,5 par km | -65 % |
| Branchements | 3,27 sur 1000 | 0,5 sur 1000 | -85 % |

b) *Difficulté accrue dans la détection et la réparation des fuites*

Plus le réseau est dégradé, plus on a de fuites, et plus il y a de pertes d'eau [Christodoulou and Agathokleous, 2012]. Mais il faut également noter que l'intermittence rend plus difficile la détection des fuites en général, qu'elles en soient la conséquence directe ou non [Rabah and Jarada, 2012, Charalambous and Laspidou, 2017b, AL-Washali et al., 2018], car les techniques habituelles de détection des fuites (pré-localisation fixe et mobile, détection acoustique, etc.) nécessitent un réseau sous pression, à l'exception de la détection à l'hélium⁴⁰ (gaz traceur). Et même dans ce dernier cas, la réparation ne peut être validée sur place en raison de l'absence de pression. Ce problème a notamment été constaté à Amman, où des fuites qui devaient être réparées sont réapparues une fois le

40. Cette technique consiste à injecter de l'hélium (ou un autre gaz traceur) au niveau d'une entrée du réseau et de mesurer sa concentration dans les points de sorties (qui peuvent être des hydrants par exemple), cette méthode nécessite une bonne connaissance structurelle du réseau, afin de pouvoir tracer le chemin parcouru par le gaz traceur, et pré-localiser les fuites.

réseau remis sous pression. La Figure 2.3 illustre certains facteurs générant ou aggravant la détérioration du réseau et les fuites à cause de l'intermittence.

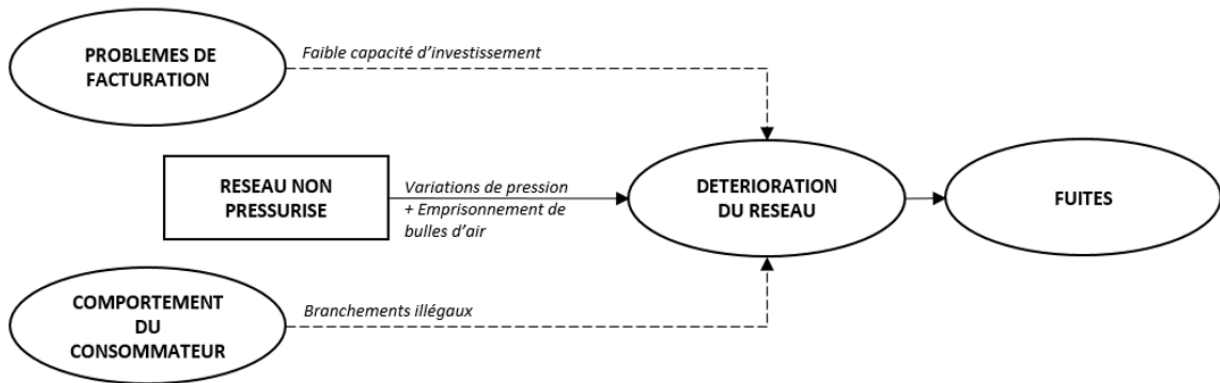


FIGURE 2.3 – *Facteurs induisant ou aggravant la détérioration du réseau et les fuites dans un approvisionnement en intermittence*

Source : élaboration propre

2.3.3.3 Problèmes économiques : Problèmes de facturation et de recouvrement à cause du dysfonctionnement de compteurs, et coûts induits par le système

L'intermittence comporte une étape d'interruption de service, généralement associée à des cycles de remplissage et de vidange des canalisations, et l'expulsion de l'air qui était emprisonné dans le réseau. Ces conditions provoquent des dysfonctionnements des compteurs [Criminisi et al., 2009, De Marchis et al., 2013, Walter et al., 2017] pour différentes raisons.

Premièrement, l'alternance de conditions sèches et humides dérègle les systèmes de comptage. Ensuite, les mouvements d'air dans les conduites accélèrent la détérioration du mécanisme d'enregistrement des compteurs lorsque l'air est expulsé de la conduite par l'eau qui y est introduite, et lorsque l'alimentation est coupée, cela crée un vide qui inverse l'enregistrement de la consommation par le compteur [Charalambous and Laspidou, 2017b]. Enfin, en cas de basses pressions, les débits de consommation sont minimums, et peuvent ne pas être correctement mesurés par les compteurs en raison de l'erreur de mesure sur les faibles débits [Criminisi et al., 2009].

Ces phénomènes créent des difficultés liées au contrôle de la consommation d'eau et à l'établissement d'une tarification équitable [Mastaller and Klingel, 2018] (Figure 2.4). D'autant plus

que ces facteurs rendent les usagers méfiants quant à l'exactitude de leurs factures et moins disposés à payer. Cela peut parfois conduire à des comportements répréhensibles. A Cancun et à Mexico par exemple, les opérateurs ont observé une pratique récurrente de sabotage des compteurs de la part des populations alimentées en mode intermittent⁴¹. Toutefois, il convient de noter que cette pratique est plus ou moins prononcée selon la sphère culturelle concernée et ne dépend pas nécessairement de l'intermittence, même si elle peut être aggravée ou justifiée par les sentiments d'insatisfaction et d'injustice ressentis suite à l'inadéquation du service délivré.

Ces problèmes amènent les compagnies des eaux à s'interroger sur la pertinence de l'installation de compteurs pour ce type de fourniture, mais leur absence génère d'autres complications telles que l'obligation d'introduire une facturation forfaitaire ou grossièrement évaluée [Mastaller and Klingel, 2018], et la difficulté d'estimer la performance du réseau [Mastaller and Klingel, 2017].



FIGURE 2.4 – *Facteurs induisant les problèmes de facturation en approvisionnement intermittent*

Source : élaboration propre

En parallèle, les systèmes d'approvisionnement en intermittence imposent des coûts opérationnels plus élevés que les réseaux alimentés en H24. Ces coûts supplémentaires sont liés aux besoins d'intervention pour réparation de fuites plus importantes sur un réseau plus dégradé, et aux manœuvres de vannes et d'accessoires plus fréquentes lors de la mise en œuvre de la distribution rotationnelle. A Mumbai par exemple, 850 vannes sont opérées manuellement chaque jour dans le réseau pour gérer l'intermittence, ce qui nécessite une main d'œuvre (en jour x homme) supplémentaire importante. Les réseaux en intermittence nécessitent également plus d'investissements en infrastructures que les systèmes de distribution continue, avec de nombreux composants qui sont sous-utilisés (conduites ou réservoirs vides) et d'autres surexploités au point d'être endommagés (vannes et pompes...).

41. Juan Mateos Dias a notamment indiqué que certains compteurs étaient bloqués, inversés, ou ralentis, en l'occurrence par l'installation d'aimants par des plombiers engagés dans cet objectif. Les usagers considéraient cette pratique légitime vu que le compteur comptait à la fois l'air et l'eau d'après eux.

2.3.3.4 Problèmes sociaux et politiques

a) *Inéquité de distribution dans le réseau*

Dans un système d'approvisionnement en eau alimenté par intermittence, les conditions hydrauliques associées au comportement des usagers et aux décisions stratégiques des opérateurs entraînent une répartition inéquitable de l'eau [Vairavamoorthy et al., 2001, Ernest Effah Ameyaw et al., 2013, Freni et al., 2014, Bozorg-Haddad et al., 2016, Ilaya-Ayza et al., 2016, Solgi et al., 2016, Ilaya-Ayza et al., 2017a].

La structure hydraulique du réseau rend certains points plus avantageux hydrauliquement que d'autres en raison de leur élévation et de leur proximité avec les points de production [De Marchis et al., 2010, Soltanjalili et al., 2013], surtout lorsque le réseau est conçu à l'origine pour un approvisionnement continu [Vairavamoorthy and Ali, 2000, Batish, 2003]. Le temps nécessaire pour recevoir un certain volume d'eau dépend du débit d'approvisionnement imposé par l'opérateur, cette caractéristique constitue un problème lorsque ce temps de réception est plus long que la durée d'approvisionnement. Dans leur modélisation du processus de remplissage du réseau de la ville de Palerme, le temps de réception de l'eau estimé par De Marchis *et al.* (2010). pour les points les plus défavorisés du réseau a été estimé à plus d'une heure, la pression résultante étant alors trop faible pour remplir les réservoirs des utilisateurs, certains d'entre eux se remplissaient complètement en 5 heures, tandis que d'autres devaient attendre jusqu'à 8 heures pour que le processus de remplissage des réservoirs commence [De Marchis et al., 2010]. Deuxièmement, le régime hydraulique dans les réseaux intermittents est régi par une demande dépendant de la pression, le volume d'eau qui coule des robinets dépend de la pression dans le réseau. Lorsque les usagers laissent leurs robinets ouverts, le remplissage des réservoirs provoque des pics de débit élevés, qui génèrent des pertes de pression impressionnantes dans le réseau, ce processus amplifie la différence de pression entre les différents points de collecte dans le réseau et augmente l'inéquité de distribution entre usagers [Gottipati and Nanduri, 2014]. Cette situation peut être aggravée par l'utilisation de surpresseurs par certains usagers [Taylor, 2014]. Cette pratique déséquilibre l'approvisionnement même dans le cas

d'un réseau d'approvisionnement continu, comme c'est le cas à Buenos Aires. Lorsque la disponibilité de l'eau dans le réseau est limitée, dans des conditions intermittentes en l'occurrence, l'impact décrit est plus important.

Enfin, certains quartiers ou usagers peuvent être favorisés par les autorités municipales ou l'opérateur en raison de leur statut social, de leur poids politique ou de leur capacité à payer, comme ça a été constaté à Port-au-Prince et à Alger, avec des quartiers dits « VIP ».

La Figure 2.5 présente certains des facteurs qui contribuent à l'inéquité de l'alimentation dans des conditions d'intermittence.

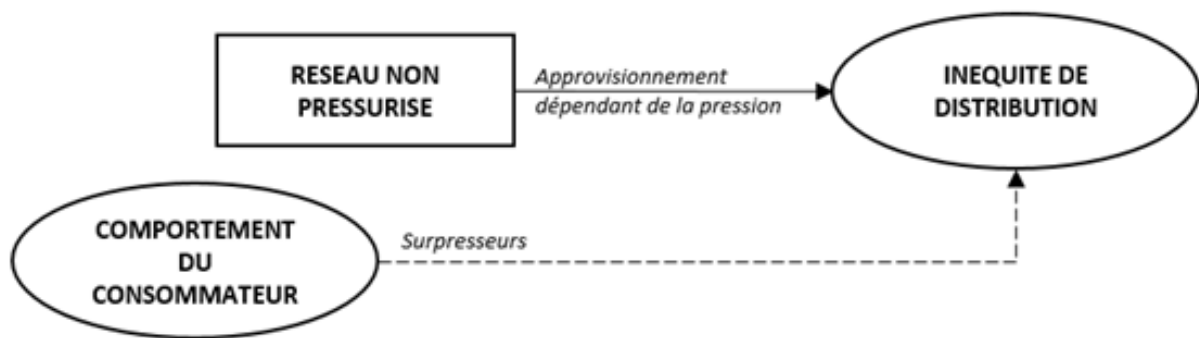


FIGURE 2.5 – *Facteurs induisant ou aggravant l'inéquité de distribution dans des réseaux alimentés en intermittence*
 Source : élaboration propre

b) *Gaspillage de l'eau*

Les usagers qui se trouvent dans des conditions intermittentes peuvent gaspiller plus d'eau que ceux qui la reçoivent en permanence. Ces usagers peuvent avoir tendance à garder leurs robinets ouverts pour stocker le plus d'eau possible, par crainte de périodes de coupures, surtout si l'approvisionnement est irrégulier. Ces pratiques peuvent générer des débordements occasionnels dans les réservoirs, si ces derniers ne sont pas équipés de robinets flotteurs. En outre, la plupart des usagers dans des systèmes où la fréquence d'approvisionnement est réduite n'utilisent pas toute l'eau stockée, dont la qualité se dégrade, et cette eau sera jetée et remplacée par de l'eau fraîche lors de la prochaine fenêtre d'approvisionnement [McIntosh, 2003, Totsuka et al., 2004, Mastaller and Klingel, 2018], surtout lorsque les tarifs de l'eau sont forfaitaires ou subventionnés par l'État. Cette

situation est d'autant plus paradoxale que l'intermittence est souvent due au départ à un manque de ressources. Ce phénomène est un exemple marquant de la rétroaction positive induite par l'intermittence, avec une imbrication entre ses causes et ses conséquences, et la difficulté d'y échapper une fois que le système est établi [Charalambous and Nguyen, 2017]. (Figure 2.6)

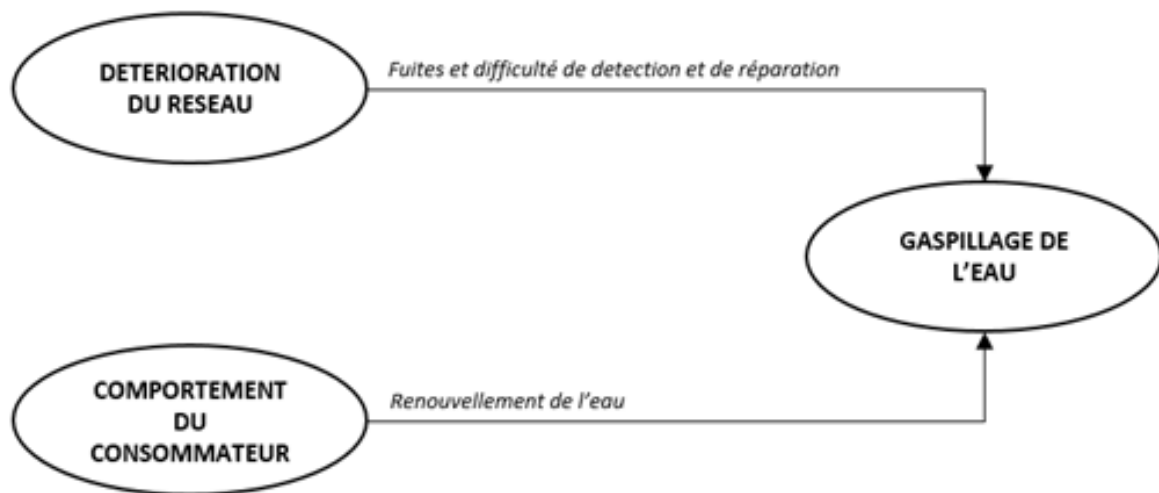


FIGURE 2.6 – *Facteurs induisant ou aggravant le gaspillage d'eau dans des réseaux en intermittence*

Source : élaboration propre

c) *Stratégies d'adaptation des usagers*

Au fil des ans, les usagers ont commencé à adopter diverses mesures pour faire face à l'intermittence de la distribution d'eau, mais à un coût généralement qualifié de "coût d'adaptation". Les coûts d'adaptation sont généralement liés à la collecte, au stockage, au pompage, au traitement et à l'achat de l'eau [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005]. En plus de l'achat d'une eau d'autres fournisseurs ou d'adoption de systèmes d'approvisionnement en ressources alternatives, le régime d'approvisionnement intermittent impose aux usagers qui veulent consommer l'eau du réseau des coûts liés aux installations supplémentaires, telles que les réservoirs de stockage, les pompes, et les installations de traitement domestiques (Figure 2.7), généralement réservées aux ménages les plus riches. Les usagers plus pauvres, qui ne peuvent pas se permettre de payer les prix de telles installations doivent acquérir l'eau auprès de bornes fontaines, de kiosques publics ou de vendeurs, qui vendent l'eau à des prix parfois plus élevés, ou bien se trouvent obligés de

réduire leur consommation [Guragai et al., 2017]. À Port-au-Prince en particulier, face à l'indisponibilité de l'eau, les usagers achètent l'eau à des camions-citernes privés, à des tarifs bien supérieurs à l'eau du réseau. Cet argument est utilisé par les compagnies des eaux pour amener les gens à adhérer à une transition vers un service continu, comme c'est le cas à New Delhi, où l'opérateur souligne les économies potentielles réalisées grâce à l'abandon de ces pratiques d'adaptation. Cet argument est parfois contre-productif quand les investissements ont déjà été supportés par les usagers. Telle est la situation à Jakarta, où les usagers ayant construit des puits domestiques, refusent même de se connecter au réseau d'eau potable.

En outre, les créneaux où l'eau est disponible ne sont pas toujours pratiques pour les utilisateurs. Lorsque l'eau est nécessaire mais non disponible, les gens doivent se rendre aux bornes fontaines ou kiosques publics, parfois assez loin, et attendre dans de longues files pour la récupérer. Dans certains pays, les heures de travail des usagers sont affectées, ce qui entraîne une baisse de la productivité globale, et des coûts indirects. Enfin, face à l'indisponibilité de l'eau, certains usagers se branchent illégalement sur les canalisations pressurisées du réseau, et certains vont même jusqu'à soudoyer les agents de terrain qui manipulent les vannes de sectionnement afin de modifier le calendrier de distribution en leur faveur. Ces pratiques, qui seront examinées plus en détails dans le Chapitre 3 - Adaptation de l'utilisateur face au défaut du régime : Elargissement du périmètre d'analyse - perturbent le fonctionnement d'un réseau et d'un approvisionnement déjà fragiles.

2.4 Interrelation des causes et des conséquences de l'intermittence

De manière générale, l'intermittence de l'approvisionnement en eau est causée par un déséquilibre dans la réponse du réseau à l'équation de l'offre⁴¹ et de la demande en eau. D'une part, il y a l'augmentation de la demande causée par l'expansion urbaine et la croissance démographique,

41. Par offre ici on entend l'offre de l'eau au point de consommation de l'utilisateur, elle est limitée par la capacité de transfert de l'infrastructure, et la performance technique et opérationnelle du réseau.

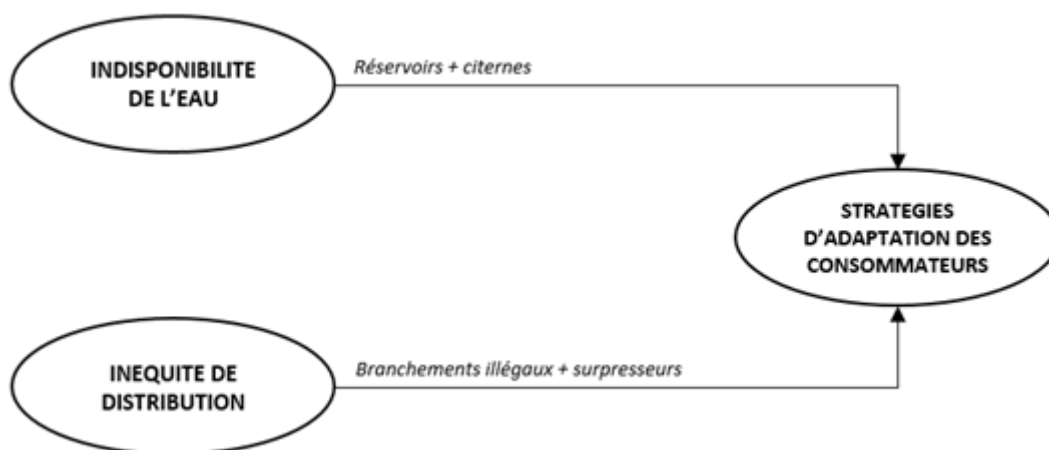


FIGURE 2.7 – Exemples de facteurs imposant des pratiques d'adaptation aux usagers dans des réseaux en alimentation intermittente
Source : élaboration propre

et la multiplicité des utilisations de l'eau, et de l'autre, l'offre est limitée par des conditions de pénurie qui peuvent être liées aux ressources, aux infrastructures, à une mauvaise gestion ou à une planification inadéquate ou rigide.

Le consensus sur l'intermittence est que son déploiement aggrave le déséquilibre de l'équation en l'engageant dans un cercle vicieux de dégradation du service de l'eau. L'approvisionnement en intermittence détériore le réseau, ce qui génère plus de fuites, et ainsi plus de pertes d'eau, et plus d'interventions et de besoins d'investissement qui s'ajoutent aux coûts d'exploitation et de gestion du système, alors que la nature dégradée sur service engendre une difficulté de facturation et de recouvrement, et diminue ainsi cette capacité d'investissement...

Charalambous & Lapidou (2017) représentent cette dynamique rétroactive comme une spirale régressive de la situation du service de l'eau, illustrée dans la Figure 2.8.

Un point frappant qui est ressorti des entretiens est le lien entre les éléments déclencheurs de l'intermittence et ses impacts sur le système, notamment mais pas uniquement, à travers l'implication de l'utilisateur. Les problèmes causés par la nature de l'approvisionnement en intermittence dans certains cas sont des causes de transition vers ce régime dans d'autres [Galaitis et al., 2016].

Cette tendance souligne le fait que si la spirale de la Figure 2.8 traduit la tendance générale



FIGURE 2.8 – *Spirale de dégradation du service de la distribution d'eau en intermittence*
 Source : adaptée de (Charalambous and Laspidou, 2017b)

de dégradation du service qu'on observe dans la plupart des réseaux intermittents, elle peut néanmoins varier selon les cas. Certaines des étapes de dégradation décrites peuvent ne pas se ressentir dans des réseaux particuliers, ou générer des dynamiques interreliées avec d'autres étapes.

Dans le cas de Jeddah par exemple, l'origine de la transition vers l'approvisionnement intermittent en eau est liée à un risque d'instabilité temporelle de la ressource, qui a poussé les populations à installer des réservoirs de stockage individuels d'une capacité de 200 à 100 000 litres, pour compenser l'éventualité d'une coupure d'approvisionnement. Les ressources sont suffisantes en quantité, et lors des coupures prolongées, c'est un approvisionnement par camions citernes qui assure la compensation du manque d'eau.

Les étapes de la spirale peuvent être plus ou moins importantes et significatives en fonction des

ressources financières de la population et de la compagnie d'eau. À Jeddah, le coût du service est abordable pour la majorité des usagers, car les services de l'eau sont fortement subventionnés par l'État. Au vu des tarifs en place, de la prise en charge par le gouvernement de l'impact financier du service en place, et de la généralisation des réservoirs qui tamponnent l'interruption du service, la disposition des usagers à payer pour le service n'est pas particulièrement impactée.

Nous proposons dans ce qui suit (Figure 2.9) une illustration de la séquence des relations entre les causes de l'approvisionnement en intermittence telles que vues plus tôt en nous basant sur la représentation de Totsuka *et al.* [Totsuka et al., 2004], combinée aux problèmes connexes que nous avons décrits dans la section précédente(0). La multitude d'interrelations (flèches) illustre la dégradation du service exprimée par la spirale, où les problèmes qu'elle génère alimentent ses origines, tout en soulignant la non-linéarité de la question.

Cette illustration relie tous les problèmes générés par l'intermittence (flèches pointillées), directement ou indirectement, à l'un des déséquilibres qui ont déclenché ce mode d'approvisionnement. Les problèmes de facturation, par exemple, rendent le recouvrement des coûts de gestion et d'intervention plus difficile pour l'opérateur. Cela réduit sa capacité d'investissement, ce qui entraîne une aggravation de la pénurie économique. Le gaspillage d'eau a un impact direct sur l'équilibre entre la ressource et la demande, et l'émergence de nouveaux comportements d'adaptation du côté des usagers introduit de nouveaux facteurs à prendre en considération dans le processus global de gestion de l'offre.

Ce diagramme représente la multidimensionnalité de la chaîne causale caractéristique de l'intermittence, reprenant les notions de dégradation globale exprimées par la spirale et le cercle vicieux de l'intermittence, tout en précisant les relations entre les différentes dimensions du régime.

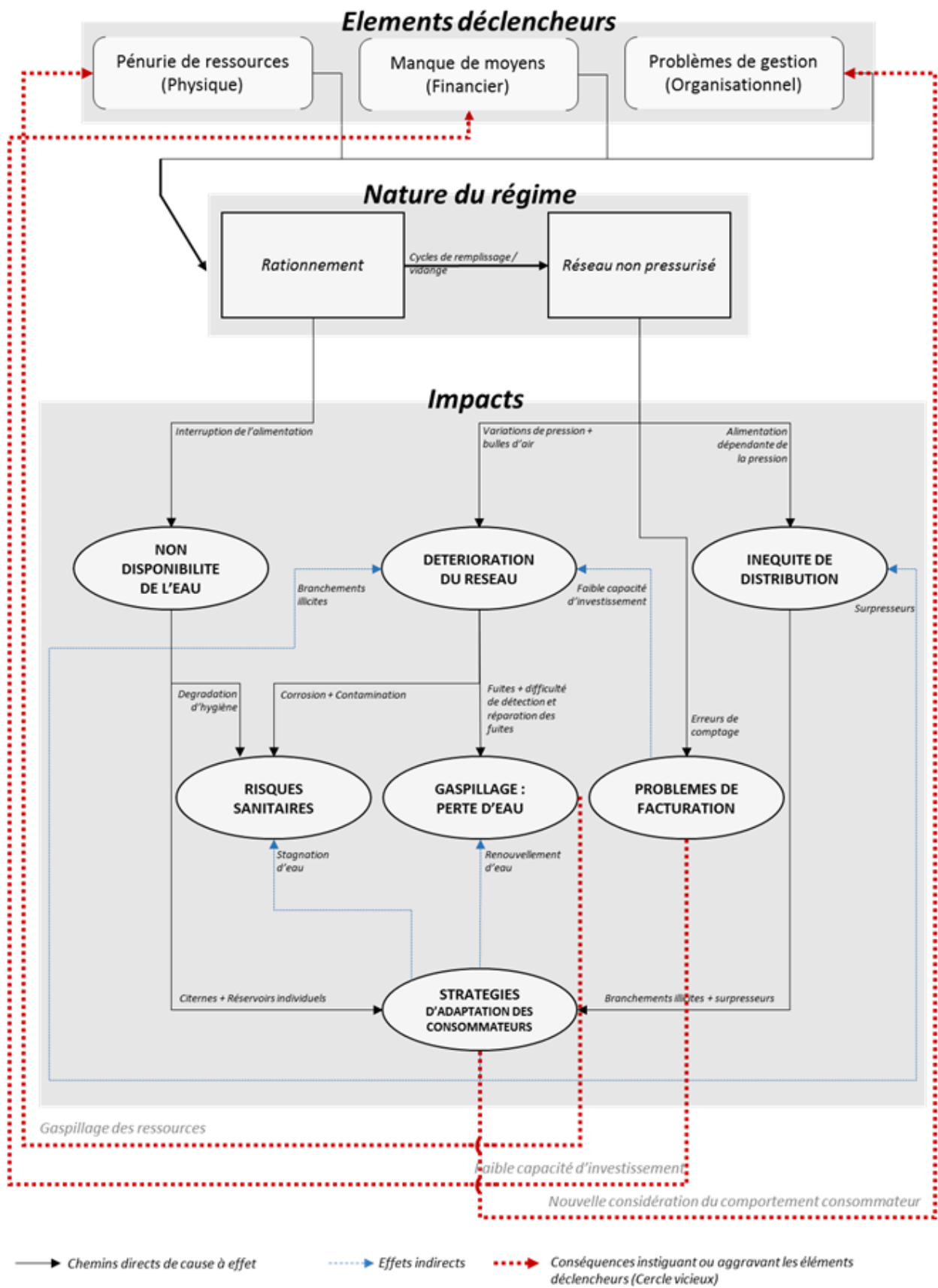


FIGURE 2.9 – Interrelations entre les différentes dimensions de l'intermittence
 Source : élaboration propre

2.5 Synthèse du chapitre 2

Il n'existe pas de consensus dans la littérature ou parmi les professionnels de l'eau sur une définition de l'intermittence qui, en dépit d'un périmètre d'impact important, est généralement considérée comme une anomalie de l'approvisionnement en eau par réseau, dont la norme est la continuité de service.

Afin de pallier cette ambiguïté, nous proposons une première définition technique, en alignement avec le peu d'obligations contractuelles autres que la transition exclusive vers le H24 qui peuvent être associées à ce régime. Nonobstant la diversité des définitions de l'intermittence dans la littérature, il est possible de constater des éléments récurrents qui permettent de la positionner en tant que **service plus ou moins régulier et limité dans le temps de l'approvisionnement en eau par réseau, où la pression de l'eau aux points de sortie du réseau n'est pas en permanence supérieure à un seuil donné.**

Cette définition est ce qu'il est *a minima* possible de proposer, afin d'inclure l'ensemble des définitions apportées dans la littérature, mais elle reste insuffisante, si on n'inclut pas les interrelations qui caractérisent ce régime, et qui vont au-delà de son aspect technique.

La littérature et les témoignages des opérateurs soulignent dans ce sens la difficulté de préciser un historique exact du démarrage du service intermittent pour un réseau donné. L'intermittence est considérée comme une perpétuation relativement logique de la conjecture climatique, démographique et environnementale actuelle, généralement associée à des dysfonctionnements organisationnels avec des contributions à plusieurs niveaux, dont celles de l'utilisateur du service.

Le consensus existe toutefois sur les problèmes que l'intermittence génère, même si leur perception par les opérateurs et les usagers n'est pas la même, et l'impact qu'ils ont dépend des caractéristiques du régime d'intermittence et du contexte socio-économique des entités concernées.

Il existe un lien étroit entre les causes de l'intermittence et les problèmes qui lui sont associés. Ces relations se traduisent globalement par une détérioration de l'état du système et de la qualité

du service de distribution d'eau potable, entraînant une aggravation des facteurs déclenchants l'intermittence et l'emprisonnement dans un cercle vicieux caractéristique au sein duquel la rétroaction constatée n'est pas linéaire.

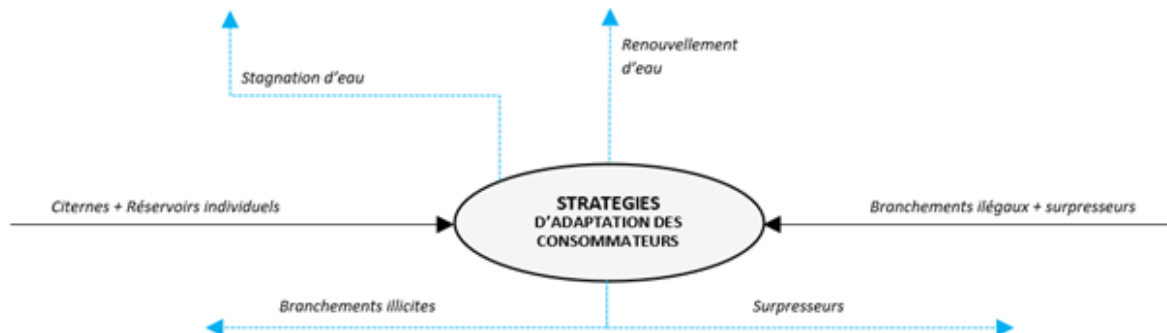


FIGURE 2.10 – *Extrait du schéma de description des dynamiques de l'intermittence : Zoom sur les stratégies d'adaptation des usagers*
 Source : élaboration propre

En particulier, les stratégies d'adaptation auxquelles les usagers ont recours afin de faire face à l'inadéquation du service qui leur est proposé, se distinguent par les nombreux effets indirects qu'ils génèrent (Figure 2.10). Ces mécanismes sont pluriels et se placent en tant qu'éléments instigant ou aggravant l'établissement de l'intermittence qui est à leur origine. Ce constat souligne l'importance de la prise en compte de ces pratiques d'adaptation, et de l'implication de l'utilisateur dans toute stratégie d'amélioration du système multifactoriel de l'intermittence.

Chapitre 3

Adaptation de l'utilisateur face au défaut du régime : Elargissement du périmètre d'analyse

Les résultats de l'analyse détaillée de l'intermittence réalisée dans le chapitre précédent permettent de mettre en avant la complexité des dynamiques gouvernant le déclenchement de l'intermittence, et la dégradation de la qualité de service consécutive. La forte implication de l'utilisateur dans les interrelations qui façonnent l'évolution du service d'approvisionnement en eau en intermittence mérite notamment une attention particulière.

Dans ce chapitre, nous explorons les raisons de cette forte implication, qui peuvent être liées à la nécessité pour l'utilisateur d'adapter à son besoin d'accès à l'eau une offre de service qui n'y répond pas de manière satisfaisante.

Nous examinons ensuite les différentes formes de cette adaptation et l'impact qu'elles ont sur le service de l'eau, ainsi que les dynamiques externes qu'elles peuvent impliquer.

3.1 Nécessité d'adaptation

Sans eau, l'être humain ne peut pas survivre au-delà de quelques jours, il va donc chercher cette eau « là où elle peut se trouver » pour répondre à ce besoin vital. Cette démarche va au-delà de l'apport en eau du réseau, même si celui-ci est actuellement le moyen le plus direct et le plus intuitif pour accéder à la ressource, surtout lorsqu'on suit le modèle des systèmes adoptés dans les pays développés, qui dictent naturellement les standards internationaux en la matière. Malgré le soutien général à l'approvisionnement par réseau, la définition des interventions les plus appropriées et les plus efficaces dans les pays en développement, pour garantir notamment la santé publique, fait l'objet d'un débat important [Lantagne et al., 2006]. Sur la réduction des maladies diarrhéiques par exemple, certaines études donnent plus de poids à l'éducation hygiénique et à l'assainissement, par rapport à l'approvisionnement par réseau avec un contrôle de qualité à la source. Les termes de ce débat interrogent la pertinence des mesures de traitement domestiques alternatives dans ces conditions.

L'alimentation en eau par réseau impose des contraintes (qualité, pression, pertes...), et n'est pas à l'abri de faire défaut dans certaines situations. L'approvisionnement en intermittence, en l'occurrence, cause une desserte en eau discontinue à la fois dans le temps et dans l'espace, pas toujours fiable et qui livre une eau souvent impropre à la consommation humaine, source d'inégalité entre les usagers [Philipp Klingel, 2012, Galaitsi et al., 2016, Charalambous and Laspidou, 2017b].

La littérature suggère que, lorsqu'ils existent, cette inégalité et ces défauts caractéristiques de l'accès à l'eau intermittent ont trois conséquences principales : les usagers sont pénalisés, leur confiance dans le système d'approvisionnement en eau par réseau et leur satisfaction à son égard sont faibles, et ils vont s'approvisionner *via* des systèmes alternatifs, ou investissent dans des infrastructures d'eau privées [Galaitis et al., 2016]. Une conséquence supplémentaire se manifeste dans des stratégies de sortie, comme le fait de changer d'habitation [Zérah, 2000], ou recourir à des prestataires de services pour répondre à une partie de leurs besoins en eau, comme les bains, les douches, et les laveries publiques.

Le premier comportement met en évidence le caractère individualiste prépondérant de la réaction à cette situation, notamment en termes de capacité d'adaptation au défaut de service d'un individu par rapport à un autre. A l'exception de quelques communautés qui ont réussi à adopter un modèle d'institutionnalisation participative du service indépendamment de l'opérateur [Barrau and Levy, 2014], l'intermittence exacerbe les inégalités entre les usagers, en raison des investissements supplémentaires nécessaires pour faire face à la défektivité du système, investissements que tous ne peuvent réaliser. Ce constat est d'autant plus perturbant que l'approvisionnement par réseau a été pensé à l'origine pour résoudre les problèmes d'inégalités d'accès liées à la répartition spatiale déséquilibrée de la ressource, en allouant la distribution de l'eau à travers un espace vaste à une vitesse quasi-instantanée [Dupuy, 1991].

Les deux attitudes suivantes – le manque de confiance et de satisfaction envers le système d'approvisionnement en eau par réseau, et le recours à des investissements privés ou à une collecte en dehors du système – se traduisent par un ajustement ou une correction à accomplir pour satisfaire leur besoin. Plus largement, ces attitudes soulignent la nécessité pour les usagers d'intégrer toutes les ressources, les possibilités d'adaptation, et les moyens d'acquisition alternatifs à cette offre dont ils peuvent disposer, ou qu'ils sont même parfois amenés à concevoir.

Ces mesures peuvent être globalement classées en deux catégories :

- a. Des pratiques qui agissent sur l'eau du réseau pour rectifier sa qualification et l'adapter aux nécessités de la consommation, que nous appellerons des « **mesures d'adaptation de l'offre du réseau** » ;
- b. Et des pratiques qui vont plutôt vers l'obtention d'un mix de ressources autres, dans le but d'élargir, et de dépasser l'offre du réseau, et qu'on désignera par « **modes alternatifs d'alimentation** ».

Pratiquement, les aspects sur lesquels un usager peut agir pour façonner son offre d'approvisionnement en eau ne sont autres que les éléments constitutifs cette offre, à savoir : la source, la voie d'acheminement, le point d'accès, et le procédé de transformation (Figure 1.2 – Chapitre 1).

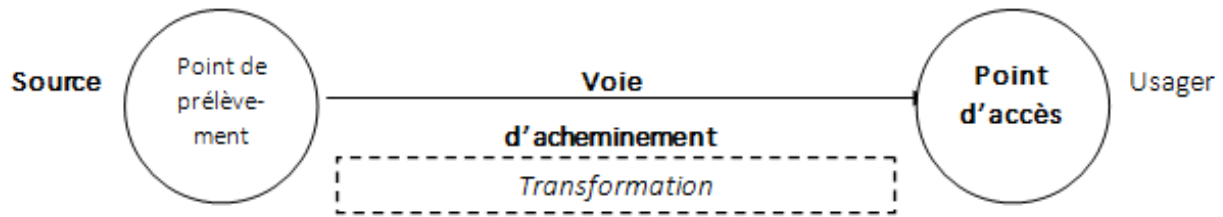


Figure - 1.2 Composantes de l'accès à l'eau
Source : élaboration propre

Ces éléments peuvent être liés aux cinq pratiques d'adaptation qui sont observables d'après Pattanayak et Yang dans les foyers amenés à faire face à une alimentation non fiable du réseau, et qui sont, nous le rappelons : la collecte d'eau, son pompage, son stockage, son traitement et son achat [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005].

Nous faisons la distinction dans le Tableau 3.1 entre les procédés de collecte d'eau du réseau, que nous appelons des tirages, et la collecte de l'eau depuis des sources alternatives.

TABLE 3.1 – Lien entre les pratiques d'adaptation et les étapes d'approvisionnement en eau

| Etape d'approvisionnement | Source | Moyen d'acheminement | Procédé de transformation | Point d'accès |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|---------------|
| Pratique d'adaptation | Achat ou collecte | Collecte (tirage) ou pompage | Traitement | Stockage |

Les pratiques d'achat et de collecte peuvent être assignées à la catégorie des « modes alternatifs d'alimentation » qui agissent sur la source d'approvisionnement, tandis que les « mesures d'adaptation de l'offre du réseau » englobent le tirage, le pompage, le traitement et le stockage de l'eau du réseau (Figure 3.1).

Les modes alternatifs d'alimentation peuvent impliquer pour leur fonctionnement des procédés de pompage, de traitement, et de stockage de l'eau spécifiques (par exemple pompage de l'eau de puits), ou bien couplés aux pratiques appliquées à l'eau du réseau. Toutefois, c'est la diversité des sources d'approvisionnement qui est centrale dans les modes alternatifs d'alimentation et nous mettrons donc l'accent dans la suite sur ce point.

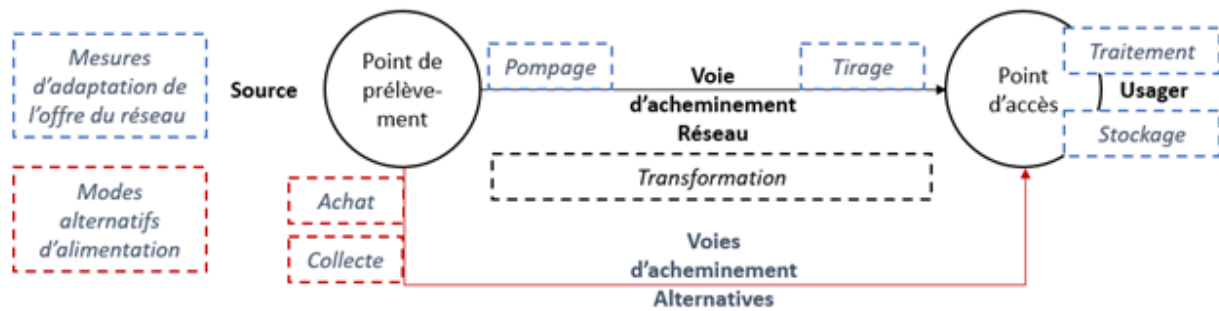


FIGURE 3.1 – *Adaptation des composants de l'accès à l'eau pour un schéma d'approvisionnement en intermittence*
 Source : élaboration propre

3.2 Stratégies d'adaptation de l'utilisateur

3.2.1 Mesures d'adaptation de l'offre du réseau

Les habitants peuvent installer au sein de leur périmètre d'habitation des équipements privés qui sont reliés au réseau et dont ils assurent eux-mêmes le financement et l'entretien, ou adopter des comportements à même de modifier cette eau pour l'adapter à l'usage qu'ils en font. Nous présentons dans la suite des exemples de ces équipements et pratiques que nous avons pu relever dans la littérature et à la suite des entretiens avec les opérateurs, depuis le réseau jusqu'au robinet.

3.2.1.1 Pompage ou tirage

Face à l'offre hétérogène présentée par les systèmes d'alimentation en intermittence, les ménages peuvent estimer que leur accès même à l'eau du réseau est contraint par des limitations que des équipements adaptés peuvent aider à surmonter.

a) *Surpresseurs*

Un surpresseur résidentiel ou domestique comprend une pompe centrifuge et un vase d'ex-

pansion. Il est généralement installé au niveau du branchement au pied de la propriété d'un usager. Les surpresseurs sont typiquement utilisés lorsque les usagers veulent augmenter la pression ou le débit fournis par le réseau, cette mesure est souvent adoptée au niveau des bâtiments à étages quand la pression du réseau est insuffisante pour faire monter l'eau aux étages supérieurs.

Dans les systèmes alimentés en intermittence, plusieurs usagers choisissent de raccorder des surpresseurs au réseau, pour tirer rapidement l'eau quand elle est disponible et augmenter leur capacité de prélèvement [Taylor, 2014].

Cette pratique - très courante en Inde, dans les pays d'Amérique Latine et en Algérie - résiste aux interdictions réglementaires alors qu'elle fait chuter la pression moyenne dans les canalisations et empêche l'opérateur de mettre en place une gestion du réseau basée sur la pression. Elle exacerbe aussi le problème d'inégalité de distribution en créant des « guerres de surpresseurs » où les usagers avec les plus gros surpresseurs reçoivent les plus grandes quantités d'eau. Et enfin, elle peut générer des pressions négatives dans la conduite menant à l'habitation, ce qui augmente le risque de contamination.

b) *Branchements illégaux*

Lorsque les ménages se sentent insuffisamment desservis⁴² par le réseau d'eau de l'opérateur, ils peuvent prendre les choses en main en se raccordant à titre privé et illégalement au réseau existant. Dans de nombreux pays en développement, les pertes physiques peuvent représenter jusqu'à 50% de l'eau introduite au réseau [Kingdom et al., 2006]. Les opérateurs estiment que la moitié de l'eau manquante est attribuable à des fuites ou à des débordements, et que l'autre moitié est causée par des raccordements privés, souvent illégaux. Ces branchements qui étendent le réseau au-delà de sa capacité de desserte [Philipp Klingel, 2012], sont souvent mal installés et non contrôlés, et peuvent créer des voies de contamination et générer des pertes [Franceys and Jalakam, 2010].

42. L'insuffisance de desserte peut être liée à une absence de raccordement au réseau. Dans ce cas les branchements illégaux sont un moyen d'accéder au service, mais ça peut également concerner des usagers qui sont raccordés mais qui choisissent d'ajouter à leurs branchements existants de nouveaux en se raccordant à un ou plusieurs autres points, où les canalisations peuvent être sous pressions plus longtemps, ou pendant des créneaux de livraison plus accommodants. Nous parlons alors de « doubles réseaux ».

Au-delà des personnes qui ne sont pas du tout raccordées au réseau, et dont le branchement « pirate » est régi par un besoin vital binaire d'accès à l'eau, où la « nécessité fait loi », le problème sous-jacent des raccordements privés reste dans plusieurs cas le désir des usagers d'exercer un plus grand contrôle sur l'accès à l'eau, même lorsqu'un raccordement initial est existant. Comme le suggèrent des recherches récentes [Galaiti et al., 2016], l'intérêt des usagers pour la sécurité privée de l'accès à l'eau est fondé sur des perceptions subjectives. Dans les schémas de transition vers une alimentation continue, l'insécurité de l'utilisateur pourrait être le dernier symptôme à résoudre, étant donné que les perceptions peuvent être lentes à s'estomper.

3.2.1.2 Stockage

Les procédés de stockage de l'eau du réseau sont des mesures adoptées par les usagers pour contrecarrer la discontinuité temporelle de l'approvisionnement qui contribue au sentiment d'insécurité, en tamponnant le moment sans desserte.

Les usagers peuvent stocker l'eau dans des contenants provisoires comme des bouteilles, des tonneaux ou des bassines, ou s'équiper de citernes ou de réservoirs de stockage (Figure 3.2) qui sont reliés au réseau d'eau domestique et peuvent fournir de l'eau au robinet lorsque l'approvisionnement est interrompu.

Près de la moitié de la population à Katmandu, au Népal, est équipée de réservoirs domestiques [Katuwal and Bohara, 2007]. Les ménages à Amman ont majoritairement des réservoirs de toit, et certains des réservoirs souterrains avec une capacité de stockage allant de 3 m³ à 16 m³ en fonction de leur revenu moyen [Potter and Darmame, 2010], tandis qu'à Jeddah, la capacité des réservoirs de stockage individuels des usagers peut atteindre les 100 m³, cette taille importante est liée à la longueur de la période sans service qui est de plus de 23 jours en moyenne.

Ce mécanisme d'adaptation permet de mieux gérer les ressources livrées par le réseau et d'assurer localement (au domicile) une distribution d'eau continue. Il est parfois intégré dans les normes réglementaires de construction des habitations, comme c'est le cas pour les réservoirs

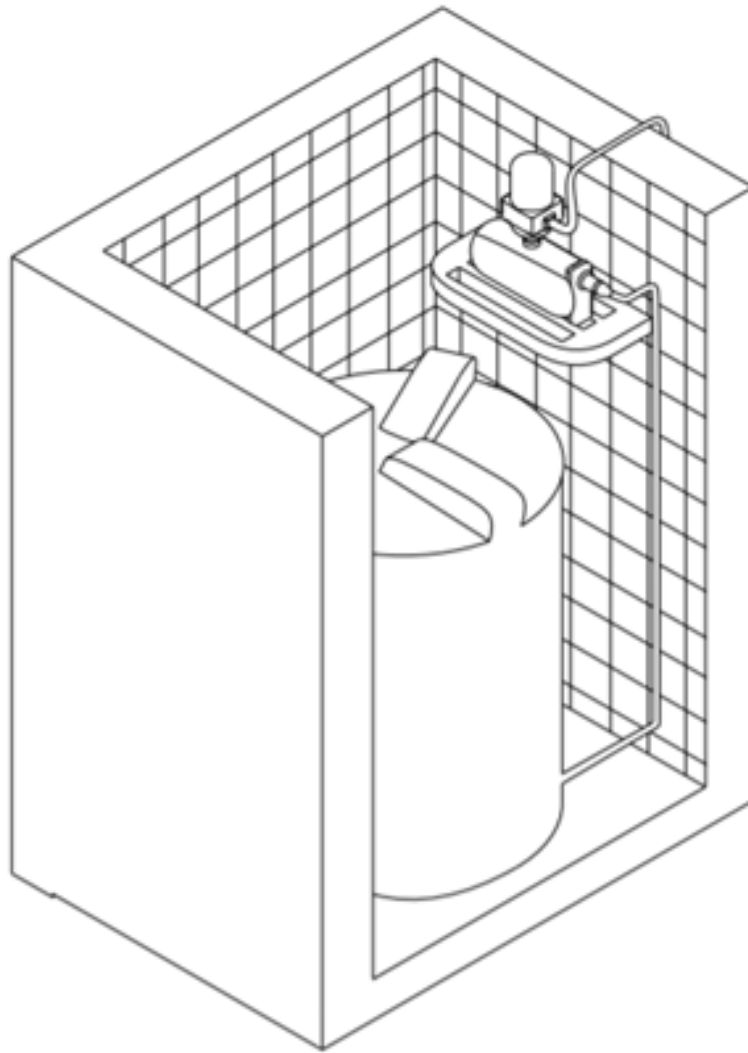


FIGURE 3.2 – Exemple d'un réservoir installé dans une cour de maison à Alger
Source : *Elaboration propre*

de toit (tinacos) au Mexique, qui répondent à une pression de service basse dans le réseau.

En Inde, cela se manifeste par l'obligation d'installer des réservoirs de tamponnage souterrains à New Delhi à l'amont des surpresseurs. Ces réservoirs servent à mitiger l'effet des surpresseurs sur le réseau (3.2.1.1) [Taylor, 2014], cette réglementation est cependant rarement respectée, et le surpresseur est souvent relié directement à un réservoir de toit, ou un second surpresseur est installé avant le réservoir souterrain, directement sur le réseau.

Ces réservoirs peuvent présenter plusieurs risques : dégradation de la qualité de l'eau par stagnation [Brick et al., 2004, Shrestha and Buchberger, 2012, Hernandez-Lopez et al., 2016, Guragai et al., 2017], surconsommation dans des systèmes lorsque l'approvisionnement est aléatoire

[Galaitzi et al., 2016], que les réservoirs fuient (cas des réservoirs souterrains à New Delhi) ou débordent. Par exemple à Mumbai, la majorité des réservoirs existants (souterrains ou sur les toits) ne sont pas équipés de robinets flotteurs permettant l'arrêt automatique de l'alimentation du réservoir, ou, si ce dispositif existe, il n'est généralement pas en état de fonctionnement.

Cette situation peut ne pas présenter de danger lorsque l'approvisionnement intermittent impose une durée d'alimentation limitée qui permet à peine de remplir ces réservoirs. Mais en cas d'augmentation du créneau de livraison ou de passage en approvisionnement continu, des débordements conséquents et un gaspillage résultant sont à prévoir.

3.2.1.3 Traitement

La dégradation de la qualité de l'eau livrée par les réseaux en intermittence impose aux usagers des procédures d'adaptation, qui vont des réclamations auprès de la compagnie des eaux, au traitement de l'eau à domicile, jusqu'à l'acquisition d'une eau auprès d'une source alternative d'une meilleure qualité.

Les procédures de traitement domestiques répertoriées dans la littérature sont rustiques et concernent principalement l'ébullition, la chloration et la filtration [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005, Katuwal and Bohara, 2007, Vásquez et al., 2009, Dauda, Yacob and Radam, 2015, Cary, Giglio and Melo, 2018].

D'autres processus de désinfection au point d'usage comme la désinfection solaire et la floculation ont été explorés par Lantagne et al., tant sur leur coût que sur leur possibilité d'adaptation à l'échelle individuelle, avec des résultats encourageants⁴³ [Lantagne et al., 2006].

43. Un projet d'implémentation du traitement de l'eau par désinfection solaire a été implémenté en 2005 en Indonésie par des ONGs locales. Le principe est de remplir des bouteilles de 0.3 à 2 litres d'une eau de faible turbidité, les remuer pour oxygéner l'eau, et les placer sur les toits pour une durée de 6 heures à 2 jours, en fonction de l'ensoleillement. Le projet, accompagné par un programme d'éducation, a permis de réduire de 97% la contamination bactérienne de l'eau consommée par les ménages, pour un coût de 0.80 \$US per capita. Procter & Gamble ont produit une solution industrielle (PuR : Purifier of Water), sous forme d'un petit sachet qui contient du sulfate ferreux en poudre (un floculant qui assure une étape de coagulation chimique des particules) et de l'hypochlorite de calcium (un désinfectant) pour la chloration de l'eau. Ces sachets sont commercialisés sans profit auprès d'ONGs et ont notamment été distribués pendant des interventions d'urgence comme celle suite à un tsunami en Asie de l'est. Le coût était de 0.07 \$US par jour par ménage [Lantagne et al., 2006].

Lorsque le niveau d'exigence est élevé et les investissements réalisables (cas de la plupart des hôtels et restaurants de Cancun par exemple) des systèmes de filtration *ad hoc* sont installés ou de l'eau purifiée ou embouteillée proposée aux clients. Il est également intéressant de noter que dans le cas de Mumbai, par exemple, des systèmes de traitement domestiques de pointe ont été constatés chez les ménages, comme de l'osmose inverse, en plus des filtres ultraviolets installés systématiquement dans les cuisines des foyers de classe moyenne [Button, 2016].

3.2.2 Focus sur les modes alternatifs d'alimentation

Lorsque les mesures d'adaptation de l'eau du réseau sont trop chères ou insuffisantes ou si elles présentent des inconvénients majeurs pour les usagers, ces derniers ont recours à des ressources alternatives, qui peuvent prendre plusieurs formes, et faire intervenir des acteurs variés. A Recife (Brésil) et à Onitsha et Makurdi (Nigéria), six modes d'approvisionnement alternatifs existent : l'eau des puits privés, l'eau distribuée par camions citernes, l'eau vendue en bouteilles, l'eau de pluie ou l'eau grise recyclée, l'eau des sources et des cours d'eau, et l'eau des voisins (eau « des autres ») [Whittington et al., 1991, Ahile et al., 2015, Cary, Giglio and Melo, 2018]. Nous pouvons ajouter à cette offre les « robinets partagés » entre plusieurs usagers, qui englobent les fontaines et kiosques publics, ainsi que les structures communes qui permettent de répondre à certains besoins en eau à l'extérieur de l'habitation, comme les bains, les douches et les laveries publiques, mais ces structures ont-elles-mêmes généralement recours à l'eau du réseau ou à l'une des 6 sources pré listées.

3.2.2.1 Puits

Lorsque l'utilisateur dispose d'une source d'eau accessible au sein de son périmètre d'habitation, cela constitue souvent une alternative à l'approvisionnement par réseau quand celui-ci est déficient.

Les puits construits sur les parcelles privées à Recife par exemple, fournissent une eau considérée comme sécurisante par les usagers, même si la qualité de l'eau extraite est très variable d'un puits à l'autre [Cary, Giglio and Melo, 2018], et que leur offre peut être sujette à la saisonnalité,

lorsque le niveau des eaux souterraines baisse et que la demande en eau par habitant augmente pendant les saisons sèches [KyeongAe Choe et al., 1996].

L'installation d'un puits nécessite un investissement dédié, et des équipements associés au pompage ou à des coûts potentiels supplémentaires qui peuvent être définis par la profondeur de la nappe et la qualité de l'aquifère. Zérah constate notamment que le recours aux puits dépend du revenu moyen du ménage, et qu'ils sont généralement utilisés en tant que mesures compensatoires du manque d'approvisionnement par réseau plutôt qu'en tant que ressource principale [Zérah, 2000]. Le suivi des consommations d'eau par puits est difficile puisque la majorité des puits ne sont pas équipés de compteurs, ou les compteurs ne sont pas bien calibrés pour transmettre des données utilisables et précises.

Des puits publics manuels peuvent également être installés par les municipalités. Whittington *et al.* rapportent qu'au Nigéria « il était courant de voir des femmes portant des seaux d'eau dans des immeubles d'habitation modernes... Dans certaines parties de la ville, les femmes peuvent remplir leurs seaux dans des puits peu profonds sur le pavé »⁴⁴ [Whittington et al., 1991].

Lorsque les eaux souterraines sont peu profondes et que le risque de pollution est élevé, comme dans une ville à forte densité urbaine, l'usage d'eau des puits est moins courant.

3.2.2.2 Camions citernes

L'approvisionnement en eau par camions citernes est le mode d'alimentation alternatif le plus reporté dans la littérature [Whittington et al., 1991, Zérah, 2000, Coulibaly et al., 2014, Klassert et al., 2015, Guragai et al., 2017, Cary, Giglio and Melo, 2018, Zozmann et al., 2019].

En 2000, Zérah attribuait l'émergence du marché de vente d'eau par camions citernes à New Delhi à la détérioration de l'offre publique par réseau [Zérah, 2000]. À Amman, ce mode de desserte constitue avec l'approvisionnement par réseau le principal moyen d'acquisition d'eau

44. Cette situation concernait principalement les habitants des nouveaux quartiers, qui n'étaient pas encore raccordés au réseau de la ville quand l'étude a été menée. A cette époque, seulement 8000 ménages (moins de 8% de la population totale) étaient branchés sur le réseau public, et la vaste majorité des habitants accédaient à l'eau à partir d'un système d'approvisionnement annexe, de vente d'eau par camions citernes ou directement depuis des puits/forages gérés par le privé.

en volume [Coulibaly et al., 2014, Klassert et al., 2015, Zozmann et al., 2019].

Il existe différents modèles de distribution par camions citernes. À Jeddah, elle relève des attributions de la compagnie des eaux, et le taux de couverture fait partie des indicateurs contractuels de performance. Dans les années 90 à Onitsha, au Nigéria, l'approvisionnement par camions citernes qui assurait un tiers de l'offre pendant la saison sèche était géré par une « union de conducteurs de camions-citernes », qui était en réalité une association des propriétaires de ces camions, établie pour suivre les ventes d'eau par les conducteurs [Whittington et al., 1991].

À Mexico, c'est une « mafia de l'eau » qui tient les rênes de ce marché selon l'opérateur.

Le prix de vente d'eau par camions citernes peut représenter 5 à 10 fois son coût d'acquisition⁴⁵ à cause notamment d'un monopole établi [Whittington et al., 1991]. Ce mode d'alimentation est souvent considéré comme une stratégie couteuse qui s'adresse plutôt à la haute sphère de la société ou à des habitations collectives importantes [Zérah, 2000, Cary, Giglio and Melo, 2018]. Cette considération n'est pas systématique puisque certains usagers ayant investi dans des réservoirs de stockage peuvent revendre l'eau livrée par camions citernes dans des seaux à des populations plus pauvres et incapables d'investir dans des réservoirs, en moyennant une marge [Whittington et al., 1991].

L'approvisionnement se fait principalement à partir de ressources souterraines avec un risque de surexploitation lorsqu'il n'est pas contrôlé, surtout lorsqu'il s'agit d'une activité illégale [Klassert et al., 2015], ou encore directement à partir de l'eau du réseau [Button, 2016].

3.2.2.3 Eau embouteillée

Le recours à l'eau embouteillée en tant qu'alternative à l'approvisionnement en intermittence est la pratique qui présente le plus de disparités, tant sur le type de fournisseur, que sur la forme et le volume de la bouteille, la population et l'usage cible, la qualité de l'eau fournie, et le prix de commercialisation.

45. Cela revient à une moyenne d'un prix d'acquisition de l'eau chez les vendeurs alternatifs à Onitsha, de plus que deux fois plus cher que l'eau du réseau.

Ces disparités peuvent être réduites à une dualité de l'offre sur la base de la qualité de l'eau livrée. La vente d'une eau embouteillée de « haute qualité 4 » qui est habituellement réglementée, se distingue d'une offre d'une eau en bouteille de « moins bonne qualité » qui échappe généralement à la législation en vigueur [Cary, Giglio and Melo, 2018].

Au sein de la première catégorie, on retrouve l'offre classique de l'achat de l'eau en bouteille (de source ou minérale) qui s'est insérée dans le mode de vie des usagers en Europe puis dans le monde depuis la découverte et la démocratisation du plastique alimentaire. Cette eau est distribuée principalement dans des bouteilles de 50, 150 et 200 cl, ou des bonbonnes de 19l, et coûte en moyenne 500 à 1000 fois plus cher que celle de l'eau du réseau [Ferrier, 2001]. Ce produit destiné aux populations plus aisées promet une qualité « plus sûre » que celle de l'eau du robinet.

La vente d'eau en bouteille peut même parfois être gérée par les autorités publiques à des fins de protection de la santé publique. Dans les années 90, le Delhi Water Board avait dans ce sens décidé de vendre de l'eau potable en bouteille à la population, à des prix beaucoup plus avantageux que ceux des compagnies privées, pour offrir une alternative de meilleure qualité à l'eau contaminée du réseau, et celle polluée de la principale source d'eau de la ville [Zérah, 2000]. Cette eau embouteillée de « haute qualité » est généralement réservée à des usages sensibles de boisson, cuisine ou préparation des aliments [Cary, Giglio and Melo, 2018].

L'achat des eaux embouteillées de « haute qualité » reste tout de même généralement exclu des analyses d'estimation des demandes dans les réseaux en intermittence, au vu de leur insignifiance quantitative en comparaison avec l'eau livrée par camions citernes et celle fournie par le réseau [Klassert et al., 2015].

Dans le cas de réseaux intermittents, de l'eau du réseau mise en bouteille peut également être proposée (Li et al., 2020). A Amman, depuis 1998, une centaine de points de vente au détail sont autorisés par le gouvernement à livrer sur demande des usagers une eau prélevée sur le réseau ou acquise auprès de camions citernes, qui est traitée puis mise dans des bonbonnes de 10 à 20 litres.

Mais l'offre d'eau embouteillée dans les villes où la ressource est rare ne se restreint pas à l'offre des industriels, magasins d'eau, autorités publiques et distributeurs traditionnels. La seconde catégorie d'eau en bouteille de moindre qualité peut être vendue par des commerçants indépendants et être jusqu'à 8 fois plus chère que l'eau livrée en grandes quantités par camion-citerne [Whittington et al., 1991]. Les « Águas Adicionadas de Sais » au Brésil présentent notamment une qualité non conforme à hauteur de 94% aux normes de potabilité pour la consommation humaine [Costa et al., 2015].

A Recife, cette eau est communément vendue en bonbonnes de 20 litres, et sa qualité n'est pas contrôlée [Cary, Giglio and Melo, 2018]. A Cancun, des bouteilles de 20 litres appelées *Garrafón* sont généralement livrées aux foyers et aux entreprises. Ce format de bouteilles de 20 litres est celui qui a été rapporté par les opérateurs interviewés en Inde, à Haïti, à Amman, et à Mexico.

3.2.2.4 Eau recyclée ou eau de pluie

Au Nigeria, Ishaku *et al.* préconisent la nécessité d'un changement de paradigme pour passer du monopole public de l'approvisionnement en eau à des approches innovantes telles que la collecte des eaux de pluie pour faire face à un approvisionnement en eau qui répond à peine à la demande de la population [Ishaku et al., 2011]. En fonction de l'usage et de la qualité de l'eau recherchée, la collecte de l'eau de pluie peut présenter une pratique nécessitant relativement peu de moyens. Lorsque le toit du domicile s'y prête, le résultat peut être obtenu en installant un tuyau allant de la gouttière à un récipient de stockage, agrémenté potentiellement d'un système de premier rinçage, et de dispositifs de traitement intermédiaires. En Inde, certaines pratiques de collecte « temporaire » d'eau de pluie ont pu être constatées, comme le fait d'utiliser un morceau de tissu pour créer une surface de collecte, pour les personnes qui n'ont pas de toit adéquat.

Dans des systèmes alimentés en intermittence, cette pratique, qui est très dépendante du changement de saisons et des conditions climatiques, revêt une importance inégale d'un réseau à l'autre. Elle peut parfois couvrir jusqu'à un tiers des besoins en eau de la population pendant la saison humide, comme en témoigne la situation à Makurdi [Ahile et al., 2015], alors que

dans d'autres endroits, comme à Recife ou à New Delhi, c'est un mode d'approvisionnement marginal, peu commun ou sporadique qui est limité aux zones et aux individus touchés par une pénurie d'eau presque complète et permanente [Zérah, 2000, Cary, Giglio and Melo, 2018]. A Mumbai, avec les contraintes imposées par la mousson, de nombreux usagers ont pris des mesures pour assurer leur propre approvisionnement en modernisant les systèmes de collecte des eaux de pluie afin de non seulement combler le manque d'approvisionnement mais également de réduire les risques d'inondation.

D'autres pratiques, comme la collecte des eaux grises⁴⁶ et leur réutilisation pour des usages de jardinage ou de lavage des sols, ou même au niveau de la chasse d'eau des toilettes se développent également, notamment en Jordanie [Rosenberg et al., 2008]. Les coûts qui leurs sont associés peuvent être nuls s'il s'agit de déconnecter les drains des éviers et machines pour récupérer l'eau à recycler, à des dispositifs plus complexes et plus coûteux comme l'utilisation de digesteurs pour le traitement secondaire et l'installation d'un double système de canalisation, surtout lorsque des travaux d'excavation sont nécessaires [Rosenberg et al., 2008].

3.2.2.5 Sources, cours d'eau et rivières

Les sources d'eau de surface ont été historiquement les premières ressources d'approvisionnement en eau de l'humanité, principalement grâce à leur facilité d'accès [Sklivaniotis and Angelakis, 2006]. Cette pratique d'approvisionnement est caractérisée par sa gratuité et par une absence de contrôle de sa qualité en comparaison des autres ressources « payantes », même si la perception publique qui les dissocie de l'intervention humaine considère souvent qu'une eau « naturelle » est forcément de bonne qualité [Cary, Giglio and Melo, 2018].

Cette perception est rapidement mise à l'épreuve dans la pratique, puisque les ressources naturelles non impactées par les activités humaines sont rares, surtout lorsqu'elles se trouvent à proximité des villes. En Algérie, dans les wilayas d'Alger, de Tipaza et de Blida, plus de 40 cas de contamination au choléra ont été constatés en 2018. Les usagers accusaient l'eau du robinet

46. Les sources d'eaux grises comprennent les éviers, les douches, les baignoires, les machines à laver ou les lave-vaisselle. En pratique, leur recyclage est souvent limité à l'eau des douches et des bains et à l'eau du lavage du linge, mais pas les eaux de cuisine.

et l'opérateur pointait du doigt une source d'eau de surface non protégée. À Delhi, comme mentionné auparavant, le recours à l'embouteillage de l'eau potable faisait partie des mesures implémentées par l'autorité publique pour faire face à la fois à la contamination de l'eau du réseau, mais également pour protéger la population de la pollution de la rivière Yamuna [Zérah, 2000].

À cause de leur vulnérabilité, ces ressources représentent une source d'approvisionnement rare à l'échelle de la ville, et concernent principalement les populations en situation de manque qui résident à leurs proximité [Cary, Giglio and Melo, 2018]. Leur part en tant que moyen d'acquisition direct parmi la myriade des modes d'approvisionnement alternatifs est généralement réduite [Ahile et al., 2015]. Elles constituent néanmoins souvent une première ressource à la base de l'alimentation de certains de ces autres modes, comme les camions citernes [Whittington et al., 1991], ou les ventes d'eau en bouteille ou en bonbonne [Cary, Giglio and Melo, 2018].

3.2.2.6 L'eau des « autres »

L'eau que Cary a dénommé « eau des autres », est une ressource de dernier recours que les usagers collectent auprès de leurs voisins ou de leurs proches en cas d'extrême nécessité [Cary, Giglio and Melo, 2018]. Cette eau, généralement empruntée sans frais financiers [Rosenberg et al., 2008] est une solution de secours. Son utilisation est habituellement marginale au regard de celles des autres modes d'approvisionnement.

Elle peut tout de même parfois couvrir jusqu'à 2.2 % du besoin en eau des populations [Ahile et al., 2015], et fait état d'un comportement de solidarité parmi ces usagers dont les stratégies d'adaptation sont souvent très individualistes. Cette pratique peut cependant augmenter les risques sanitaires dus au partage des eaux et à la multiplicité d'intermédiaires [Fan et al., 2014].

3.3 Stratégies de sortie et adaptation du schéma d'accès à l'eau

Comme nous l'avons vu au début du chapitre, les problèmes de service de l'eau par réseau peuvent amener les usagers à opter pour des stratégies de sortie, en agissant sur leurs points d'accès à l'eau [Zérah, 2000].

Alors que certains usagers peuvent choisir de déménager dans une zone où l'accès à l'eau est meilleur, d'autres peuvent décider de restreindre leurs prélèvements d'eau sur le réseau.

Certains usages, tels que le lavage ou les activités récréatives, peuvent se pratiquer en dehors du domicile de l'utilisateur, qui peut recourir aux services de prestataires externes pour y répondre. Le lavage dans les bains maures est notamment une pratique courante dans les pays de l'Afrique du Nord, comme en Algérie par exemple. D'autres activités comme la lessive peuvent également être réalisées dans des laveries et blanchisseries communes.

Cette adaptation du point d'approvisionnement à l'usage qui en est fait ajoute une couche supplémentaire à la réflexion sur l'accès à l'eau dans le contexte de l'intermittence.

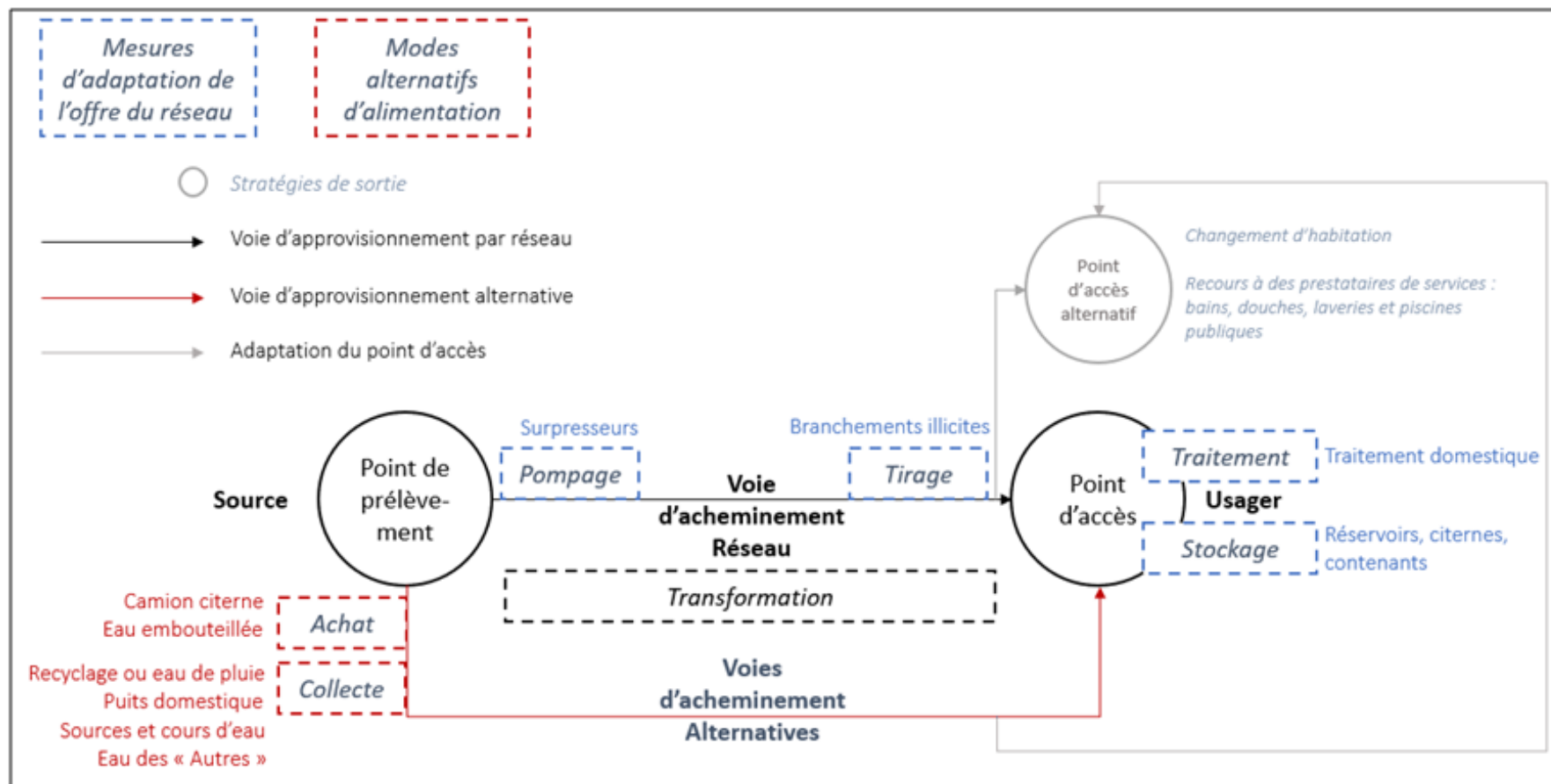


FIGURE 3.3 – Stratégies d'adaptation des usagers pour un schéma d'approvisionnement en intermittence
Source : élaboration propre

3.3.1 Acteurs et parties prenantes : Centralité de l'utilisateur

Les stratégies d'adaptation des usagers répertoriées dans la section précédente (Figure 3.3) nécessitent de faire appel à plusieurs intervenants pour l'acquisition des ressources supplémentaires, ainsi que la construction des installations et la maintenance des équipements nécessaires aux pratiques d'adaptation adoptées. La Figure 3.4 place ces intervenants au sein du schéma global de l'accès à l'eau dans le cadre de l'intermittence.

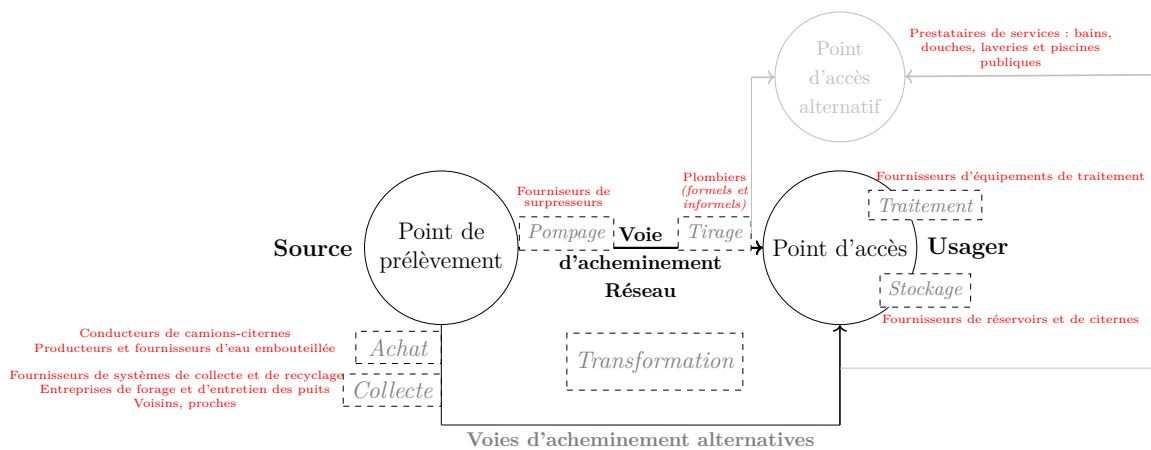


FIGURE 3.4 – Exemples d'acteurs intervenant dans le schéma d'approvisionnement en intermittence

Source : élaboration propre

Les intervenants représentés dans le schéma ci-dessus sont des interlocuteurs directs de l'utilisateur. Il s'agit principalement des fournisseurs d'équipements, des producteurs et livreurs d'eau, des plombiers et des prestataires de service, en plus d'autres usagers qui peuvent se prêter l'eau ponctuellement.

Par ailleurs, de la même manière que pour l'approvisionnement par réseau, d'autres organes intermédiaires constituant notamment un corps de gestion peuvent apparaître suite à l'institutionnalisation de ces modes d'alimentation externes au réseau, à l'image de l'« union de conducteurs de camions-citernes » au Nigéria [Whittington et al., 1991]. Plusieurs niveaux d'acteurs sont donc à considérer dans le façonnement et l'organisation de l'offre alternative.

Comme suggéré par Tillman *et al.* (2001) l'inclusion de l'ensemble des échanges entre ces acteurs et l'opérateur et l'utilisateur, en parallèle avec leurs interrelations avec les objets physiques

(installations et infrastructures) et les facteurs exogènes au système (ressources et capacités financières), est importante lors de l'analyse d'un système d'alimentation en eau potable.

Un des enjeux de cette analyse réside dans la diversité des acteurs et la variabilité des dispositifs de gestion mis en œuvre. Pour chacun des réseaux examinés, les acteurs impliqués pour des stratégies d'adaptation comparables varient sensiblement. Entre la gestion de la vente d'eau par kiosque par l'opérateur à Haïti, à la régulation des points de vente privés à Amman, en passant par l'approvisionnement des camions-citernes à partir de l'eau du réseau à Alger et Tipaza, à la surexploitation de la nappe phréatique de la ville par une mafia de l'eau à Mexico, ... La diversité des parties concernées rend difficile l'élaboration d'un cadre d'analyse complet.

Dans le cadre de l'approvisionnement en intermittence, au-delà de ces niveaux de gestion de chaque mode d'alimentation alternatif, le schéma de gestion global adopté est celui d'une co-production du service de l'eau, avec une gouvernance partagée au centre de laquelle se trouve l'utilisateur. Dans plusieurs des configurations décrites par l'opérateur, l'utilisateur a le choix de structurer la réponse à son besoin en eau en complément de l'offre du réseau, en fonction de la proximité de la ressource, de ses capacités financières, et de la répartition des usages qu'il attribue à l'eau du réseau et aux alternatives existantes ou qu'il est amené à créer en cas de non-adéquation de ce qu'il y a sur le marché avec la possibilité de réponse à son besoin.

C'est à l'utilisateur de s'organiser pour compléter ou adapter l'offre du réseau, à moins que l'offre qui la précède n'en fasse un « exclu volontaire »⁴⁷. Afin d'obtenir un accès à l'eau qui répond à ses besoins, l'utilisateur devient tributaire de l'intervention de la myriade d'acteurs qui façonnent l'offre alternative, auxquels il doit faire appel. Il peut s'agir même parfois de l'opérateur-même du réseau, qui peut être gestionnaire d'une offre alternative, comme c'était le cas pour l'eau embouteillée à Delhi (et de manière moins directe à Amman), et pour la gestion des camions citernes à Jeddah.

Indépendamment de la forme qu'elles prennent, les offres alternatives se distinguent donc selon

47. Certaines alternatives précédant l'offre du réseau peuvent amener les usagers à refuser le raccordement à l'eau du réseau, en raison du coût supplémentaire que cette procédure représente par rapport à un investissement déjà réalisé, comme c'est le cas à Jakarta, où une partie de la population, qui disposait de puits domestiques en exploitation, a refusé d'être branchée au réseau.

leur fournisseur et le cadre réglementaire dans lequel elles s'inscrivent :

- Une offre alternative dispensée par l'opérateur ou l'autorité publique ;
- Une offre réglementée fournie par un acteur alternatif ;
- Une offre informelle / illégale (fournie par un acteur alternatif).

La qualité et le prix de l'eau sont mieux maîtrisés dans les deux premiers cas. L'offre informelle quant à elle, sans contrôle du prix de vente, peut également potentiellement présenter des risques pour l'utilisateur, et même affecter l'offre du réseau. Au travers de ces configurations, l'utilisateur subit et influence l'offre du réseau en intermittence.

Nous retrouvons donc l'utilisateur et l'opérateur aux deux extrémités de la production et de la consommation du service, avec des interrelations prononcées avec d'autres intervenants, constituant des voies d'approvisionnement en eau décentralisées où l'utilisateur est très proactif, et qui peuvent impacter l'offre « officielle ». Cette dynamique fait apparaître la perception de la qualité du service fourni par l'opérateur, et reçu par l'utilisateur, comme un point focal des stratégies d'adaptation qui caractérisent l'intermittence dans son schéma global.

3.4 Synthèse du chapitre 3

L'intermittence du service d'approvisionnement en eau par réseau, n'est souvent pas capable de répondre à l'intégralité du besoin d'accès à l'eau de l'utilisateur.

L'inadéquation de l'offre de l'opérateur, par rapport à la demande de l'utilisateur, pousse ce dernier à adapter l'offre du service de l'eau, en adoptant plusieurs stratégies d'adaptation constatées dans la littérature et par les opérateurs,

Ces stratégies d'adaptation se manifestent par deux possibilités d'actions principales⁴⁸ :

- Des mesures d'adaptation de l'offre du réseau : ce sont des pratiques qui agissent sur l'eau du réseau (principalement *a posteriori*) pour régulariser ou améliorer la qualité du service délivré et l'adapter aux besoins de la consommation, et qui comprennent des activités de pompage, de tirage de stockage ou de traitement de l'eau du réseau.
- Des modes alternatifs d'alimentation : ce sont des démarches visant à obtenir un assortiment de ressources externes, dans une optique d'élargissement et de dépassement de l'offre du réseau. Ces ressources alternatives peuvent provenir de puits, camions-citernes, eau embouteillée, recyclage d'eaux grises ou récupération d'eau de pluie, sources, cours d'eau et rivières, ou l'eau prêtée par d'autres usagers.

Le recours à ces mesures d'adaptation ou aux modes alternatifs d'approvisionnement nécessite la mise en place d'équipement dédiés, qui peuvent aller de bassines de récupération de l'eau du réseau ou celle des voisins, à des infrastructures plus complexes et plus coûteuses. Le schéma suivant (Figure 3.5) illustre des exemples de ces éléments dans une installation domestique.

La production, livraison, installation et maintenance de ces solutions et équipements impliquent différents acteurs avec lesquels l'utilisateur interagit dans l'établissement de son schéma global d'accès à l'eau. Ces acteurs peuvent différer d'un réseau à l'autre, entre les configurations en place de l'intermittence, et l'implication de l'opérateur et l'autorité publique dans la création,

48. Auxquelles s'ajoutent les stratégies de sorties. Ces dernières n'ont généralement pas d'impact sur l'offre du réseau.

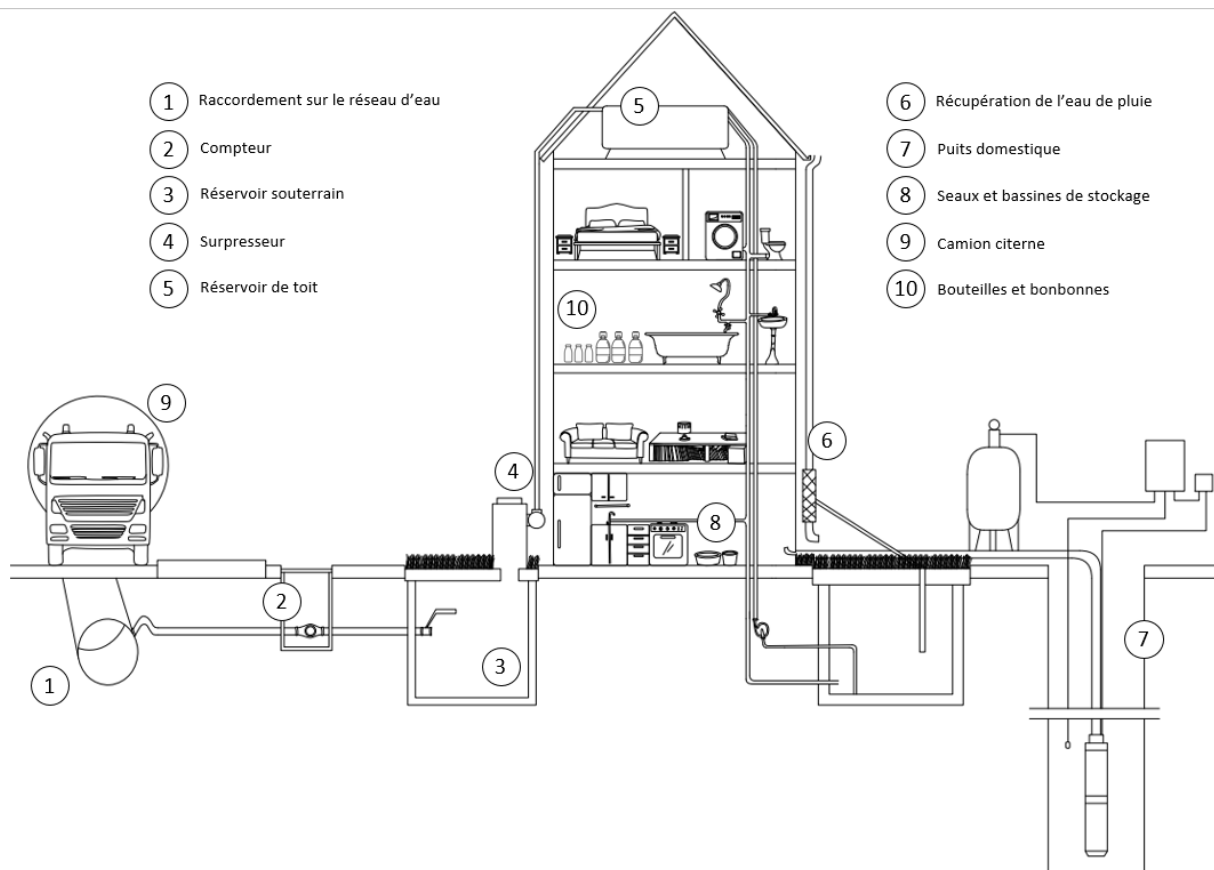


FIGURE 3.5 – *Illustration d'exemples d'équipements nécessaires pour la mise en place de stratégies d'adaptation par l'utilisateur*
 Source : élaboration propre

gestion ou contrôle de l'offre alternative. Cependant, une constante est observée dans toutes les configurations examinées, à savoir la centralité du rôle de l'utilisateur dans ces dynamiques.

Dans un réseau intermittent, l'utilisateur, qui est traditionnellement destinataire de l'offre de l'opérateur, participe à la définition de son schéma global d'accès à l'eau, qui devient plus complexe que pour un approvisionnement par un réseau à source unique. Les actions de l'utilisateur influencent indirectement (et parfois directement, comme dans le cas de l'utilisation de surpresseurs) l'offre de l'opérateur, qui n'a plus le contrôle intégral du service qu'il est tenu de fournir. Ce positionnement met en exergue l'importance d'examiner le service fourni à l'utilisateur, tel que ce dernier le perçoit, avant de proposer des pistes d'amélioration de l'offre par l'opérateur.

Chapitre 4

Qualification de la qualité de service de l’approvisionnement en intermittence

Si la qualification du service de fourniture par réseau est souvent limitée par une dualité entre H24 et intermittence, la variété des manifestations et des réactions à l’intermittence observée dans les réseaux examinés ouvre le champ à une évaluation du service fourni.

En particulier, l’implication importante de l’usager dans la définition de l’accès à l’eau dans le cadre d’un approvisionnement intermittent est étroitement liée à sa perception du service fourni par l’opérateur et à sa satisfaction quant à la mesure dans laquelle celui-ci répond à ses besoins en eau.

Nous proposons dans ce qui suit de développer un outil de qualification échelonnée de la qualité du service d’approvisionnement en eau dans le cadre de l’intermittence, qui repose sur les fonctions que doit remplir un système de distribution d’eau, notamment pour répondre aux multiples dimensions inhérentes à la définition réglementaire du droit d’accès à l’eau, et ce avant que la continuité de service ne soit atteinte.

4.1 Concept de la qualité de service

4.1.1 Fonction d'un système de distribution d'eau

Le schéma de principe d'un système d'approvisionnement en eau vu au Chapitre 1 (Figure 1.3), permet d'identifier les étapes qu'un réseau de distribution d'eau engage.

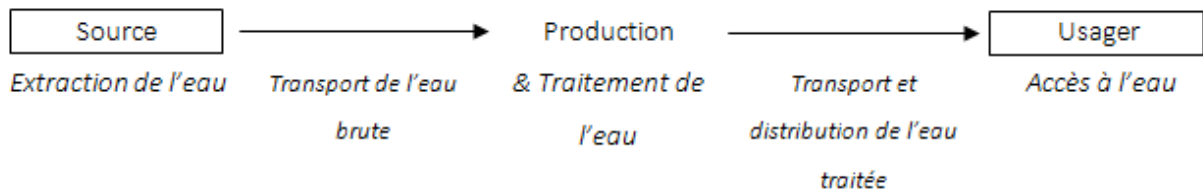


Figure - 1.3 *Process d'un système d'alimentation en eau (adapté de Trifunovic, 2015)*

Ces étapes de captage ou extraction, transport, traitement et distribution d'eau peuvent s'assimiler aux fonctions techniques assurées par un réseau de distribution d'eau, si on applique une analyse fonctionnelle du type FAST⁴⁸. En effet, un réseau d'eau compte généralement plusieurs composantes comme les canalisations, les réservoirs de stockage d'eau, les stations de pompage, les bouches d'incendie, les compteurs d'eau, les branchements domestiques et d'autres accessoires [Mays, 2000, Trifunović, 2006]. Celles-ci s'assimilent à des options technologiques destinées à remplir les fonctions techniques identifiées. D'un point de vue conceptuel, la finalité du système reste la même, quelle que soit sa complexité : Il s'agit d'amener l'eau aux usagers. Ses composants doivent fonctionner ensemble de manière optimale pour garantir que ce système puisse assurer sa fonction.

La fonction principale des systèmes de distribution d'eau, qui répond à la finalité et regroupe les fonctions techniques évoquées est de garantir la fourniture d'une eau de bonne qualité en quantité et pression suffisantes aux usagers [Emamjomeh and Hosseini, 2012, Shuang et al., 2017]. Un système de distribution d'eau idéal et fiable devrait donc pouvoir répondre à tout moment à la demande en eau de la zone d'approvisionnement concernée, de manière à ce que les demandes des usagers soient satisfaites en permanence.

⁴⁸FAST : *Functional Analysis System Technique* – Technique d'analyse fonctionnelle d'un système. Il s'agit d'une méthode permettant d'établir le lien entre la finalité d'un produit (ici assurer l'accès à l'eau aux usagers) et l'architecture d'un produit (ici l'infrastructure du réseau d'eau potable).

4.1.2 Niveau ou qualité de service

Pour les réseaux d'eau potable, Germanopoulos considère que le niveau de service indique dans quelle mesure le réseau répond à sa fonction principale et sert à déterminer la nécessité d'améliorer les règles de fonctionnement ou d'investir dans les composants ou les ressources du réseau [Germanopoulos, 1988]. Cette approche définit la qualité de service du côté de l'opérateur. Selon Lee et Kong, le niveau de service peut être considéré de différents points de vue. « Du point de vue de l'utilisateur, il s'agit de la manière dont celui-ci reçoit le service et de ce qu'il en attend, et du point de vue du fournisseur, il s'agit de la manière dont une organisation particulière fournit le service » [Lee and Kong, 2017].

Pour qualifier le niveau de service associé à la gestion du patrimoine d'un réseau d'eau, Lee et Kong ont sélectionné 5 critères qui sont la qualité de l'eau, la pression de l'eau, le goût et l'odeur, les tarifs de l'eau et le service rendu à l'utilisateur. A chaque critère sont associés des indicateurs de perception par l'utilisateur et leur traduction en indicateurs mesurables par le distributeur (KPI, *Key Performance Indicator*), ainsi qu'un objectif à atteindre. (Tableau 4.1). Une analyse comparative du degré de satisfaction des utilisateurs et des fournisseurs, basée sur cette catégorisation a permis de relever leur différence de perception par rapport à la priorisation des indicateurs pour la définition de la qualité de service.

TABLE 4.1 – *Classification du niveau de service, la valeur du client, les critères de satisfaction de la valeur et les KPI pour l'évaluation des réseaux de distribution d'eau : adapté de (Lee and Kong, 2017)*

| Critère | Perception par l'utilisateur | Objectif à atteindre | Indicateur (KPI) |
|---|------------------------------|--|--|
| Qualité de l'eau | Durabilité | Un service durable par la préservation de l'environnement aquatique et le rétablissement d'une circulation d'eau saine | Qualité de l'eau à l'entrée du réseau |
| | Santé | Aucun risque pour la santé publique | Concentration de chlore résiduel libre Nombre de réclamations liées à la qualité de l'eau |
| Pression de l'eau | Bon fonctionnement | Maintien approprié de la fonction d'approvisionnement en eau | Nombre de réclamations liées aux volumes d'eau/pressions |
| Goût et odeur | Qualité | Maintien approprié de la fonction d'approvisionnement en eau | Nombre de réclamations liées au goût et à l'odeur |
| Tarifs de l'eau | Accessibilité économique | Adéquation du coût de l'utilisation des services d'approvisionnement en eau | Coût d'approvisionnement /coût total |
| | | | Nombre de réclamations par rapport aux tarifs de l'eau |
| Service | Sécurité | Aucun risque pour la santé publique | Nombre de fuites |
| | Accessibilité | Service de réseau d'approvisionnement en eau selon les besoins des clients | Tarif de l'approvisionnement en eau |
| | Fiabilité et réponse | Service d'approvisionnement en eau prévisible et continu et une réponse immédiate | Limitation du nombre d'heures d'approvisionnement |
| | | | Délais de traitement des réclamations |
| | Service clientèle | Exploitation responsable des installations, réponse conviviale aux exigences de service | Délai de réponse aux réclamations |
| | Qualité | Entretien approprié de la fonction d'approvisionnement en eau | Débit |
| Indice de fuite des infrastructures (ILI) ⁴⁹ | | | |
| Années d'installation des canalisations | | | |

49. L'indice de fuite des infrastructures (Infrastructure Leakage Index : ILI) est un indicateur de performance des pertes d'eau réelles du réseau de distribution d'eau. L'ILI a été développé par le groupe de travail sur les

Nous relevons dans cette classification un focus sur certains aspects du service de l'eau par rapport à d'autres, notamment la qualité de l'eau qui est mentionnée à plusieurs reprises, mais avec des visions différentes entre des indicateurs de pollution et des indicateurs de nuisance, et la spécificité de certains indicateurs comme l'ILI qui évalue l'état du patrimoine du réseau. Il est également important de noter que cette analyse s'est faite sur un réseau en Corée où l'alimentation en eau est continue, et que les critères de limitation du nombre d'heures d'approvisionnement et de pression prendraient éventuellement une plus grande ampleur pour un réseau alimenté en intermittence.

4.2 Outil d'évaluation de la qualité de service de l'approvisionnement intermittent

Pour ce qui est de l'approvisionnement intermittent, comme nous avons pu le constater au Chapitre 1, les obligations contractuelles se reportent généralement sur les indicateurs typiques de l'évaluation d'un réseau d'alimentation continue, ou à une obligation d'atteinte de la continuité de service, ou aux deux. L'amélioration de la qualité de service dans le cadre même d'une alimentation toujours en intermittence est quant à elle rarement quantifiée. Une inadéquation des indicateurs et des mesures adoptées pour l'évaluation d'un réseau peut expliquer en partie les échecs d'atteinte des objectifs de continuité de service constatés sur plusieurs de ces contrats.

Dans la littérature, très peu d'indicateurs ont été développés pour la qualification du service d'alimentation en intermittence. Un index a été récemment proposé par Loubser *et al.* pour la quantification de la sévérité de l'intermittence à travers deux ratios : temporel et spatial [Loubser, Jacobs and Basson, 2017, Loubser, Basson and Jacobs, 2020]. Cet index laisse cependant de côté des paramètres importants pour la quantification de l'impact de l'intermittence du service, comme la qualité de l'eau au point de collecte, la prédictibilité de l'approvisionnement, ou encore les coûts d'adaptation encourus par les usagers pour faire face aux défauts de desserte.

Compte tenu de l'importance d'indicateurs adaptés pour quantifier et qualifier une amélioration pertes d'eau de l'IWA, et publié pour la première fois en 1999 [Taylor, 2009].

du service, et de la lacune constatée dans la littérature et au niveau des contrats des opérateurs sur ce sujet, nous proposons dans la suite une méthode d'évaluation de la qualité de service ajustée aux particularités de l'approvisionnement en intermittence.

4.2.1 Méthodologie

La description de la situation de l'intermittence dans le Chapitre 2 a eu pour premier objectif de compléter les résultats de la littérature scientifique par un retour d'expérience pratique sur le terrain, afin de définir une caractérisation technique et opérationnelle de l'intermittence. Ces résultats ont été ensuite comparés aux normes et standards communément acceptés dans le domaine de l'approvisionnement en eau. Une analyse des possibilités d'amélioration, basée sur l'étude de l'écart entre ces deux états (réel et souhaitable), a été finalement formulée (Figure 4.1).

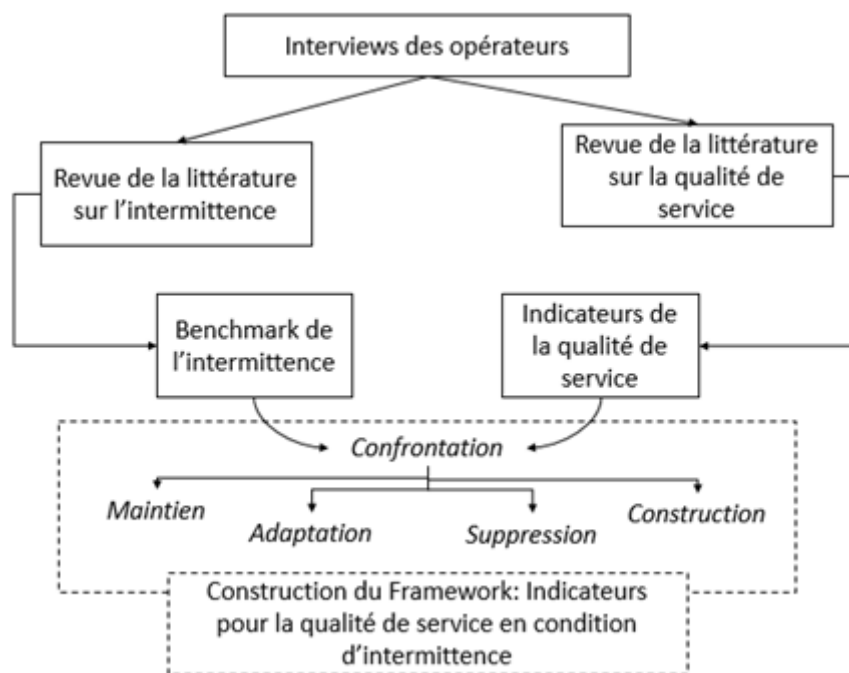


FIGURE 4.1 – Méthodologie adoptée pour la construction de l'outil d'évaluation de la qualité de service en approvisionnement intermittent
Source : élaboration propre

Comme indiqué par Lee et Kong, l'approvisionnement intermittent peut être considéré du point de vue de l'utilisateur ou de celui des acteurs de l'eau. Si l'on considère le point de vue de l'utilisateur, la notion d'intermittence peut être catégorisée en fonction du niveau de gêne généré, c'est une

catégorisation associée à la qualité du service de distribution d'eau. Du côté des acteurs de l'eau, nous pouvons lier l'intermittence à une exploration des raisons pour lesquelles ce type d'approvisionnement a été adopté (Chapitre 2), et de leur manifestation au niveau de la gestion du réseau à toutes ses étapes. Dans ce qui suit, nous allons explorer la définition de la qualité du service de l'eau telle qu'établie par les institutions internationales qui ont défini le droit à l'eau, puis la comparer au service perçu et reçu par les usagers. L'objectif de cet exercice est d'évaluer la pertinence des critères traditionnels de qualité du service dans les conditions du droit à l'eau, en les comparant à la réalité de la situation vécue par les populations telle que décrite par les problèmes mentionnés au Chapitre 2.

4.2.2 Décomposition du droit à l'eau et des objectifs pour le développement durable (SDGs)

Le Comité des droits économiques, sociaux et culturels des Nations unies définit le droit à l'eau comme suit (2002) :

« Le droit humain à l'eau donne à chacun le droit à une eau suffisante, salubre, acceptable, physiquement accessible et abordable pour les usages personnels et domestiques. Une quantité suffisante d'eau salubre est nécessaire pour prévenir la mort par déshydratation, pour réduire le risque de maladies liées à l'eau et pour répondre aux besoins de consommation, de cuisine et d'hygiène personnelle et domestique ». (*General Comment No. 15 (2002) - The right to water (arts. 11 and 12 of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights)*, 2002)

L'explication détaillée de la définition précédente présente les cinq critères suivants : **Disponibilité, quantité, qualité, accessibilité économique et accessibilité physique.**

D'autre part, la cible 6.1 des Objectifs pour Développement Durable (SDGs) est de parvenir, d'ici 2030, « **à un accès universel et équitable à une eau potable sûre et abordable pour tous** ». Le Programme commun OMS/UNICEF de suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement a traduit les termes utilisés dans cette cible par des critères qui s'accordent avec les dimensions extraites du droit à l'eau, pour définir une échelle de suivi des services d'eau

potable des ménages [WHO, 2017a].

Sur la base de ces critères, des niveaux de qualité de service peuvent être définis et des améliorations peuvent être constatées selon chacune de ces dimensions. Dans les paragraphes suivants, nous allons représenter les niveaux de qualité de service relatifs à chacune de ces dimensions, en les adaptant aux conditions de l'alimentation en intermittence.

4.2.2.1 Disponibilité

Lorsque la disponibilité de l'eau dans un système intermittent est décrite, c'est généralement la durée moyenne de distribution qui est prise en compte (en heures par jour ou par semaine...). Malheureusement, cet indicateur n'est pas suffisant pour décrire le système, la fréquence de distribution doit également être incluse [Guragai et al., 2017], ainsi que sa régularité [Galaiti et al., 2016] :

- Fréquence ou type de régime : en fonction de la fréquence d'arrivée de l'eau aux foyers ou aux points de collecte, la satisfaction des besoins des populations en matière de services et de logement peut différer. (Chapitre 2)
- Régularité du service : ce critère classe le type de distribution comme peu fiable, prévisible, régulier [Galaiti et al., 2016] et continu. Une distribution peu fiable caractérise un régime de distribution dans lequel les usagers ne savent pas exactement quand ils recevront de l'eau. Lorsque la distribution est régulière, le client sait qu'il recevra de l'eau un nombre connu de fois sur une période donnée, sans avoir une connaissance précise du jour ou de l'heure exacte d'arrivée de l'eau. Enfin, le service prévisible est un service dans lequel les usagers savent exactement quels jours et heures l'eau arrive à leur point de collecte. Le dernier niveau de prévisibilité est celui du service continu, lorsque l'utilisateur n'a plus à se soucier de savoir quand l'eau sera disponible.
« Les plus grands problèmes peuvent être ressentis lorsque la discontinuité est fréquente, mais très imprévisible. » [Howard and Bartram, 2003]

Enfin, un autre paramètre qui peut être pris en compte est la saisonnalité de la distribution

de l'eau, entre un service intermittent en permanence et une intermittence qui se produit au cours d'une saison particulière ou d'un épisode isolé. Ce paramètre peut être intégré en fonction de l'évolution du critère de disponibilité dans le temps, avec des facteurs de pointe calibrés en fonction de l'impact de la saisonnalité.

4.2.2.2 Quantité

Les besoins en eau de l'utilisateur peuvent être classés selon une pyramide [WHO Regional Office for South-East Asia, 2005] (voir Figure 4.2) inspirée de la hiérarchie des besoins de Maslow⁵⁰, en partant des besoins de base en eau liés aux activités humaines comme ceux liés à la boisson, à l'assainissement, à l'hygiène propre et à la préparation des aliments [Gleick and Iwra, 1996] et en remontant vers des utilisations moins exigeantes en termes de qualité.

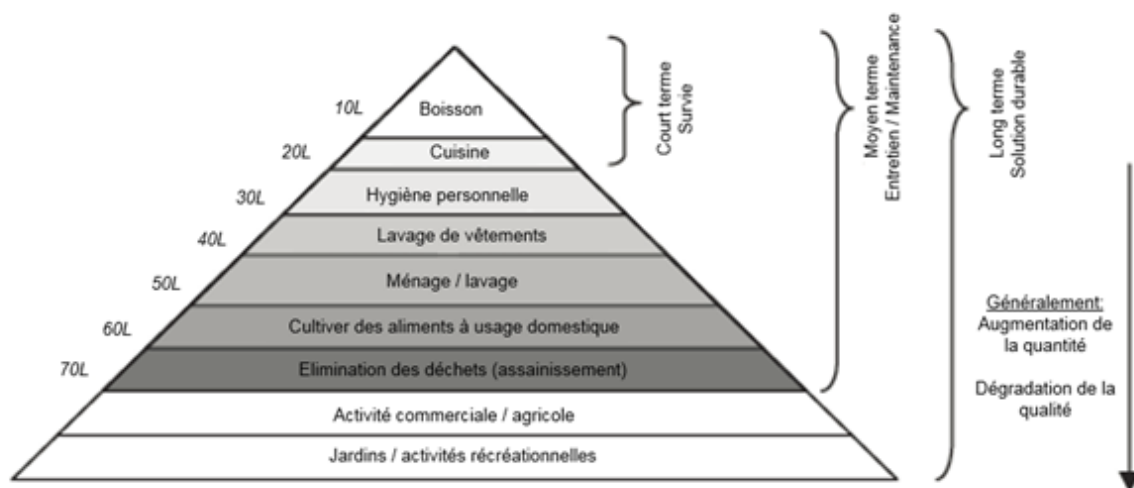


FIGURE 4.2 – *Hiérarchie des besoins en eau (litre par habitant par jour)* Source : (WHO Regional Office for South-East Asia, 2005)

Pour notre méthodologie, nous ne récupérons que l'agrégation globale des quantités moyennes associées aux besoins de survie, d'entretien et de développement comme proposition de valeur moyenne. Il s'agit ici d'une approximation, surtout lorsqu'on tient compte du fait que dans certains réseaux en intermittence, l'eau est considérée comme gaspillée à cause du renouvellement de celle préalablement stockée. Toutefois, sur d'autres réseaux, avec un approvisionnement in-

⁵⁰. Cette pyramide est inversée par rapport à la pyramide de Maslow où les besoins les plus essentiels figurent à la base, et que l'importance du besoin est décroissante en ascendance.

termittent en eau de 1 à 6 heures par exemple, malgré le renouvellement de l'eau stockée, on observe une utilisation parcimonieuse de l'eau, et plus faible (30 à 60 litres par habitant et par jour -lpcd-) qu'un approvisionnement continu en eau (70 lpcd) [Fan et al., 2014].

4.2.2.3 Qualité

L'eau est généralement considérée comme étant soit potable⁵¹, soit non potable, cette binarité rend difficile la qualification d'une amélioration progressive de la qualité d'une eau donnée. En ce sens, et à quelques exceptions près, les dispositions contractuelles des réseaux sous approvisionnement intermittent font que la formulation de leurs engagements en matière de qualité de l'eau peut différer des contrats conventionnels. Dans le cas de l'intermittence, les termes stipulent souvent une obligation de potabilité uniquement à la sortie de l'usine de traitement, et dans certains contrats, l'eau de l'utilisateur est qualifiée de « propre » plutôt que de potable. Les critères de définition de cette eau dite « propre » sont caractérisés au cas par cas, et il n'y a pas de définition unanime. En effet, l'évolution du domaine de la qualité de l'eau a permis de passer d'une évaluation qualitative exclusivement organoleptique à des critères quantitatifs physico-chimiques et microbiologiques avec des seuils stricts qui définissent si sa consommation ne présente pas de danger, dans un passage de la nuisance à la pollution quantifiée [WHO, 2017b].

En pratique, les différents usages de l'eau ne nécessitent pas nécessairement qu'elle soit potable pour être employée dans des activités autres que la boisson, la cuisine et, dans une certaine mesure, l'hygiène, et c'est là qu'intervient la notion de risque admissible [Hunter and Fewtrell, 2001].

Sur la base de ce concept, l'Organisation mondiale de la santé a défini une échelle d'objectifs sanitaires liés aux risques microbiologiques, qui représentent les plus grandes menaces pour la sécurité des usagers [OMS, 2012]. Ainsi, avant de pouvoir être potable, l'eau peut être qualifiée en fonction de son objectif de traitement, l'Organisation mondiale de la santé a défini des objec-

51. En termes de seuils de risques imposés par l'OMS, et à leur application dans un contexte défini. La binarité dépend du territoire considéré.

tifs de traitement intermédiaire en fonction du risque admissible considéré, à savoir : hautement protecteur, protecteur ou temporaire [OMS, 2012] (les exigences de performance pour ces critères sont présentées dans le Tableau 4.2). Nous adoptons ces niveaux pour l'établissement de notre échelle, en supposant une qualification organoleptique préalable.

TABLE 4.2 – *Exigences de performance pour les techniques domestiques de traitement des eaux et critères de réduction log10 associés pour les objectifs de protection "temporaire", "protecteur" et "hautement protecteur" contre les risques (Hunter and Fewtrell, 2001)*

| Microbe de référence utilisé dans le modèle dose-réponse | Nombre présumé de microbes par litre utilisé dans le calcul des risques | Classe d'agents pathogènes | Réduction requise (Log ₁₀) | | |
|--|---|----------------------------|--|------------|----------------------|
| | | | Temporaire | Protecteur | Hautement protecteur |
| | | | <i>Nécessite une utilisation correcte, cohérente et continue pour atteindre les niveaux de performance</i> | | |
| <i>Campylobacter jejuni</i> | 1 | Bactéries | Atteint une cible « protecteur » pour deux classes d'agents pathogènes et génère des gains de santé | ≥ 2 | ≥ 4 |
| <i>Rotavirus</i> | 1 | Virus | | ≥ 3 | ≥ 5 |
| <i>Cryptosporidium sp</i> | 0.1 | Protozoaires | | ≥ 2 | ≥ 4 |

4.2.2.4 Accessibilité physique

L'accessibilité physique de l'eau est définie par la distance à parcourir et le temps d'attente, ainsi que par les moyens nécessaires, pour accéder à l'eau. Étant donné que le champ d'application que nous avons envisagé pour définir l'intermittence n'inclut que l'approvisionnement par canalisation, c'est la qualification du point de livraison qui établit l'accès de l'utilisateur à l'eau.

L'accès peut être amélioré en passant d'un accès collectif, dans des kiosques ou des bornes-fontaines, à un accès semi-collectif dans une résidence, un quartier ou un immeuble, puis à un accès individuel.

Cet accès concerne également les moyens alternatifs de service (camions-citernes, points de vente d'eau, etc.).

Cependant, une catégorisation discrète ne peut être parfaitement objective dans le sens d'une évaluation comparative car l'accès à un point d'eau collectif au pied du domicile de l'utilisateur

peut être préférable à l'accès à un point de livraison semi-collectif plus éloigné⁵².

Le critère de classement est donc un coefficient prenant en compte à la fois le linéaire parcouru et le temps d'attente moyen avant la récupération et la consommation de cette eau (équation 1).

$$Water_{Accessibility}(\%) = A \times \frac{Linear_{travelled}(m)}{1000} + B \times \frac{Waiting_{time}(min)}{30} \quad (1)$$

Où :

- $Water_{Accessibility}(W_{AC})$: Indicateur d'Accessibilité physique exprimé en pourcentage.
- $Linear_{travelled}$: Distance parcourue en mètres.
- $Waiting_{time}$: Temps d'attente estimé en minutes.
- A et B : Coefficients définis en fonction des caractéristiques locales, pour accroître le cas échéant le facteur distance.

1000 mètres et 30 minutes sont la distance et la durée maximales définies par les Nations Unies pour la collecte de l'eau dans le cadre d'un accès répondant au droit à l'eau [United Nations Office to support the International Decade 'Water for life' 2005-2015, 2012], et où A et B sont des coefficients qui pondèrent respectivement la distance et l'attente (A peut prendre en compte la topographie, les moyens de transport disponibles ou nécessaires, la masse d'eau transportée, etc.) $A + B = 100$

Il convient de noter que l'un des problèmes qui caractérisent l'approvisionnement en intermittence est qu'il s'agit généralement d'une situation où l'utilisateur a un branchement particulier, mais pas d'eau. L'évaluation de la difficulté d'obtenir de l'eau n'est dans ce cas pas incluse dans l'accessibilité physique, telle qu'elle est définie ici, le temps d'attente pour que l'eau arrive au robinet n'étant pas pris en compte. Dans notre cas, lorsque les gens ont des réservoirs, il n'y a pas de distance à parcourir, et finalement, pas de temps d'attente.

52. Nous pouvons proposer des catégories discriminantes du type : Accès semi-collectif, au pied de l'immeuble, ou dans l'habitation, mais nous avons fait le choix de définir un indicateur permettant de se reporter aux seuils de distance et de durée définis par l'OMS.

Nous suggérons donc d'appliquer ce critère plutôt aux moyens alternatifs d'obtention de l'eau, auxquels les usagers ont recours à cause des conditions imposées par l'approvisionnement en intermittence, et ainsi quantifier le désagrément que cette situation entraîne pour eux.

4.2.2.5 Prix : accessibilité économique

Le droit à l'eau est également dépendant de son prix d'achat, et à la capacité des usagers à supporter le coût du service. Ce paramètre est généralement mesuré par le ratio du coût annuel des factures d'eau par rapport au revenu médian des ménages [Juliet Christian-Smith et al., 2013].

Dans les conditions d'approvisionnement intermittent en eau, le prix de l'eau a deux composantes : le prix direct de l'accès au service traduit par les factures fournies par la compagnie des eaux, et les coûts d'adaptation. Ces coûts peuvent générer un coût de l'eau atteignant jusqu'à 7,6 % du revenu déclaré [Vásquez et al., 2009, Dauda, Yacob and Radam, 2015].

En ce qui concerne la tarification de l'eau, plusieurs modèles peuvent être utilisés en fonction des spécificités socio-économiques des politiques de l'eau de la région, les tarifs peuvent être calculés sur la base de relevés de compteurs, d'estimations, ou être forfaitaires.

Les coûts d'adaptation peuvent être plus élevés que le prix réel de l'eau du robinet, comme Patannayak et Yang l'ont relevé en 2005 chez des ménages népalais [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005] (Figure 4.3).

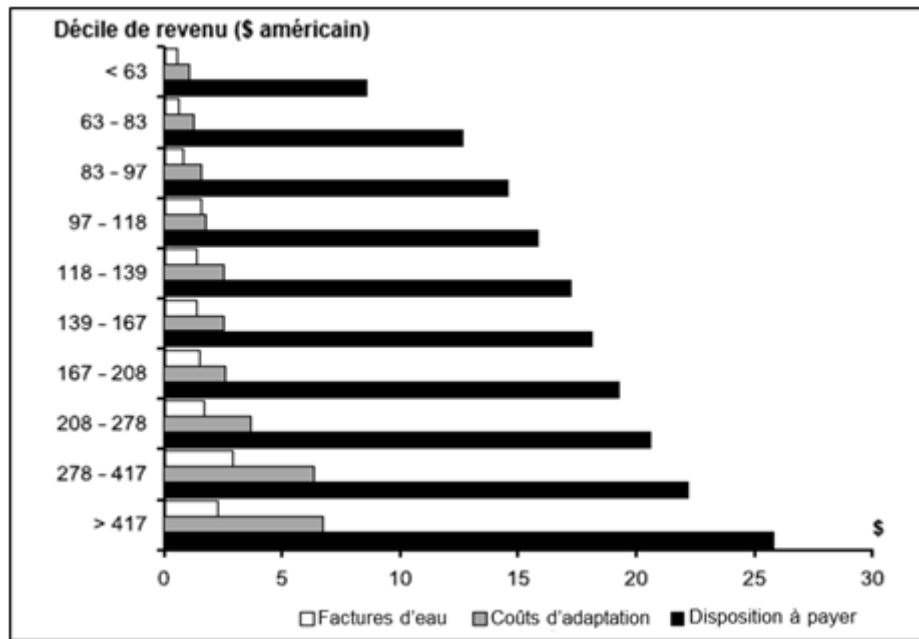


FIGURE 4.3 – Coûts mensuels d'adaptation, factures d'eau et disposition à payer par décile de revenu dans les ménages népalais, adapté de (Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005)

Une amélioration de la qualité du service doit prendre en considération ces deux composantes, la formule suivante est une décomposition du calcul de l'accessibilité à l'eau [Juliet Christian-Smith et al., 2013].

$$Water_{Affordability}(\%) = \frac{Annual_{WaterServiceCost} + Annual_{WaterCopingCost}}{Annual_{HouseholdMedianIncome}} \times 100 \quad (2)$$

Avec :

- $Water_{Affordability}(W_{AF})$: Indicateur d'accessibilité économique du prix exprimé en pourcentage.
- $Annual_{WaterServiceCost}$: Coût annuel du service de l'eau exprimé en monnaie locale.
- $Annual_{WaterCopingCost}$: Coût annuel lié aux stratégies d'adaptation exprimé en monnaie locale.
- $Annual_{HouseholdMedianIncome}$: Revenu médian annuel des ménages exprimé en monnaie locale.

Le graphique ci-dessous (Figure 4.4), illustre la disposition de ménages népalais à payer pour accéder aux services de l'eau en fonction de leur revenu moyen. Cette figure souligne l'augmentation de ce ratio avec la diminution des revenus, un autre point frappant qu'on peut constater est le fait que la disposition à payer pour une meilleure qualité de service de toutes les

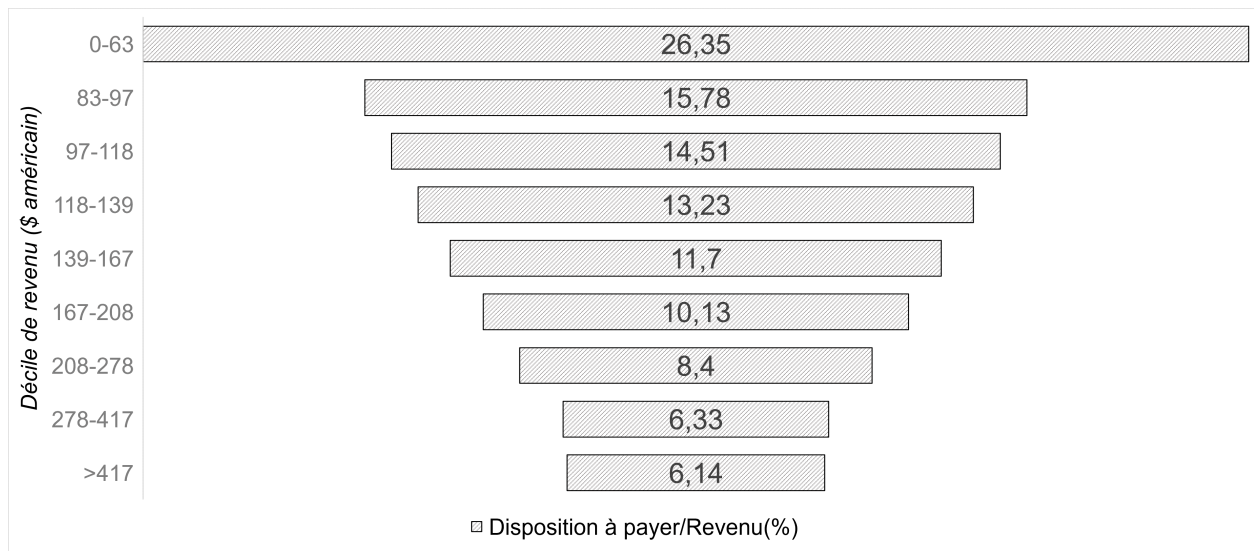


FIGURE 4.4 – Disposition à payer pour l'accès à l'eau par revenu moyen dans les ménages népalais, adapté des données du graphique de (Subhrendu K. Pattanayak & Yang, 2005)

catégories sociales est supérieure au seuil maximum recommandé par les Nations Unies (3%), d'où l'importance d'établir une échelle d'amélioration de l'accessibilité économique du prix de l'eau avant que ce seuil soit atteint.

4.3 Evaluation globale

4.3.1 Schéma obtenu

Afin d'avoir une représentation agrégée des niveaux de qualité du service de distribution d'eau, le schéma suivant (Figure 4.5) regroupe les 5 dimensions décrites dans les paragraphes précédents en attribuant des échelles adaptées aux conditions d'approvisionnement intermittent à chacune d'elles.

Les différents niveaux représentés dans la Figure 4.5, doivent être visualisés indépendamment d'une colonne à l'autre. Ils permettent d'identifier les possibilités d'amélioration et de qualifier les niveaux de service. Ces niveaux de service sont associés dans leur niveau final (cercle extérieur) à un approvisionnement continu de bonne qualité, satisfaisant pleinement le droit de l'utilisateur à l'eau. Les observations issues des témoignages des exploitants montrent

que l'existence de niveaux inférieurs permet d'identifier des objectifs d'amélioration progressive qui peuvent apporter un bénéfice substantiel aux populations qui seront desservies par une alimentation intermittente sur une longue période.

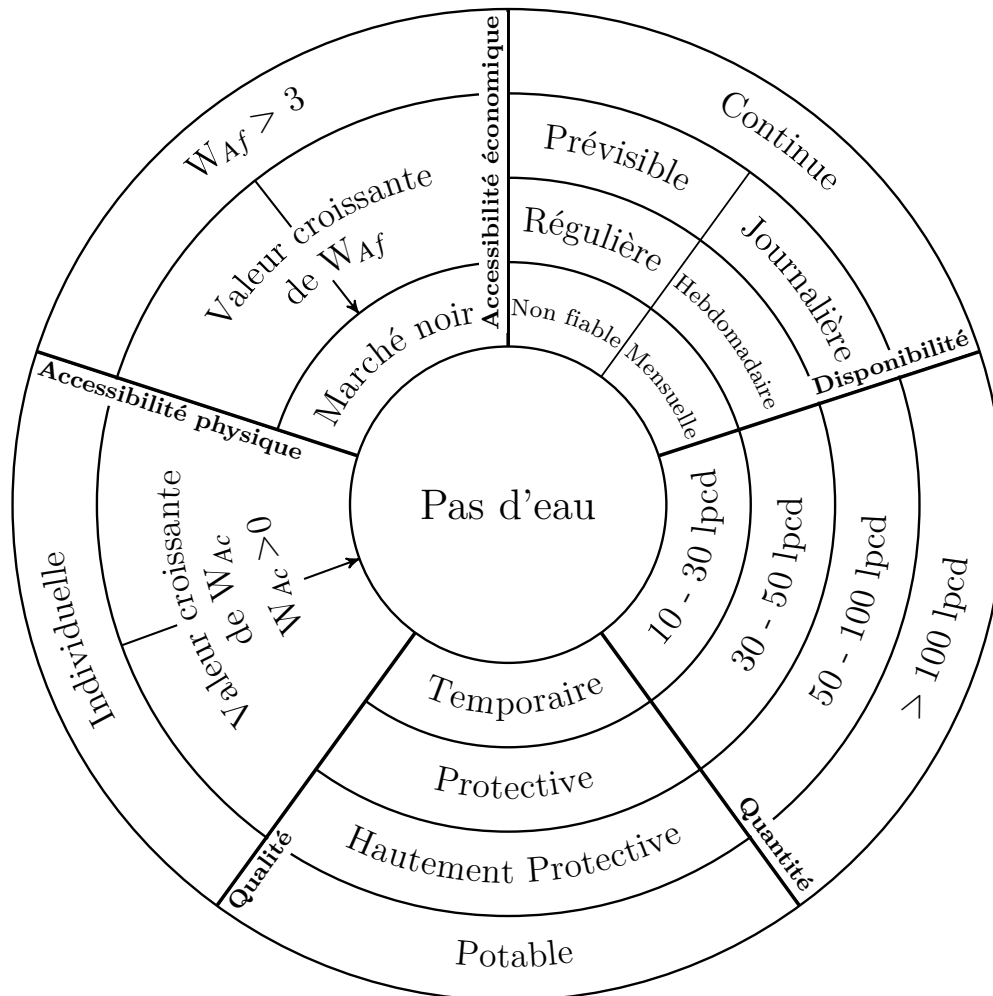


FIGURE 4.5 – *Framework pour l'évaluation de l'amélioration de la qualité des services d'eau*
Source : élaboration propre

4.3.2 Application

Nous avons appliqué ce schéma général au cas du réseau de Saltillo (2 600 km, 250 000 branchements), pour l'année 2019, que nous avons par la suite comparé à une situation initiale en 2001.

Les paramètres considérés étaient les suivants :

- Quantité : sur une base de 800 000 habitants, l'allocation est de 113 litres par personne

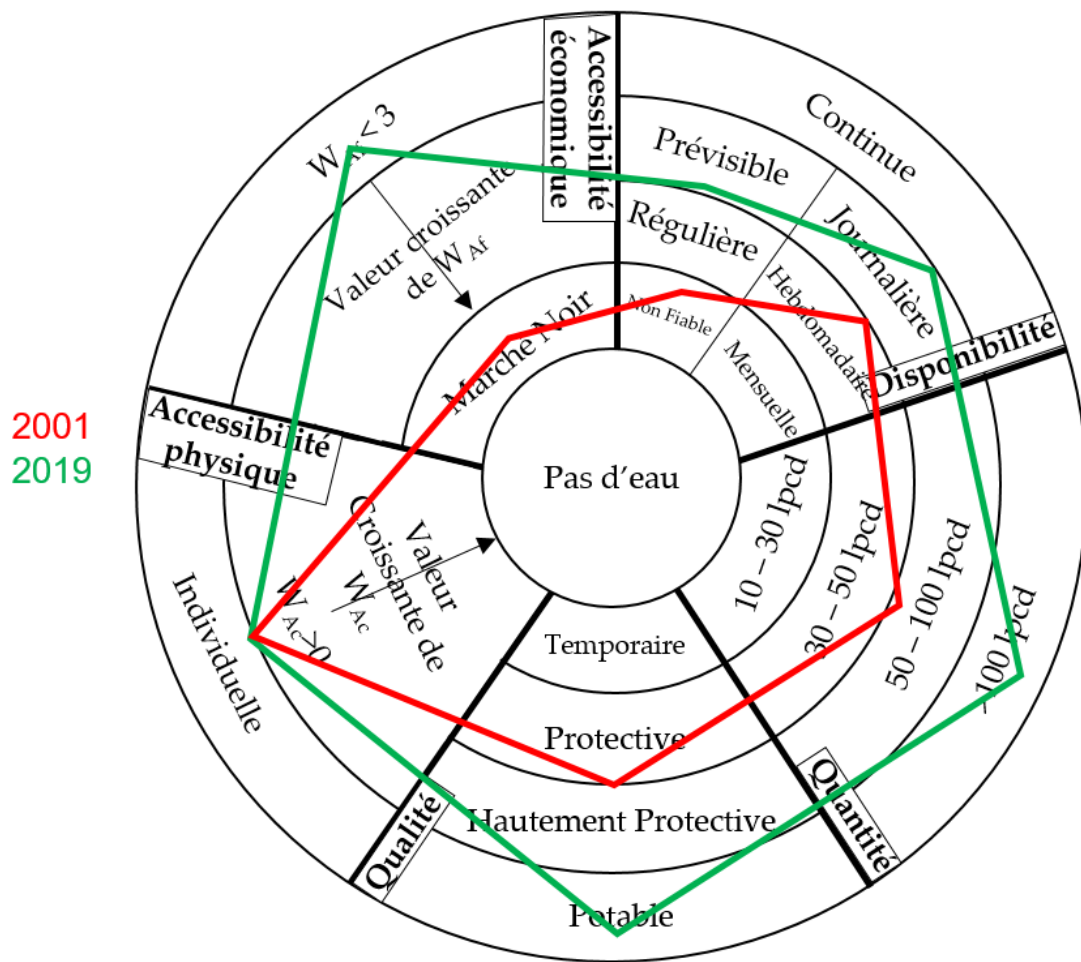


FIGURE 4.6 – Evolution de la qualité de service d'approvisionnement en eau potable à Saltillo entre 2001 et 2019

Source : élaboration propre

et par jour, les gens ont suffisamment d'eau pour couvrir leurs besoins de base (>100 lpcd).

- Qualité : en 2014, 2740 analyses bactériologiques ont été réalisées, sur le réseau, en sortie d'usine, en collaboration avec des autorités gouvernementales rattachées au ministère de la santé. Tous les échantillons étaient conformes aux normes [Aguas de Saltillo, 2018]. Mais ces analyses ne prennent pas en compte la contamination de l'eau chez l'utilisateur, liées aux adaptations nécessaires dues à l'intermittence. En 2017, la compagnie des eaux a reçu 74 réclamations concernant la qualité de l'eau (17 liées à l'odeur, 39 à la turbidité (53%), 14 à la couleur de l'eau (19%) et 4 à la présence de larves (5%)). Pour une population desservie de 800 000 habitants. En l'absence d'un indicateur d'évaluation de la qualité de l'eau au point de consommation, ce chiffre est très faible même comparé aux réseaux en

approvisionnement continu⁵³. Si l'eau n'est pas « potable » chez l'utilisateur, nous pouvons sur cette base supposer que le risque considéré comme admissible par les usagers place la qualité de l'eau comme « **hautement protective** ».

- Disponibilité : la fréquence moyenne d'approvisionnement en eau est proche de 20 heures/jour en 2018, 99 % de la population recevant de l'eau chaque jour et le reste (1 %) 4 jours par semaine. De plus, selon la compagnie des eaux, le calendrier de distribution est publié sur différentes plateformes afin de communiquer aux usagers les créneaux d'approvisionnement par quartier. Ces éléments indiquent une disponibilité « **journalière** » et « **prévisible** » pour une majorité de la population (99%).
- Accessibilité physique : environ 99% de la population est connectée au réseau, l'accessibilité est « individuelle » par rapport à l'alimentation par canalisation, mais une étude terrain des pratiques alternatives est nécessaire pour évaluer l'accessibilité globale de l'approvisionnement, on peut tout de même supposer qu'une dotation de plus de 100 litres sur une durée d'approvisionnement de 20h permettrait théoriquement de se passer d'un recours à des ressources supplémentaires.
- Accessibilité économique : le tarif de l'eau appliqué, reporté sur la consommation annuelle à Saltillo, est en moyenne de 0,5 % du revenu annuel moyen de la population, si l'on se réfère aux ratios calculés pour les coûts d'adaptation susmentionnés au Népal, l'indicateur d'abordabilité du prix reste inférieur au seuil recommandé ($W_{af} < 3$).

En résumé, l'analyse de la qualité du service à Saltillo place la majorité des indicateurs à des niveaux très favorables. L'amélioration est particulièrement visible lorsqu'on représente l'évolution des indicateurs entre 2001 et 2019 sur le schéma développé (Figure 4.6).

Ce que ce schéma ne traduit pas en revanche, c'est le fait que cette amélioration du service n'est pas la même sur l'ensemble du réseau. Cette observation souligne l'importance de la considération spatiale lors de la qualification de l'intermittence. Dans l'exemple de Saltillo, l'estimation moyenne s'est souvent basée sur l'évaluation de la dimension considérée pour des

53. L'évaluation de la qualité de l'eau selon ces données est dépendante du taux de réclamations qui est lui-même tributaire du taux d'analphabétisation et de la nature de l'habitat (formel ou informel) sur le territoire. Cette méthode d'évaluation, qui n'est donc pas compréhensive, propose une approximation de l'évolution de la qualité de l'eau pour un même réseau dans la durée, comme illustré dans la Figure 4.6, entre 2001 et 2019.

taux aussi élevés que 99% des usagers. La question qui n'est pas traduite par la représentation moyennée sur le schéma est celle du poids accordé au 1% restant, dont les conditions sont moins favorables, alors même qu'il est fondamental de ne pas la considérer comme « négligeable » dans une configuration comme celle d'un approvisionnement en intermittence, où l'inéquité fait partie des dimensions principales de la rétroaction positive du phénomène.

4.3.3 Considération spatiale de l'intermittence

La qualité du service telle que définie plus haut, bien qu'elle couvre un large éventail de possibilités d'amélioration du service, ne considère que la réponse aux besoins en eau d'un seul usager, alors que d'autres dimensions se font sentir dès que l'on dépasse l'échelle individuelle.

Face à un approvisionnement qui ne permet pas un accès à l'eau en permanence, l'un des aspects qu'il est important de prendre en compte est de s'assurer que la distribution de l'eau est effectuée de manière équitable. Cela inclut à la fois l'équité dans la répartition des quantités d'eau desservies, et celle de la durée et de la fréquence d'approvisionnement, etc., jusqu'à ce que l'équité soit prise en compte au niveau de tous les paramètres identifiés dans les paragraphes précédents.

Le critère d'équité, ainsi que d'autres critères collectifs peuvent être regroupés dans la notion de pondération de l'importance de l'approvisionnement d'un usager ou d'un groupe d'usagers, et l'impact qu'ils peuvent avoir sur leur environnement, et la capacité et la volonté du fournisseur de réduire, d'adoucir ou d'homogénéiser les singularités de la courbe spatiale de la qualité de l'approvisionnement.

L'importance de cet aspect est particulièrement visible dans le cas de l'amélioration du service du réseau de Jeddah, en Arabie Saoudite⁵⁴. Nous nous basons pour l'analyse de la qualité de service d'approvisionnement de ce réseau, sur le schéma d'amélioration que nous avons construit pour examiner les réponses aux cinq dimensions identifiées, lors de la situation initiale en mai 2008, et ensuite après l'amélioration du service :

54. Les informations, y compris qualitatives, sont reprises de l'entretien avec D. Sinapah (voir chapitre 2)

- En termes de quantité, le volume moyen d'eau reçue par un ménage saoudien, avant toute considération de disparité spatiale, est plus que suffisante, elle concurrence même la consommation quotidienne des ménages américains qui est de 315 lpcd [U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey, 2017].
- La distribution de l'eau était également prévisible en 2008 mais avec des fréquences très disparates entre les quartiers de la ville, l'eau pouvait en ce sens arriver à certains endroits tous les dix jours, et être à plus de 27 jours d'intervalle dans d'autres, pour une fréquence moyenne de 23 jours. C'est à ce niveau que l'importance de la considération spatiale est perceptible, et gagne à être quantifiée. Sur la Figure 4.7, l'amélioration de l'équité de distribution au cours du temps en termes de disponibilité est visible à travers l'homogénéisation des fréquences d'approvisionnement sur la carte des zones de desserte.
- En termes de qualité, la compagnie des eaux n'a reçu aucune plainte à cet égard, on peut en déduire que le désavantage généré par la dégradation de la qualité de l'eau n'était pas évident au sens organoleptique. Mais comme l'eau systématiquement stockée n'était pas destinée à la boisson ou à la cuisine, cela réduit l'ampleur de l'impact qu'elle aurait pu avoir sur la population. Il est cependant important de noter que la longue durée de stockage de l'eau de 23 jours dégrade nécessairement la qualité de l'eau [Elala, Labhasetwar and Tyrrel, 2011, Vacs Renwick, 2013, Hernandez-Lopez et al., 2016, Guragai et al., 2017]
- L'accessibilité à l'eau est individuelle et le prix de l'eau est subventionné par l'État.

Dans le cas de Jeddah, les dimensions de quantité, qualité, accessibilité, prédictibilité et prix étaient satisfaisantes au regard de l'utilisateur en situation initiale. L'amélioration la plus notable du service a été d'agir sur le paramètre de fréquence pour la disponibilité de l'approvisionnement, et sur l'équité de la distribution, par l'implémentation d'une gestion active de la pression et l'optimisation de la sectorisation du réseau et des calendriers d'approvisionnement. La fréquence de distribution est passée d'une moyenne initiale d'une fois tous les 22,9 jours à une fois les 7,2 jours pour l'ensemble de la ville en décembre 2014.

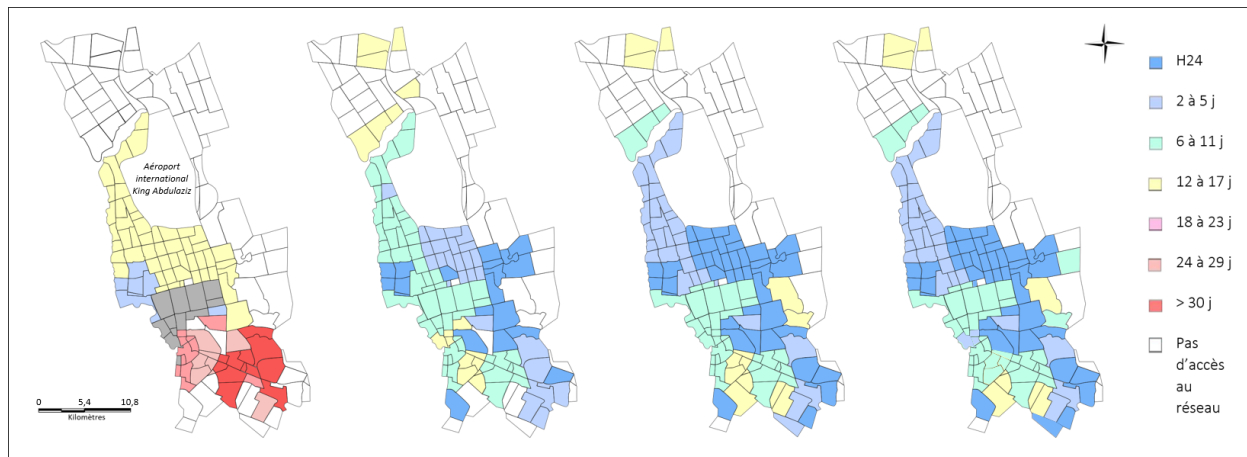


FIGURE 4.7 – Evolution de la fréquence d'approvisionnement à Jeddah en 2008, 2010, 2012 et 2014 - Adapté d'une présentation de la NWC aux journées techniques de SUEZ (2015)

4.4 Limites du modèle de qualité de service

L'outil que nous proposons a fait l'objet d'une publication [Mokssit et al., 2018]. Les exemples de Saltillo et Jeddah ont néanmoins permis de relever certaines limites de son utilisation. Celui-ci reste embryonnaire, et ne pourra acquérir de la robustesse qu'au travers d'une utilisation pratique sur chaque cas possible, au vu de la diversité de l'intermittence. Certaines de ces limites sont liées à une agrégation trompeuse des territoires évalués.

4.4.1 Interrelations entre les dimensions

L'outil d'évaluation de la qualité de service que nous avons construit traite chacune des dimensions examinées comme des axes indépendants. Cette considération peut par construction dissimuler les relations de dépendance qui peuvent exister entre ces paramètres.

Une première relation peut être extraite de la définition de la hiérarchisation des besoins en eau sur laquelle nous nous sommes basés précédemment [WHO Regional Office for South-East Asia, 2005], où la formulation des classes de besoins humains en eau présente une qualité qui se dégrade avec l'augmentation de la quantité nécessaire pour répondre à ces besoins. Cette relation est attribuable à la diversité des usages liés à ces différentes classes, que nous discuterons plus en détail dans le paragraphe suivant.

Un autre élément de dépendance intuitivement admis est la relation entre quantité et accessibilité physique. En effet, on peut raisonnablement supposer que la quantité d'eau consommée par un ménage alimenté par réseau devrait être plus importante que celle utilisée par un usager qui doit parcourir une très longue distance avant d'arriver au point d'accès à l'eau.

Un plateau intermédiaire a tout de même été identifié sur des profils agrégés des schémas d'utilisation d'eau entre ces deux situations extrêmes par Cairncross et Feachem (1997), suite à une analyse de plusieurs territoires en Afrique (Figure 4.8). Le profil obtenu indique une indépendance intermédiaire, une fois que le « coût » initial du déplacement est assumé lorsque l'usager sort pour chercher de l'eau (dépassement de l'accès individuel), jusqu'au seuil des 30 minutes, que nous considérons pour discrétiser nos intervalles.

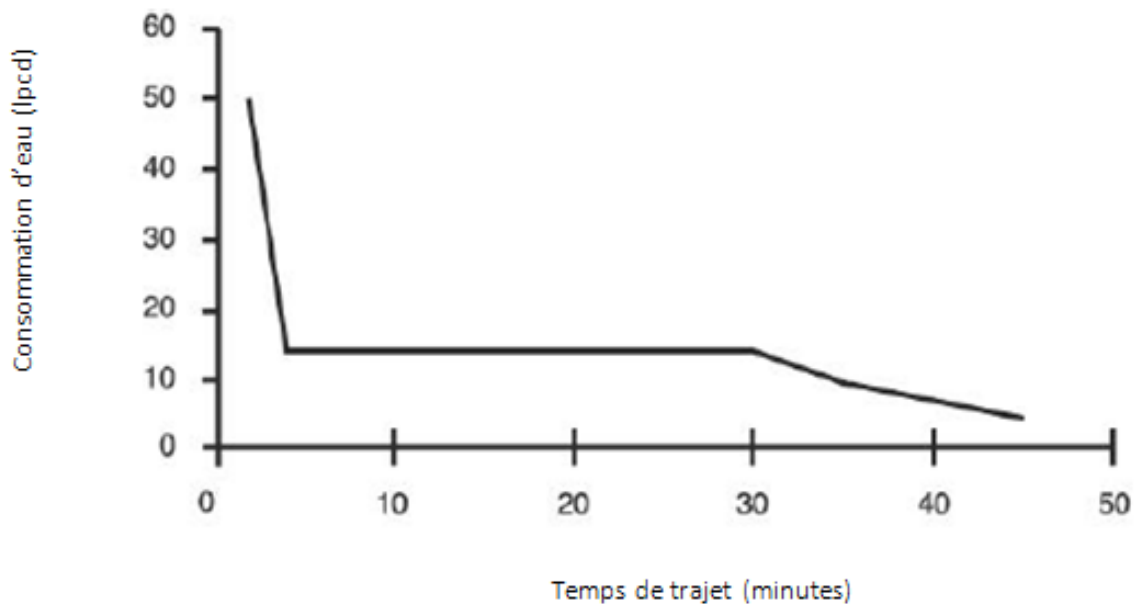


FIGURE 4.8 – Profil de consommation d'eau en fonction du temps de trajet (Cairncross et Feachem, 1997)

Les modèles de tarification de l'approvisionnement réseau par tranches peuvent inférer un autre exemple de relation entre prix et accessibilité. Mais le choix de considération indépendante pour lequel nous avons opté est dû principalement à la multiplicité des ressources examinées pour notre outil d'évaluation. Les relations identifiées dans la littérature concernent principalement un approvisionnement à ressource unique, ou une comparaison entre deux ressources, et nous considérons qu'une supposition d'indépendance est une précaution qui permettrait de capturer le niveau de service pour des configurations de ressources et de moyens d'adaptation

variés.

4.4.2 Différentes qualités pour différents usages

La qualité de l'eau livrée par le réseau est définie en accord avec les normes internationales destinées à la consommation humaine. Le réseau, à quelques exceptions près, est tenu de livrer une eau « potable » aux usagers.

Dans une situation d'intermittence, où la qualité de l'eau livrée par canalisation peut être dégradée à cause des contaminations dans le réseau ou par la suite à cause de sa stagnation dans les récipients de stockage à l'échelle de l'habitation, une réflexion sur l'adaptation des qualités de l'eau à l'usage qui en est fait peut présenter de l'intérêt, surtout si on tient compte des faibles capacités financières qui caractérisent généralement les systèmes concernés par ce *modus operandi*.

Face à l'inadéquation de l'alimentation par intermittence, les usagers ont souvent recours à des moyens alternatifs d'acquisition de l'eau, de qualités variables. Cette contrainte d'alimentation peut ouvrir la possibilité d'une adaptation de ces différentes qualités d'eau aux usages qui en sont faits, même lorsque l'approvisionnement est continu⁵⁵. Certains des moyens d'approvisionnement alternatifs explorés dans le chapitre précédent peuvent s'affranchir des contraintes de disponibilité liées à l'approvisionnement réseau, d'où leur attractivité en général, et particulièrement lorsque la distribution d'eau du réseau est intermittente.

55. Dans certains endroits, notamment dans des pays développés, des foyers alimentés en eau potable du réseau peuvent également recevoir de l'eau courante à partir d'une autre source, à travers la création d'un système d'approvisionnement à double canalisation (Rogers et Grigg, 2015). La source d'eau alternative est généralement fournie pour réduire l'utilisation de ressources en eau de haute qualité pour des usages non potables, ou simplement pour conserver des ressources en eau rares.

Le recours à un système d'alimentation double doit s'accompagner par des mesures visant à contrôler les risques sanitaires qu'il peut présenter, à cause d'une installation par des personnes non qualifiées, induisant de potentielles connexions croisées ou l'absence d'un clapet anti-retour, d'un étiquetage ambigu ou d'une absence d'étiquetage des deux systèmes [WHO, 2017b]. L'utilisation d'eau alternative s'accompagne cependant parfois aussi d'effets rebonds pas forcément vertueux du point de vue environnemental. Notamment en ce qui concerne l'usage arrosage : c'est ce qui a été constaté dans le sud de la France avec l'utilisation de l'eau brute des canaux. Si les bonnes précautions sont toutefois prises, cette pratique peut représenter un moyen appréciable d'économie physique, financière et environnementale de la ressource.

4.5 Synthèse du chapitre 4

Devant la pertinence de disposer d'indicateurs appropriés pour évaluer puis qualifier une amélioration du service d'approvisionnement en eau d'un système alimenté en intermittence, et compte tenu des lacunes constatées dans la littérature et dans la réglementation et les contrats des opérateurs à ce sujet, une méthode d'évaluation de la qualité de service adaptée aux spécificités de l'intermittence a été développée.

La définition des angles d'évaluation s'est basée sur l'extraction des dimensions contenues dans la définition du droit à l'eau par les nations unies. Ainsi, les paramètres définissant la qualité du service dans le cadre d'un approvisionnement intermittent sont des indicateurs qualifiant la disponibilité, la quantité, la qualité, et l'accessibilité physique et économique de l'eau reçue par l'utilisateur, et l'équité de distribution de cette eau sur le réseau. L'adaptation de ces indicateurs aux conditions de l'intermittence s'est faite au niveau de la construction d'un outil permettant de mesurer et suivre les progrès qui peuvent être ressentis par l'utilisateur, suite à des actions de l'opérateur pour l'amélioration du service, avant d'atteindre le H24.

Cet outil, par construction, permet de distinguer les niveaux de service et d'accès à l'eau garantis par plusieurs réseaux en intermittence dans le monde, et montre qu'une amélioration du service de l'eau est possible même dans les cas où la continuité d'approvisionnement n'est pas possible. L'outil présente cependant des limitations liées notamment aux dépendances potentielles entre les dimensions considérées, qui ne sont pas prises en compte, ainsi que du point de vue adopté, qui est celui de l'utilisateur dans sa relation avec l'opérateur.

Malgré ces limitations, ce schéma trace la voie pour une définition des objectifs d'amélioration, qui doivent tenir compte de la manière dont ces dimensions sont perçues par les différents acteurs impliqués dans le façonnement de l'offre d'approvisionnement pour un réseau en intermittence, et se fonder sur une pondération ciblée des paramètres définissant cette qualité de service, en se basant sur la contribution potentielle de l'amélioration ciblée pour rompre le cercle vicieux de la dégradation du service dans le cadre de l'intermittence.

"جا الماء نوض تعمر

جا الماء في وسط الليالي ضالة

جا الماء وجدوا البواد والجليكا والقرع جا الماء"

56

صالح اوقروت - أغنية جا الماء نوض تعمر

Partie 2

Etude de cas : Vivre

l'intermittence

Rapport à l'eau et

écosystème intrinsèque

56. « *L'eau est arrivée, réveille-toi pour la remplir*

L'eau est arrivée, durant les nuits noires

L'eau est arrivée, prépare les bidons, jerricanes, et bouteilles, l'eau est arrivée »

Saleh Oukrout, Comédien algérien, Paroles de la chanson populaire « l'eau est arrivée, réveille-toi pour la remplir »,

Traduit du dialecte algérien, disponible sur :

https://www.youtube.com/watch?v=iEtyxThvuy8&ab_channel=alg%C3%A9rianodz

Construire une stratégie de gestion de l'intermittence nécessite de savoir comment décrire la manière dont elle est vécue. Dans notre première analyse, jusqu'à la construction du cadre d'évaluation de la qualité du service, c'est le point de vue de l'opérateur qui nous a permis d'établir un schéma global de caractérisation du régime de l'intermittence. Cette caractérisation, bien que riche compte tenu de la diversité des réseaux analysés, reste incomplète. La réponse à la question nécessite par construction l'implication de l'acteur qui vit cette intermittence, notamment « au bout du tuyau », à savoir l'utilisateur, dont nous avons constaté la centralité au niveau de la première partie.

L'intégration de l'utilisateur s'est faite dans la considération de la qualité de service, qui a été formulée par une adaptation de la réponse du service offert par l'opérateur au droit à l'eau de l'utilisateur (chapitre 4). Dans la mise en échelle des dimensions considérées, ainsi que suite à l'étape de caractérisation préalable, un des résultats mis en avant par la littérature et les opérateurs interrogés est que, dans une situation d'intermittence, l'utilisateur n'est plus passif, mais coproducteur du service. L'objectif est d'exposer comment cette coproduction se manifeste afin d'intégrer les approches qui sont davantage du côté de l'utilisateur, et des autres parties qui sont impliquées dans ce processus, dans une logique de mutualisation des solutions proposées qui constituent « l'équilibre de cet écosystème » d'approvisionnement en eau ainsi établi.

La réponse à cette question a nécessité deux analyses sur des cas réels. La première est une étude globale positionnée du côté de l'opérateur, dans le but de comprendre les contraintes et particularités du régime. Elle a été réalisée dans la partie 1 à travers l'examen des retours d'expériences de l'opérateur dans différents domaines (chapitre 2). Cette étude a également permis de dégager les modalités d'interaction de l'opérateur avec le tissu local lors de la prise en main d'un nouveau réseau avec un ordre préétabli (chapitre 3). L'objectif de cet exercice était d'identifier les moyens d'assimilation adoptés dans un contexte d'intermittence qui peut exacerber les éléments de conflit potentiel, en l'absence d'une stratégie d'intégration dédiée.

La deuxième analyse que nous allons développer dans cette seconde partie, a consisté en une enquête de terrain orientée sur la qualification et la quantification du rapport de l'utilisateur à l'eau dans les deux villes algériennes de Tipaza et d'Alger. Le choix de ces deux terrains que

nous allons détailler dans la suite (chapitre 5) s'est fait pour saisir le rapport de l'utilisateur à l'eau dans la perspective opérationnelle d'une approche renouvelée côté opérateur.

L'objectif de l'enquête est d'identifier ces différentes stratégies alternatives et de les positionner dans une situation d'intermittence afin de savoir comment l'opérateur peut en tenir compte dans son mode de gestion, au-delà des contraintes imposées par le réseau, en cartographiant les acteurs concernés, les flux et les marchés qui en découlent. Cette approche permet également de se détacher de la vision de l'opérateur, afin d'identifier la nature de la demande de l'utilisateur. Elle se base en particulier sur le fait d'examiner si l'utilisateur aspire à disposer d'un réseau unique répondant à tous ses besoins, ou s'il s'agit d'une vision qui lui est imposée par l'opérateur, et les différents acteurs qui définissent l'offre de service de l'eau.

L'objectif de cet exercice est de poser la question de l'intermittence des différents rapports à l'eau en situant le rapport au réseau comme moyen d'accès dans un système plus global, afin de caractériser la réponse aux besoins en eau des populations soumises à ce régime, dans toute sa complexité.

Cette deuxième partie est donc un examen sur terrain des principaux éléments qui sont ressortis du cadre de qualification des caractéristiques de l'intermittence, à savoir la nature du service essentiellement coproduit qui est intrinsèque au régime. Celle-ci met en évidence la nécessité de tenir compte de tous les acteurs dans la définition des lignes d'action à mettre en œuvre, qu'il s'agisse de l'évaluation et de l'amélioration de la qualité du service ou, en dernier ressort, des acteurs de la transition vers l'approvisionnement continu.

Chapitre 5

Méthodologie adoptée :

L'enquête terrain

L'Analyse de l'approvisionnement intermittent en eau dans la littérature et suite au croisement d'expériences des opérateurs sur des terrains à l'intermittence multiple a permis de mettre en avant plusieurs contraintes structurelles, territoriales et réglementaires auxquelles ces réseaux et *in extenso* les opérateurs sont soumis. Elle a aussi permis de faire apparaître la nécessité de se détacher d'un modèle d'intervention et de gestion à sens unique (opérateur – client), et de prendre en compte l'exhaustivité des stratégies d'adaptation des usagers dans toute intervention sur des réseaux en intermittence.

L'examen réalisé dans la première partie sur divers réseaux a également mis en évidence un constat de multiplicité de ces contraintes et des réactions et mesures d'adaptation parfois contraires d'un réseau à l'autre. Afin de mieux cerner ces aléas, nous proposons dans la suite d'examiner les questions relevées sur un terrain spécifique, afin de développer davantage et de mettre à l'épreuve les constats et les outils d'analyse proposés en première partie. Ce chapitre présente la méthode adoptée et les terrains examinés dans la suite.

5.1 Conception de l'étude

5.1.1 Objectif et méthodologie générale

L'approvisionnement intermittent en eau impose aux usagers, nous le rappelons, des coûts associés aux installations supplémentaires, des pratiques d'adaptation comportementales, et fait intervenir d'autres acteurs dans l'établissement d'un équilibre d'approvisionnement. L'accès à l'eau a alors des sources, moyens d'acheminement, procédés de transformation et points d'accès multiples tant par leur nature que par leur positionnement dans la chaîne de distribution.

Par ailleurs, l'amélioration du service par l'opérateur s'associe généralement, au vu de la formulation usuelle des objectifs contractuels et des considérations techniques, à une transition vers l'alimentation continue, ou une tentative d'atteinte de cet objectif. Les résultats des entretiens réalisés avec les opérateurs et experts de SUEZ (Partie 1), ont mis en exergue la présence de conditions territoriales et de dynamiques politiques, économiques ou sociales bloquantes pour la mise en œuvre du plan de l'opérateur. Sur cette base, nous formulons l'hypothèse suivante :

Dans un réseau d'eau alimenté en intermittence, l'objectif contractuel d'atteindre le H24, dans un contexte territorial, temporel, politique, social et économique donné, peut amener le gestionnaire du réseau à perturber la situation de l'utilisateur, son client, mais également de l'ensemble des acteurs (livreurs d'eau, plombiers, vendeurs de cuves, etc.) avec lesquels celui-ci est en relation et ainsi modifier largement des logiques établies de fonctionnement. Cette posture peut s'avérer contre-productive par rapport à la mission même de l'opérateur, et expliquer la difficulté d'amélioration du service généralement associée à l'intermittence.

Nous proposons dans la suite de vérifier cette hypothèse en examinant sur un terrain donné la stratégie implémentée par un opérateur lors de la prise en main d'un réseau en intermittence, et d'identifier les risques potentiels qui peuvent en découler. L'objectif est double. Tout d'abord, il s'agit de décrire l'approvisionnement par réseau tel que piloté par son gestionnaire dans une optique d'amélioration du service, face à celui perçu par les usagers. Le second objectif est de donner à ce même gestionnaire des moyens de gérer l'intermittence, au-delà des restrictions

imposées par le réseau, en cartographiant les acteurs concernés, et la demande qui en découle. Cette opération passe par une identification sur un cas concret des différentes stratégies alternatives adoptées par les usagers dans la situation d'intermittence. Cette approche essaie aussi, en l'établissant comme point de départ, de se détacher par la suite de la vision de l'opérateur, pour dégager la nature de la demande de l'utilisateur, afin de la réinjecter dans la stratégie du premier. L'objet est d'examiner notamment si l'utilisateur aspire vers une unicité de la ressource, ou si c'est une situation qui lui est imposée par le gestionnaire et les différents acteurs qui définissent l'offre du service de l'eau.

La finalité de cet exercice est d'évaluer la pertinence de stratégies d'amélioration de la qualité de service, en posant la question de l'intermittence au regard des différents rapports à l'eau. Cette opération nécessite de replacer le lien au réseau comme moyen d'accès au sein d'un dispositif plus global d'accès à l'eau. Ceci permet de caractériser la réponse au besoin en eau des populations soumises à ce régime, dans toute sa complexité.

Dans ce dessein, la délimitation du corpus d'étude a nécessité une formulation spatiale et temporelle pour extraire une « parcelle » suffisamment représentative de la réalité à étudier. Au vu de la contrainte de complexité des systèmes d'approvisionnement en eau, une simplification systémique a permis d'opter pour une enquête méso sociale⁵⁷ de deux terrains caractérisés par des situations d'approvisionnement en intermittence, historique et actuelle. Ceux-ci sont gérés par le même opérateur, SUEZ, chez lequel j'ai réalisé ma thèse CIFRE. Une partie de ces résultats est mise en confrontation avec un troisième terrain pour évaluer la possibilité de généralisation des conclusions obtenues.

Cette enquête démarre par le réseau et son arsenal d'intervenants côté gestionnaire, pour un diagnostic du service fourni. Leur description des actions entreprises puis leur qualification de l'évolution de la qualité de service qui est ensuite examinée au regard de celle perçue par l'utilisateur et des acteurs assurant les alternatives au réseau, lorsqu'elle est placée au sein d'une logique évolutive de l'amélioration de la desserte principale. L'enquête s'est appuyée principalement

57. L'échelle méso sociale est celle des acteurs collectifs et des institutions. C'est le niveau des relations entre le gouvernement ou l'administration et les entreprises pour le contrôle de la qualité des biens et services. [Desjeux, 2004]

sur une analyse qualitative à partir d'observations terrain, d'entretiens semi-directifs menés auprès des usagers et de différents acteurs impliqués, d'un questionnaire adressé aux usagers, et de lectures exploratoires de la littérature grise et scientifique autour de l'eau dans les terrains examinés.

5.1.2 Choix des terrains

La particularité de cette thèse est son ancrage dans le contexte opérationnel, avec une prise de recul académique. Cette articulation a permis de recueillir la vision du gestionnaire de près. Au sein même de l'organisme accueillant la thèse (SUEZ), ce travail était principalement hébergé par un centre d'expertise pour le diagnostic et l'amélioration de la performance des réseaux d'eau, qui est amené à intervenir sur des projets dans le cadre de différents contrats du groupe. Cette position a permis des facilités d'accès à divers terrains, avec la possibilité de recevoir des informations contextuelles, stratégiques et décisionnelles de première main. Le choix des terrains d'étude s'est donc naturellement fait parmi les réseaux où SUEZ intervient.

La sélection adoptée peut sembler restrictive pour une analyse qui veut avoir une portée générale, mais ce point nous semble compensé par des possibilités d'ouverture offerte par l'opérateur. Avec ses 150 ans d'expérience dans la gestion des réseaux d'eau aux quatre coins du globe, et au vu de l'ampleur de la population impactée par l'approvisionnement en intermittence dans le monde, SUEZ a naturellement été largement confrontée à la gestion de ces réseaux par le passé et dans ses contrats actuels (Figure 5.1).

Cette large couverture du terrain a permis à travers l'analyse réalisée en première partie de produire une caractérisation globale de l'intermittence, en se basant sur des retours d'expérience variés. A cette étape de l'étude, l'objectif est d'examiner un terrain en profondeur. Pour ce faire, nous avons considéré les réseaux dans lesquels SUEZ avait des contrats pendant la durée de la thèse (en gras dans le tableau - Figure 5.1).

Ces réseaux étaient, en plus de tout le territoire du Sénégal, principalement situés en Inde (Bangalore, New Delhi, Coimbatore, Davangere, Calcutta), au Mexique (Saltillo, Mexico), ou en

Algérie (Alger, Tipaza), et couvraient plusieurs types de contrats et d'interventions. Nous listons dans la suite (Figure 5.1) uniquement les contrats répertoriés. Les assistances techniques⁵⁸ permettent la couverture d'un territoire plus large.

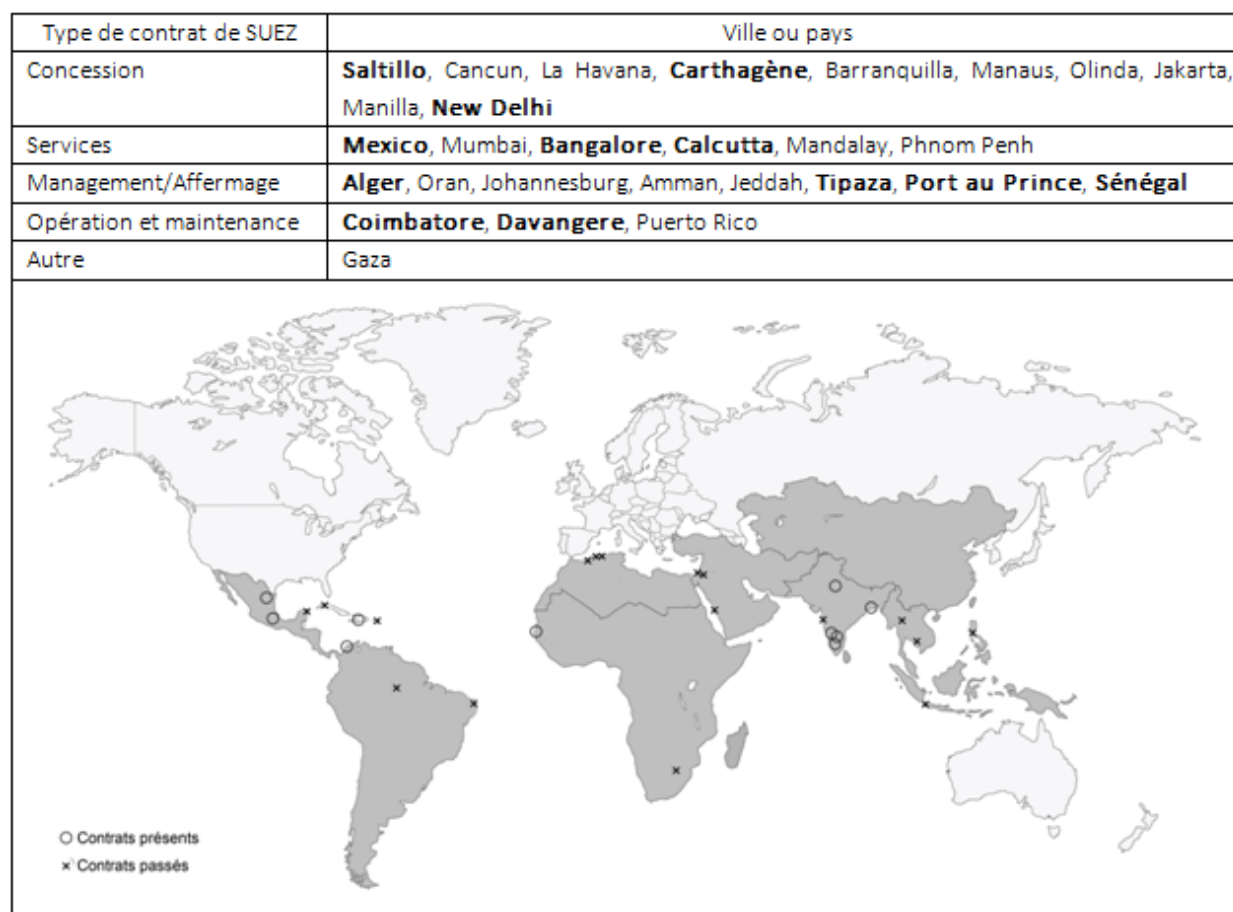


FIGURE 5.1 – Contrats de SUEZ entre 1994 et 2019 sur des réseaux d'eau en intermittence – Carte réalisée sur la base des informations fournies par le département Projet Eaux de SUEZ (2019) et superposées sur le fond de carte des régions du monde identifiées comme étant les plus impactées par l'intermittence par le groupe spécialiste sur l'intermittence de l'IWA (IWA IWS SG Newsletter (October 2020))

En partant des objectifs de l'étude et des méthodes d'investigation proposées *a priori* (tableau récapitulatif en Annexe 2), le choix s'est porté sur les deux réseaux d'Alger et de Tipaza en Algérie, pour les raisons suivantes :

- Alger était le seul contrat géré par SUEZ au moment de l'étude, où tout le réseau avait été converti en approvisionnement continu, ce qui présentait la meilleure possibilité pour

58. Les Assistances Techniques (AT) sont des missions ponctuelles qui consistent en la mise à disposition d'experts spécialisés auprès du client, dans le but d'établir ou optimiser l'efficacité de ses stratégies de développement qui sont en relation avec leur domaine d'expertise, et de guider la mise en œuvre de ses projets en renforçant leur impact, et en assurant leur suivi. [United Nations, 1949]

une analyse rétrospective.

- Tipaza et Alger sont deux périmètres limitrophes en Algérie, gérés par un même opérateur : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), suite à l'extension géographique du contrat de gestion. Un cadre d'examen des limites de duplication de la stratégie de gestion de la première zone vers la seconde offrait donc une opportunité d'investigation.
- La deuxième extension du contrat comportait une clause de transfert de savoir-faire de SEAAL à d'autres territoires en Algérie gérés par l'opérateur public. Cette clause ouvrait la possibilité d'enquêter sur d'autres réseaux dans un contexte culturel et environnemental comparable aux deux premiers, avec des manifestations de l'intermittence et un système de gestion différents.
- Il y a actuellement peu de littérature scientifique sur la gestion de l'alimentation en intermittence dans le contexte algérien. Les terrains généralement étudiés couvrent plutôt la Jordanie, l'Inde, l'Afrique Subsaharienne ou les pays d'Amérique latine. Le choix de terrains en Algérie pouvait donc présenter un apport à la littérature sur l'intermittence.
- Une raison plus personnelle et pratique liée au fait que je suis marocaine. Le Maroc étant un pays voisin de l'Algérie, qui est caractérisé par un dialecte⁵⁹, un contexte climatique et des environnements socioculturels comparables. Cette opportunité allait permettre une insertion plus rapide dans le terrain et un élargissement de la portée des échanges.

Finalement, au vu de la nature de l'entité d'accueil de la thèse, un choix de terrain en Algérie n'éliminait pas de fait l'examen d'autres réseaux. Des travaux d'analyse ont pu également être réalisés dans le cadre de missions ponctuelles en Inde. Ce choix replaçait plutôt le travail pour le positionner en tant que thèse ancrée dans le territoire algérien, avec une mise en perspective par rapport à d'autres cas et contextes.

59. La similarité entre les dialectes marocain et algérien a facilité les échanges qui n'étaient pas tous menés entièrement en français. Nous évoquons les dialectes plutôt que la langue, parce que bien que basés sur l'arabe, les dialectes marocain et algérien s'éloignent de l'arabe classique, si on les compare aux langues parlées dans les autres pays arabes.

5.2 Présentation de l'étude

Après le choix des terrains, la production des données empiriques pour la recherche exploratoire permettant d'évaluer notre hypothèse s'est déroulée en deux étapes :

- a. Une première mission a permis de recueillir des données qualitatives sur la base d'observations terrain et de mener une série d'entretiens semi-directifs auprès d'agents de SEAAL, de l'Algérienne des Eaux⁶⁰ (ADE), et d'usagers. Son objectif premier était la compréhension du contexte étudié, d'où le choix de la posture semi-directive, qui a été adoptée au vu de sa portée heuristique. La mission s'est déroulée à Alger et Tipaza entre le 21 avril et le 5 mai 2019.

Après une réunion qui s'est tenue avec la direction de l'entreprise, 16 entretiens ont pu être menés auprès d'agents et responsables de SEAAL, dont des algériens et des étrangers expatriés, employés de SUEZ. Ces échanges ont balayé différents thèmes, selon la spécialité des personnes interviewées. Une grille d'entretien (Annexe 4) globale a abordé les thématiques suivantes :

- L'historique de l'approvisionnement en eau ;
- La description du réseau et sa gestion technique ;
- La planification et la structure contractuelle ;
- La gestion économique ;
- La stratégie de communication ;
- La politique de gestion des ressources humaines ;
- La gestion clientèle et le volet social.

Puisque les personnes interviewées avaient des profils distincts, des schémas d'interrogation adaptés ont été faits pour chaque catégorie (Annexe 5). La figure suivante présente un exemple de schéma d'entretien adapté aux experts réseau (Figure 5.2). Les entretiens supplémentaires ont concerné les principaux interlocuteurs de l'opérateur :

60. L'ADE, créée par décret du 21 Avril 2001 et sous tutelle du Ministère des Ressources en Eau, est un établissement public national en charge des activités d'approvisionnement en eau potable en Algérie.

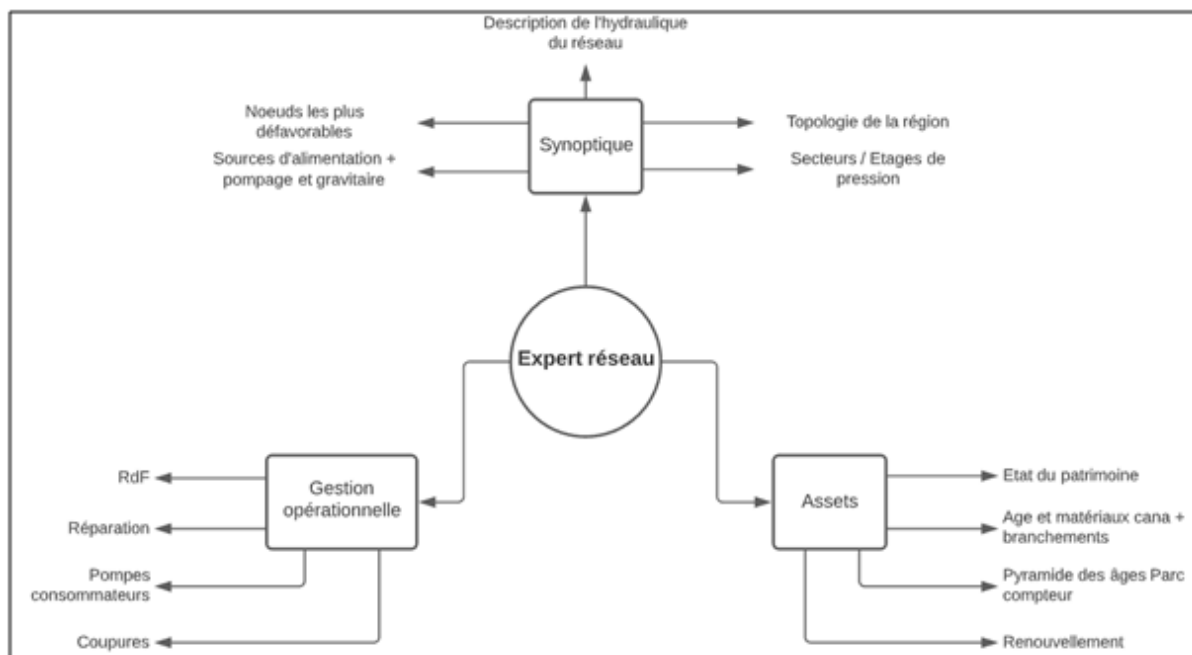


FIGURE 5.2 – Exemple de schéma d'interrogation adapté au profil de l'interlocuteur

1. Un responsable de l'Algérienne des Eaux (ADE) en tant que représentant du donneur d'ordre, avec lequel les thématiques évoquées précédemment ont été réexaminées.
2. 10 usagers finaux, avec des thèmes portant sur l'évolution de la situation de l'approvisionnement par réseau, les mesures d'adaptation adoptées, les usages de l'eau, la tarification, et la perception de la qualité de service.

Il est à noter que les deux premières catégories de personnes interviewées ont également ponctuellement pu s'exprimer en tant qu'usagers du service de l'eau. Leurs interventions ont donc été intégrées en complément de celles des usagers finaux interviewés.

Enfin, 3 sorties terrain (2 à Alger et 1 à Tipaza) ont permis d'observer des opérations de relève, de vannage et de remise en eau du réseau.

- b. La deuxième mission, prévue initialement entre le 7 et le 27 mars 2020 sur le terrain, a finalement été réalisée à distance. Ce changement a été imposé d'un côté par des contraintes sécuritaires liées aux mouvements sociaux qui ont marqué l'Algérie pendant la période de l'étude. Mais la raison principale était la situation sanitaire mondiale, qui a induit des fermetures des frontières et un confinement sur une longue durée.

L'échange a donc consisté en des entretiens téléphoniques auprès d'usagers et d'acteurs

étrangers à l'opérateur du réseau, entre le 9 mars et le 28 mai 2020. Les échanges avec les usagers, qui constituaient un second passage qui a suivi l'étape d'analyse et d'interprétation des données des entretiens réalisés lors de la mission 1, ont essentiellement pris la forme de questions directives pour le renseignement d'un questionnaire (Annexe 6), suivies de questions ouvertes autour de l'évaluation de la qualité de service. Les entretiens des acteurs alternatifs (plombiers, fournisseurs), étaient semi-directifs, au vu du caractère exploratoire et de l'intention d'objectivité associée à l'étude de cette catégorie d'acteurs nouvellement examinée (Annexe 7). Cette étape a permis de couvrir une population de 111 usagers, 2 plombiers, et un agent terrain de l'opérateur.

L'analyse des résultats de cette enquête terrain s'est ensuite faite à la lumière des constats d'anomalies et de difficultés de prises en main de nouveaux contrats de gestion des réseaux d'eau en intermittence, exprimés par des représentants de la direction des projets eau de SUEZ. Cette analyse a été ensuite comparée à des résultats d'évaluation de la qualité de service constatés dans le cadre d'une mission terrain, déclinées en plusieurs interventions ponctuelles pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau à Annaba (17 jours entre le 9 octobre 2019 et le 9 janvier 2020), qui fait partie des quatre grands réseaux algériens pour lesquels le partenariat public privé a été stoppé en début de contrat, notamment avec l'entreprise allemande Gelsenwasser dans le cas de Annaba. Ce réseau est actuellement géré publiquement par l'ADE (Algérienne des Eaux), organe représentant le gouvernement algérien pour assurer l'approvisionnement en eau sur le reste du territoire de l'Algérie, que nous placerons au sein de l'organisation du secteur de l'eau en Algérie dans la suite. SUEZ est intervenue dans ce réseau le cadre d'une mission de transfert de savoir-faire, qui a concerné plusieurs villes algériennes.

5.3 Présentation des terrains

5.3.1 Généralités sur le secteur de l'eau en Algérie

5.3.1.1 Organisation territoriale

L'organisation de l'Algérie en collectivités territoriales s'établit selon deux niveaux officiels de subdivision : la wilaya et la commune [article 16 de la constitution, révision 2016]. La wilaya est une institution constitutionnelle, collectivité territoriale décentralisée qui a un territoire, un nom et un chef-lieu, elle comprend généralement plus d'une ville, regroupe plusieurs communes, et son nom s'assimile à celui de sa ville chef-lieu.

Depuis la parution de la loi n°19-12 du 11 décembre 2019, le territoire algérien est organisé selon 58 wilayas. Cette loi a changé la répartition de la loi n°84-09 du 4 février 1984 qui la précédait, où les wilayas étaient au nombre de 48. Les principales modifications ont concerné des circonscriptions administratives du Sud qui sont alors devenues des wilayas à part entière (Figure 5.3).

Ces wilayas sont subdivisées administrativement en daïras. La daïra est une entité uniquement administrative qui constitue le cadre territorial qui englobe deux à plusieurs communes. Elle est assimilée à un service externe de la wilaya qui assiste les communes qu'elle englobe dans leurs missions, et représente la wilaya à leurs niveaux.

L'Algérie compte actuellement 227 daïras et 1541 communes. Les wilayas algériennes sont très disparates en termes de nombre de communes ou daïras, de population, et de superficie. S'étendant sur 1190 km², la wilaya d'Alger est celle avec la plus faible superficie, mais la quatrième en termes de nombre de communes (57), et est de loin la wilaya la plus peuplée du pays (plus de 3 millions d'habitants en 2015 - estimation de plus de 4 millions d'habitants en 2019).

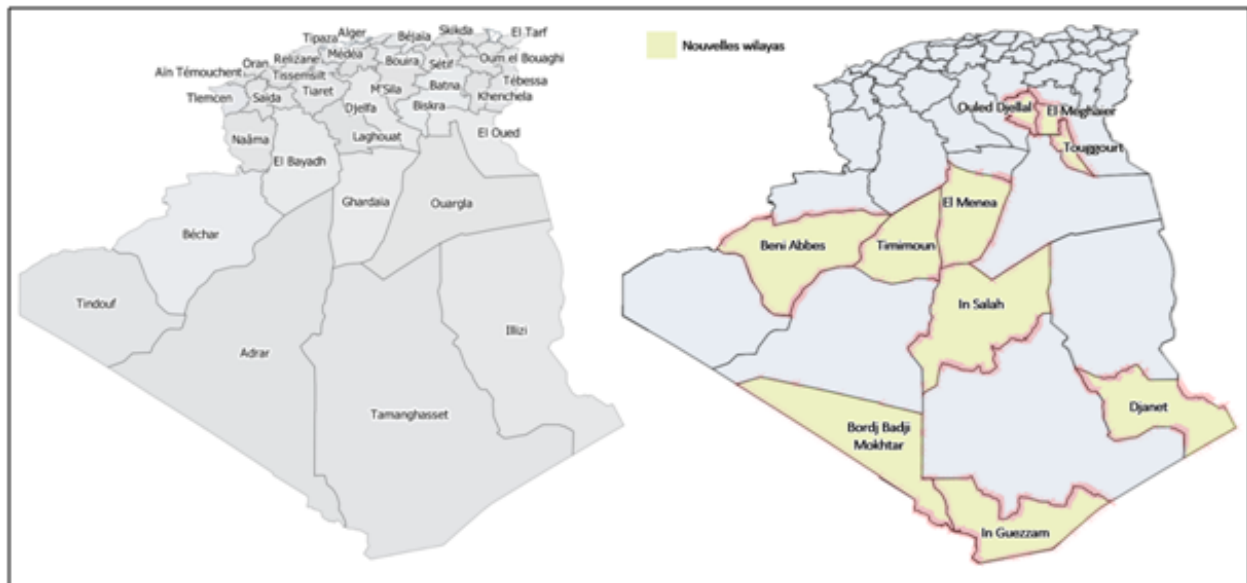


FIGURE 5.3 – Evolution de la subdivision administrative en wilayas de l'Algérie en 1984 (gauche) et 2019 (droite) – extraites de bases de données publiques (https://gadm.org/download_country.html pour la répartition en 48 wilayas et requête sur Open Street Map pour la subdivision en 58 wilayas)
Source : *Elaboration propre*

5.3.1.2 Organisation du secteur de l'eau

Le secteur de l'eau en Algérie est actuellement centralisé. Le ministère des ressources en eau (MRE) est responsable de la politique nationale de l'eau sur toute la chaîne d'approvisionnement. Ceci inclut la planification des aménagements et des investissements, l'établissement de programmes de développement et la régulation des services publics liés à l'eau et à l'assainissement, ainsi que la réglementation. Les attributions du MRE sont portées au niveau local par la Direction de l'hydraulique de la Wilaya (DHW) qui gère le domaine hydraulique public. Les DHW, une par wilaya, sont organisées en services et en subdivisions territoriales.

Les DHW sont chargées de la maîtrise d'ouvrage des projets hydrauliques déconcentrés et de la maîtrise d'œuvre des projets décentralisés au niveau communal. Les DHW assurent le contrôle de l'application des lois, et de l'exploitation du domaine public hydraulique.

Les municipalités avaient, quant à elles, jusqu'en 2001 la responsabilité d'assurer les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement au niveau communal. Cette mission était confiée à des régies ou des délégations publiques, jusqu'à la création par décret de l'Algérienne

des Eaux (ADE), qui est un organisme public sous la tutelle du MRE. L'ADE assure depuis cette date une gestion centralisée des services de l'eau de toutes les communes d'Algérie : l'Office national d'assainissement (ONA) assure la même fonction au niveau de l'assainissement [Benblidia and Thivet, 2010].

La publication de la loi sur l'eau de 2005 a permis une ouverture contrôlée du secteur de l'eau sur l'intervention du privé, avec l'objectif d'améliorer la performance de l'offre en eau. Quatre partenariats public-privé aux schémas contractuels comparables ont été conclus avec les sociétés suivantes : SUEZ (alors Suez environnement, France), Agbar (Barcelone, Espagne), Gelsenwasser (Allemagne), et La société des eaux de Marseille (France), respectivement pour les villes d'Alger, Oran, Annaba et Constantine [Aroua, 2012].

Le schéma suivant (Figure 5.4) décrit l'organisation de la gestion de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement dans le cadre de ces partenariats, avec pour illustration le cas de SEAAL :

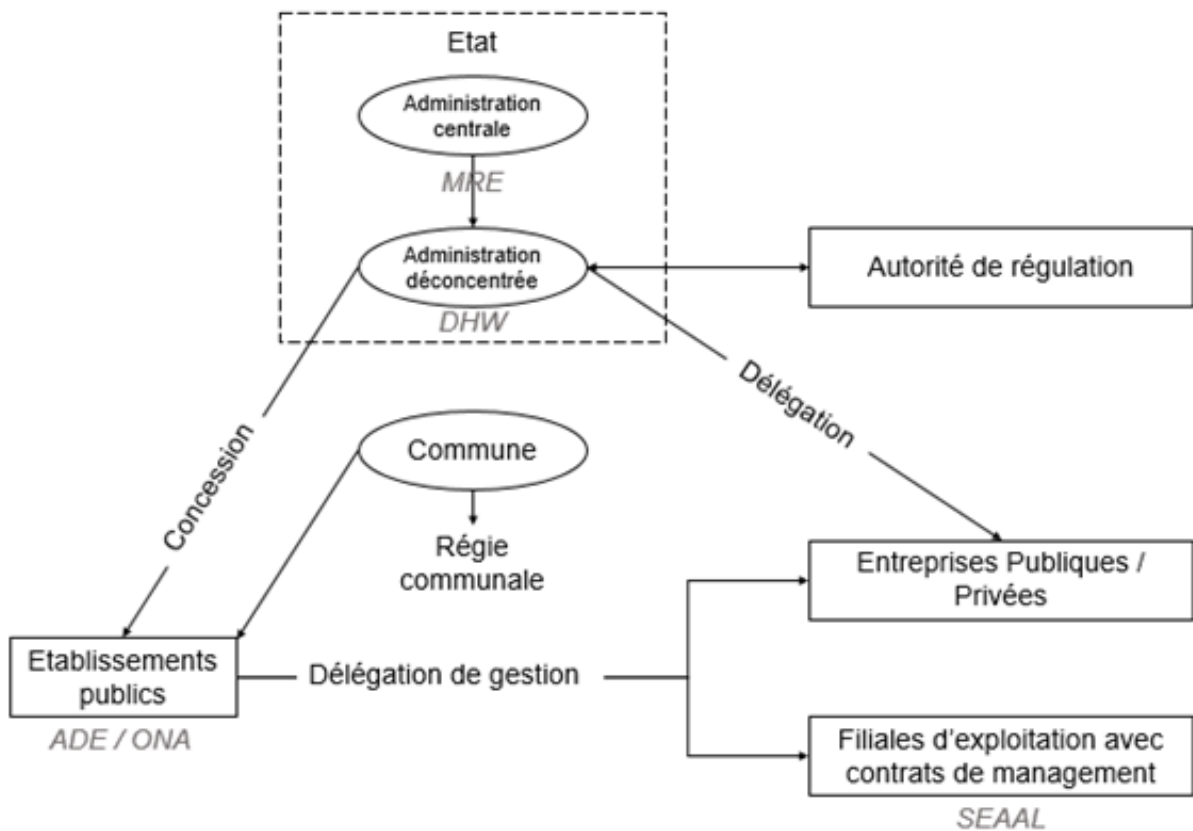


FIGURE 5.4 – Organisation de la gestion AEP-Assainissement en Algérie, schéma adapté d'une présentation du MRE (2012)

Le partenariat avec SUEZ a donné lieu à la création de SEAAL en 2006, en tant que concessionnaire des services de distribution d'eau et d'assainissement sur le périmètre de la wilaya d'Alger. SEAAL est ainsi une entreprise algérienne, dont les deux seuls actionnaires sont l'ADE et l'ONA [1er contrat SEAAL, 2006]. Le partenariat avec SUEZ, qui a été défini comme un contrat de management, porte sur une mise à disposition de l'expertise et un transfert de connaissances de SUEZ vers SEAAL. La rémunération de SUEZ se faisant sur la base d'un forfait annuel. Le contrat avec SUEZ (que nous noterons SEAAL 1) avait été initialement conclu sur une durée de 5 ans, il a ensuite été prolongé en 2011 d'abord sur le même périmètre, puis en incluant en 2012 la wilaya de Tipaza (SEAAL 2), une deuxième prolongation s'est faite en 2016 (SEAAL 3), puis une troisième et dernière en 2018 (SEAAL 4). Le partenariat a pris fin en août 2021.

5.3.2 Alger

5.3.2.1 Référence de l'analyse rétrospective

Avec 5000 km de canalisations et 730 000 branchements, le réseau d'eau d'Alger, la capitale de l'Algérie, alimente 57 communes et plus de 4 millions d'habitants, et est le plus important du pays. La wilaya d'Alger souffre aujourd'hui encore, à l'image de l'Algérie, d'un stress hydrique confronté à une croissance démographique et une densification urbaine importantes qui exercent une forte pression sur des ressources rares.

Pour Alger, cette situation de stress au niveau des ressources est très récurrente malgré les efforts qui ont été déployés pour la sécurisation de l'approvisionnement en eau de la ville. Après la parution de la première loi sur l'eau du pays en 1983, le gouvernement algérien avait obtenu un prêt auprès de la banque mondiale en 1984, pour le financement du barrage de Keddara, de la station de traitement en eau potable de Boudouaou, et du système de transfert principal qui liait Keddara et Boudouaou à la ville d'Alger [Wilson, 1984].

Vers la fin des années 1990, une crise de sécheresse aiguë avait précipité l'assèchement de ce barrage, qui était la principale source d'approvisionnement d'Alger en dehors des forages situés

dans l'enceinte de la ville, eux-mêmes étant par ailleurs concernés par les menaces de pollution et d'abaissement de la nappe souterraine surexploitée. Cette situation qui a perturbé davantage un approvisionnement initialement intermittent, a engendré des contestations de la part de la population. Afin d'y faire face, les autorités algériennes ont acquis de nouvelles ressources, et financé un contrat de gestion avec un programme d'investissement pour l'amélioration des infrastructures, qui a été confié à SEAAL en 2006. Ce contrat a ensuite été prolongé à deux reprises, en augmentant son périmètre et en intégrant de nouveaux enjeux. Un de ces enjeux a notamment été le transfert du savoir-faire acquis par l'expérience algéroise, sur le reste des réseaux d'eau du pays, restés sous le système de gestion de l'ADE.

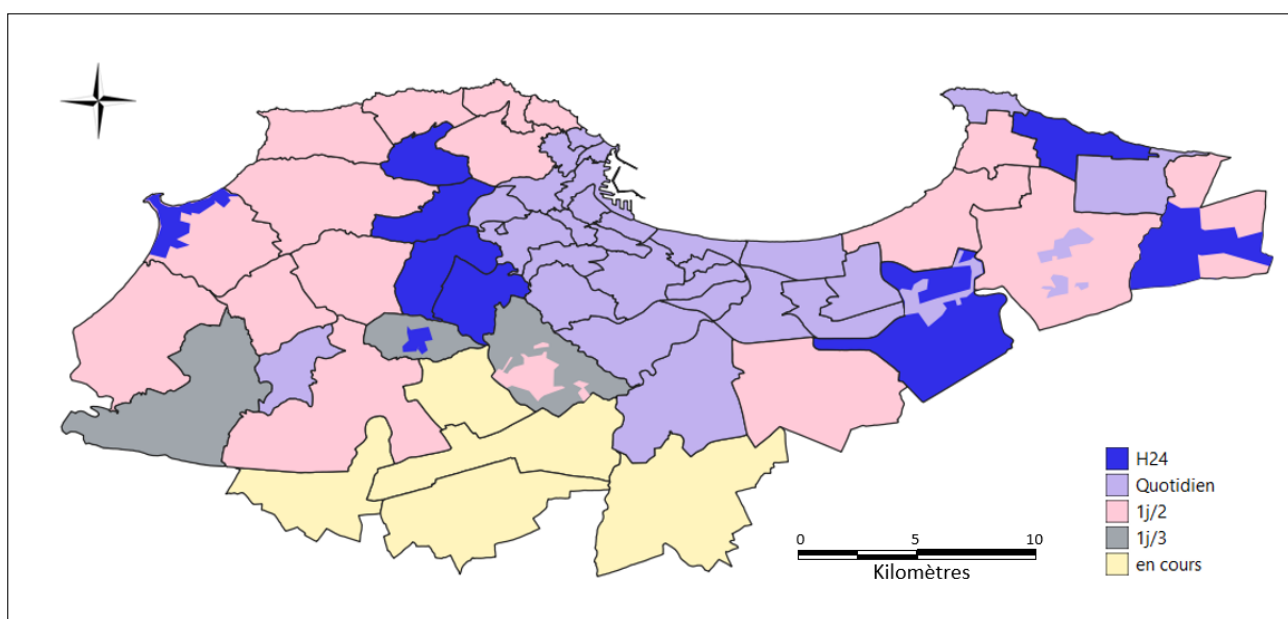


FIGURE 5.5 – *Etat de la desserte en eau sur la Wilaya d'Alger en mai 2006 - Extrait du premier rapport annuel de SEAAL*

L'objectif principal du contrat de 2006 était d'assurer, à l'horizon de septembre 2009, un approvisionnement continu en eau de qualité répondant aux normes de l'OMS, en partant d'une situation initiale de 6% du réseau en H24 (Figure 5.5).

La première étape de la prise en charge du contrat a été l'établissement d'un diagnostic de la situation, en révélant les facteurs, outre la pénurie des ressources, qui ont prévenu la continuité de l'approvisionnement. Cette phase a permis de circonscrire les causes principales de l'approvisionnement intermittent dans le réseau d'Alger aux éléments suivants : La rareté des ressources, l'usure des infrastructures et l'absence de procédures opérationnelles adéquates

pour la maintenance du système de distribution. Celles-ci correspondent aux trois catégories d'éléments déclencheurs que nous avons répertoriées auparavant. Ces obstacles devaient être surmontés afin d'assurer la continuité de l'approvisionnement.

Alger a atteint la continuité de service en 2010 sur tout le territoire de la wilaya, mais malgré ce succès, l'équilibre entre la ressource et la demande en eau de la Wilaya en 2020 était fragile et facilement menacé : avec une demande sans cesse grandissante et une ressource en amenuisement. Le risque d'un retour à l'alimentation intermittente sur les réseaux de l'Ouest d'Alger, qui connaît un développement urbain très important, était imminent⁶¹.

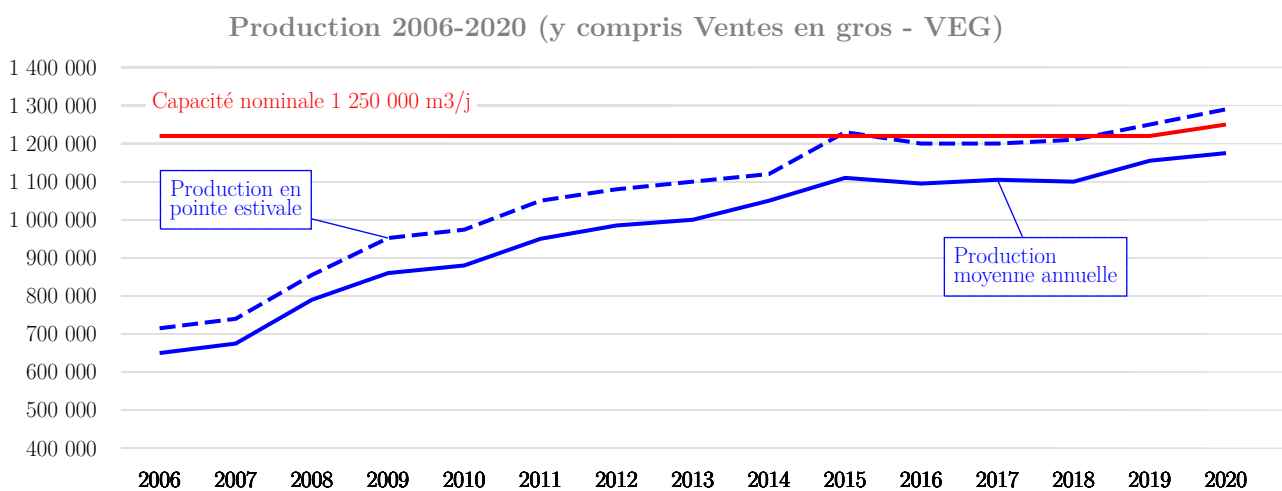


FIGURE 5.6 – Projection de la production d'eau sur le périmètre de la Wilaya d'Alger en 2020

Source : Réunion technique de gestion de crise SEAAL

5.3.2.2 Evolution de l'approvisionnement

Nous déclinons l'offre en eau à Alger en trois temps : Avant l'arrivée de SEAAL et l'établissement du H24 (offre historique) et après l'arrivée de SEAAL, y compris l'implémentation du H24, puis la dégradation de l'offre, jusqu'à la fin du contrat en 2020. Cette description est alimentée d'extraits d'entretiens menés avec les opérateurs de SEAAL.

a) Avant le H24

61. En 2021, la production nominale a été dépassée (Figure 5.6), et malgré une réallocation d'une partie des ressources de Tipaza, une grande partie du réseau d'Alger a rebasculé en intermittence.

Dans les années 1990, l'approvisionnement en eau à Alger - qui s'étendait sur un territoire plus restreint - connaissait un rationnement inégal d'un quartier à l'autre. La durée d'approvisionnement annoncée par EPEAL (Entreprise de production de gestion et de distribution d'eau d'Alger) était de 6 heures à 10 heures par jour, mais certains quartiers notamment au niveau du vieil Alger centre, à la Casbah, n'avaient pas l'eau plus d'une heure [Chikhr Saïdi, 1997]. Ensuite, la crise de sécheresse des années 2000 a eu lieu, et l'approvisionnement a évolué en conséquence selon un programme de distribution implémenté par l'opérateur. Les fréquences qui étaient quotidiennes auparavant étaient devenues de 1 jour sur 2 à 1 jour sur 3⁶², pour des plages d'approvisionnement de 4 à 5 heures, majoritairement pendant la nuit.

« En 2002 il y a eu une sécheresse et donc les quantités d'eau stockées et mobilisés dans différents barrages et les niveaux d'eau dans les nappes souterraines étaient insuffisantes pour alimenter quotidiennement les habitants d'Alger. Donc il y a eu un programme de distribution. Il fallait dans quelques zones alimenter un jour sur deux et même un jour sur 3. Tout dépend de la zone et de la proximité de la ressource. [...] C'était un programme qui était déjà proposé par la direction de la distribution, et qui a été partagé avec les directeurs de l'époque, et qui est même divulgué au ministère. Et n'oublions pas qu'il y a des quartiers sensibles, qui sont les quartiers VIP, et en nombre de population aussi, à la demande aussi, parce qu'il faut élargir pour toucher tout le monde. Donc en fonction de tous ces paramètres-là, on a mis en place ce programme de distribution qui n'est pas équitable partout. »

[Responsable à la direction technique de SEAAL, 20 ans de service dans la gestion de l'eau d'Alger et Tipaza, 27/04/2019]

La distribution était toujours inéquitable, et des quartiers, notamment ceux d'Alger centre, devaient être alimentés par les quelques camions citernes dont disposait l'opéra-

62. Selon les déclarations de l'opérateur. Des fréquences qui pouvaient aller jusqu'à un jour sur 5 ont été décrites par les usagers.

teur. Les agents en charge de l'ouverture et la fermeture des vannes suivaient un parcours tracé, à des heures fixées, selon le programme établi par la direction de distribution.

« Il y en a 11⁶³ [vannes], 22 manœuvres [...] l'organisation comment elle se faisait : Le soir tiercer [fermer presque entièrement] les vannes au maximum sans les fermer totalement, et tôt la matinée à 6h du matin 7h du matin les rouvrir [...] même la journée on ne voulait pas une ouverture totale ces vannes là on les ouvre à un certain réglage [...] pour éviter, en général, d'arriver à 7 bars dans le réseau. [...] comment se faisait l'ouverture et la fermeture ? Ce n'était pas au même moment qu'on fermait les 11 vannes [...]. Nous avons dans tous les centres des équipes de permanence de nuit, [...] avec un fourgon, trois ouvriers dans un véhicule, [...] de 19h à 21h [...] ils commencent par l'orifice le plus proche des centres, ils arrivaient au niveau des vannes, ils commençaient à fermer [...]. Mais pas totalement, ils laissent ouvert un tour ou deux tours. Chaque vanne avait son réglage. C'est selon la différence de côte entre le trop plein du réservoir et le point le plus bas desservi. »

[Agent de terrain, affecté au même centre de distribution depuis l'ère de la SEDAL, l'EPEAL et l'arrivée de SEAAL, 25/04/2019]

Lorsque SEAAL a pris en main la gestion du réseau en 2006, que les nouvelles ressources ont été acquises, l'élargissement des tranches d'approvisionnement est devenu possible.

« [...] Sur cette période-là on n'avait fait qu'améliorer, et distribuer un peu plus, élargir un peu les tranches horaires de distribution et pas plus »

[Responsable à la direction technique de SEAAL, 20 ans de service dans la gestion de l'eau d'Alger et Tipaza, 27/04/2019]

b) *Avènement du H24*

63. 11 vannes à manœuvrer pour un centre de distribution pris en exemple parmi les 12 centres de distribution d'Alger

Lors de la création de SEAAL, l'objectif ultime était l'atteinte du H24. Pour y parvenir, la transition s'est faite commune par commune, en fonction de la disponibilité des ressources, l'avancement dans la réhabilitation des ouvrages et du transfert, et pour certaines zones, la modulation de pression.

Encadré : Actions principales accompagnant la transition vers le H24 (Source : 5 premiers rapports annuels de SEAAL).

- Juillet 2006 : Réhabilitation de 19 forages, et mise en service de l'adduction de la chaîne côtière. Passage en H24 de Zeralda, Staoueli et Aïn Benian ;
- Août 2006 : Amélioration de la desserte chaîne des hauteurs. Passage en H24 de Cheraga, El Achour et Dely Brahim partiellement. Fiabilisation et simplification du plan de desserte : passage de 150 à 80 vannes manœuvrées quotidiennement ;
- Octobre 2006 : Pollution accidentelle du champ captant Baraki par les hydrocarbures ;
- Décembre 2006 à Avril 2007 : Mise en place de la gestion préventive de la sécheresse : prise inférieure à 250 000 m³/j à Keddara). Les communes bénéficiant de la desserte H24 reviennent à la desserte quotidienne ;
- Juin 2007 : Forte progression des ressources souterraines avec 318 000m³/j, un parc de 216 forages et un taux de disponibilité supérieur à 92 % ;
- Décembre 2007 : La modulation de pression à Hussein Dey permet un passage au H24 à plus de 40 000 usagers sans augmenter la ressource ;
- Février 2008 : Arrivée des nouvelles ressources : Mise en service de la SDEM du Hama au débit de 70 000 m³/j et du barrage de Taksebt au débit de 70 000 m³/j à partir du 24 février. L'acquisition de ces ressources a permis l'amélioration de la desserte : avec 46 % de la population en H24 et 38 % au quotidien, la préservation des ressources souterraines avec une nappe qui s'affaissait et le maintien du barrage de Keddara comme une réserve de sécurité ;
- Mai 2008 : 61 % de la population est desservie en H24 dont les nouveaux secteurs de la Casbah et du bas Bab El Oued, grâce à la modulation de pression ;
- Juin 2008 : Perturbations de l'alimentation en électricité de l'ouest de la Wilaya d'Alger. Conséquences sur la continuité de service et la dégradation des équipements. 231 forages sont désormais fonctionnels avec un taux de disponibilité de 93 % ;
- Juillet 2008 : Perturbations significatives de la distribution d'eau dans l'Est de la Wilaya suite à l'augmentation de la consommation estivale (El Marsa, Bordj El Bahri, Bordj El Kiffan, Aïn Taya sont revenues à la distribution quotidienne)., et sur la chaîne des hauteurs suite aux disjonctions électriques répétées et à la casse d'un groupe de pompage ;
- Desserte en H24 de la zone littorale Nord de la Wilaya : près de 100 000 habitants desservis H24 dans les communes Hammamet, Rais Hamidou et Bologhine ;
- Août 2008 : Alimentation du littoral Nord-Ouest par la chaîne côtière : 100 000 habitants des communes de Bouzareah et Beni Messous sont alimentées en H24. Ouled Fayet bénéficie d'une desserte quotidienne grâce au réservoir de Douera de 5 000 m³ ;
- Avril 2009 : Mise en service de la station de pompage Zeralda ;

- Juin 2009 : Dégradation de la desserte H24 (qui passe de 85,5 % à 83,5 %) à cause des lourdeurs du Code des Marchés Publics ;
- Octobre 2009 : Liaison SPIK / Haouch et passage de Felit Eucalyptus en H24 ;
- Décembre 2009 : Booster Ouled Fayet, modulation de pression Boulogne Fort Empeur, Groupe électrogène Ouled Belhadj ;
- Janvier 2010 : Achèvement de la modulation de pression ;
- Février 2010 : Passage Had Yacoub et Dekakna en H24, et passage de Sidi Moussa en approvisionnement quotidien. Record de production en eaux souterraines au mois de février avec une production moyenne de 287 000 m³/j et une pointe à plus de 317 000 m³/j (arrêt du SAA) ;
- Avril 2010 : L'atteinte de la desserte AEP en continu « H24 » de l'ensemble de la Wilaya d'Alger a été actée le 22 avril 2010 conjointement par la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya et par SEAAL.

La figure suivante (Figure 5.7) trace l'évolution de la transition vers le H24 et de l'approvisionnement au quotidien au niveau de la wilaya d'Alger. Les cartes illustrent de manière plus large l'évolution de la fréquence de la desserte, entre 1 jour sur 3, 1 jour sur 2, une desserte quotidienne, du quotidien élargi ou étendu, et enfin le H24 qui a été atteint sur toute la wilaya d'Alger le 22 avril 2010.

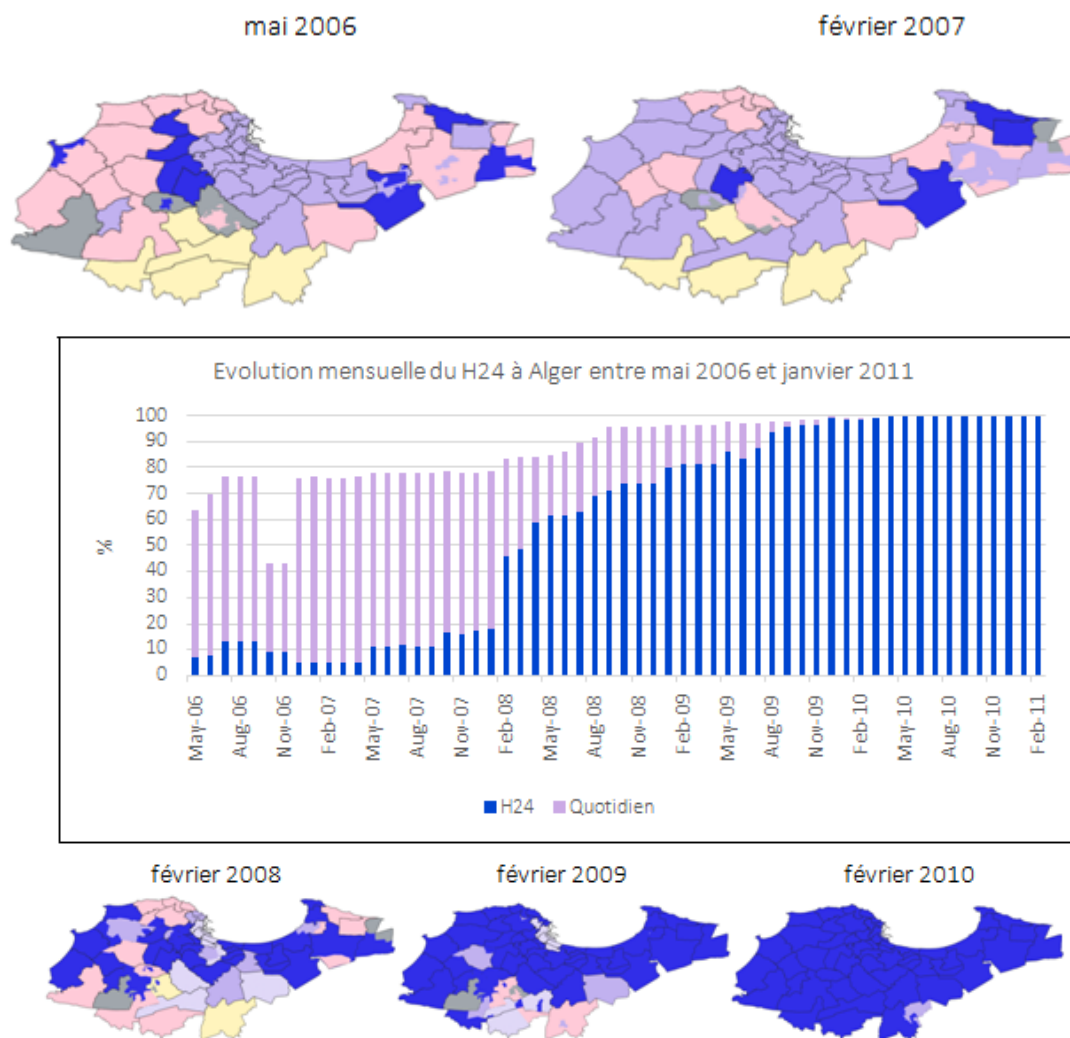


FIGURE 5.7 – Evolution mensuelle et spatiale du H24 à Alger entre mai 2006 et janvier 2011, élaborée à partir des données de SEAAL⁶³

c) **H24 « fragile » et retour en intermittence**

« SEAAL2 c'était pour conforter le H24 parce que par endroits on a du H24 relativement fragile dans certains quartiers, il a fallu que l'on porte des études poussées à accorder et mobiliser de nouvelles ressources pour conforter le H24 »

[Responsable de l'ADE, ancien responsable de la DRE de la wilaya d'Alger, 30/04/2019]

Depuis le passage en H24, les besoins en eau d'Alger n'ont cessé d'augmenter en raison des importants programmes de logements inscrits à travers tout le territoire de la Wilaya (Figure 5.8). Cette demande grandissante face à un réseau initialement très dégradé et

très sollicité, a rendu le maintien du H24 atteint en 2010 une véritable épreuve. De ce fait, la « sécurisation » de la continuité de service était l'objet du deuxième contrat de SEAAL.

Le troisième contrat de SEAAL était axé sur la transmission du savoir-faire, mais la sécurisation était toujours l'objectif principal vers lequel les efforts de l'opérateur étaient dirigés, notamment à travers la protection de ce qu'ils appelaient la « 5^{me} ressource » que sont les eaux non facturées [encadré chapitre 6]. La réduction des pertes physiques, notamment, était le levier d'action retenu dans la tentative d'équilibrer l'équation des besoins/ressources dans le cadre d'une politique toujours basée sur l'offre, où la ressource se faisait de plus en plus rare face à une demande en croissance.

« Ce contrat actuellement [SEAAL3] [...] est toujours dans la sécurisation, et on continue à travailler sur la sécurisation, sur la sécurisation et la réduction des pertes »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Dans la considération de la dégradation de la continuité de service, il convient cependant de distinguer deux époques : entre 2010 et 2020, puis à partir de l'été 2020.

La crise de sécheresse survenue à l'été 2020 a aggravé un équilibre besoin/ressource originellement délicat, avec les barrages de Keddara et Taksebt, qui assurent plus du tiers des ressources de la ville, arrivant à leur niveau le plus bas depuis 6 ans.

De ce fait, la situation en 2020 était critique. Cet inconfort a poussé SEAAL à proposer plusieurs actions afin de couvrir un déficit estimé à 185 000 m³⁶⁴. Parmi les actions

64. Les actions proposées par SEAAL ont porté sur plusieurs points : booster les forages, assurer un transfert supplémentaire depuis la SDEM de Fouka vers Alger, au détriment de Tipaza, réduire les pressions de nuit sur les zones régulées, poser des limiteurs de débits chez les gros consommateurs, booster la réutilisation des eaux usées par les industriels, ainsi qu'une communication et sensibilisation ciblée, avec des propositions de hausse tarifaire pour réduire la demande, et finalement les coupures nocturnes dans les secteurs les plus fuyards. Certaines propositions, comme l'adaptation tarifaire et la communication autour des coupures, ont été refusées par les autorités algériennes.

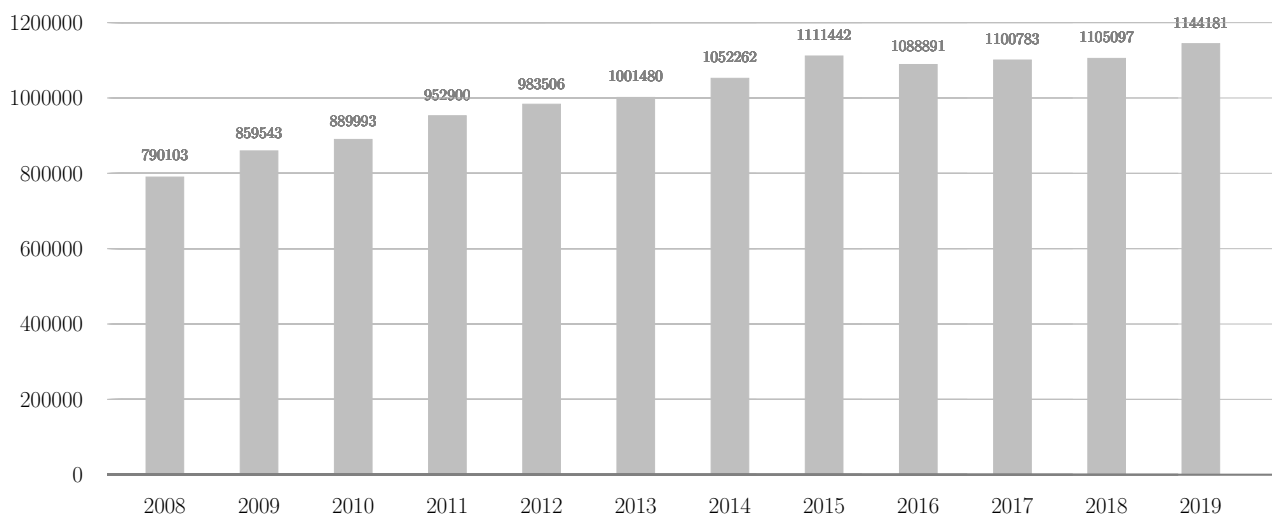


FIGURE 5.8 – Evolution des besoins en eau de la wilaya d'Alger entre 2008 et 2019
Source : SEAAL

retenues, toujours dans une optique de réduction des pertes, figurait le recours à l'instauration de coupures d'eau. Sur 125 des 235 secteurs hydrauliques du réseau, toutes les nuits l'eau a été coupée de 22h à 5h par phases progressives depuis septembre 2020 (Figure 5.9). Ces coupures ont été dimensionnées pour récupérer théoriquement 80 000 m³/j. Et ce retour vers une intermittence « non déclarée » était destiné à s'étendre en temps et en espace pour faire face au manque constaté⁶⁵.

65. Les volumes mis en distribution sur Alger en 2019 s'élevaient à 1,144 Mm³/j, pour 0,643 Mm³/j facturés. Les pertes s'élevaient donc à environ 500 000 m³/j. Ces pertes ne sont pas uniquement des pertes physiques, mais incluent également des pertes apparentes, qui sont donc des volumes consommés mais non facturés. En prenant une hypothèse d'une répartition égale entre pertes physiques et apparentes, on obtiendrait un volume journalier de fuites de l'ordre de 250 000 m³/j.

L'objectif de 80 000 m³/j représentait plus de 30% de ce volume, ce qui n'est pas réaliste; cela semble un objectif très ambitieux via ce seul moyen d'action. En effet, des coupures nocturnes uniquement n'ont qu'un impact temporaire sur la durée d'écoulement des fuites (6h maximum, soit 25% de la durée totale). A moins d'allonger la durée de coupure ou d'étendre les coupures à l'ensemble du réseau, il semble donc difficile d'atteindre cet objectif dans l'absolu. (Source : Rapport de mission d'Assistance Technique de SUEZ pendant la crise de sécheresse – aout 2020)

Un programme de distribution a été instauré en 2021, annonçant des horaires de distribution de 23h à 8h pendant le mois de jeûne du Ramadan, puis de 8h à 20h le reste de l'année. Ces durées ont ensuite été rétrécies à une moyenne de 6h par jour, avec des fréquences quotidiennes ou de un jour sur deux. Certaines communes étaient concernées par un programme dit « hybride », entre les deux⁶⁶ (Figure 5.10).

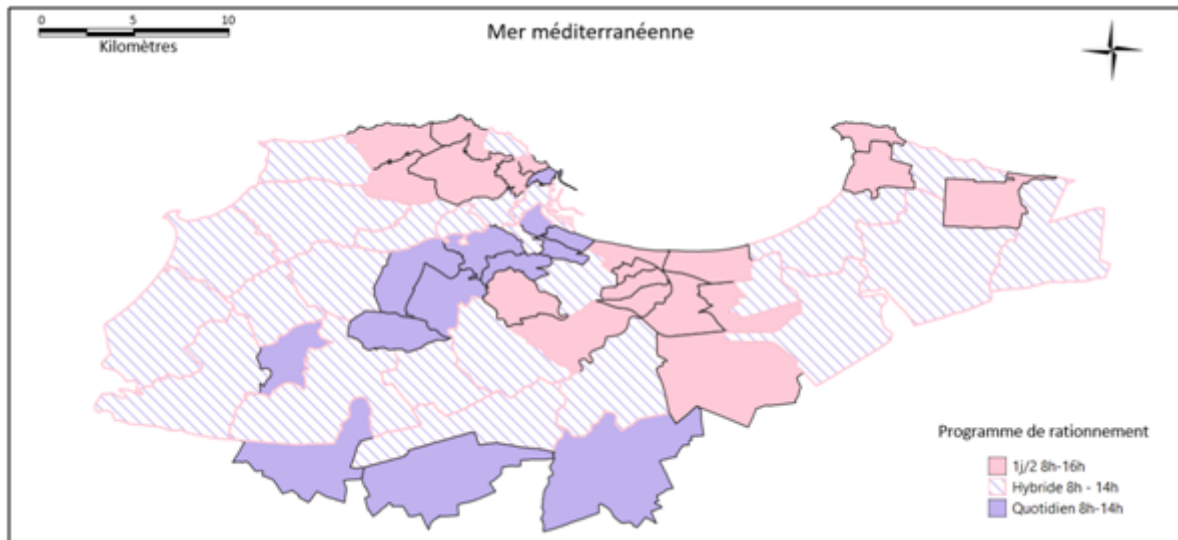


FIGURE 5.10 – Programme de rationnement annoncé par SEAAL en juin 2021
 Source : *Elaboration propre, à partir des informations disponibles sur un article d'El Watan du 28 juin 2021, disponible sur : <https://www.elwatan.com/regions/centre/alger/le-programme-durgence-entre-en-vigueur-28-06-2021>*

Le programme a donc été un retour vers l'intermittence, vers une situation d'apparence comparable à la situation de 2007, si ce n'est qu'elle est mieux répartie en termes de fréquence d'approvisionnement au vu de l'absence des dessertes à deux ou trois jours d'intervalle.

5.3.3 Tipaza

5.3.3.1 Contraintes de duplication de la démarche Alger

La wilaya de Tipaza (670 000 habitants, 28 municipalités) située à l'ouest d'Alger, a été ajoutée au périmètre du contrat de gestion de SEAAL en 2012. Elle est située sur le littoral

66. Tantôt en approvisionnement quotidien et tantôt en approvisionnement 1 jour sur 2

Nord Centre du pays. Elle est limitée par la méditerranée au Nord. Son Chef-lieu est situé à 69 km à l'ouest d'Alger.

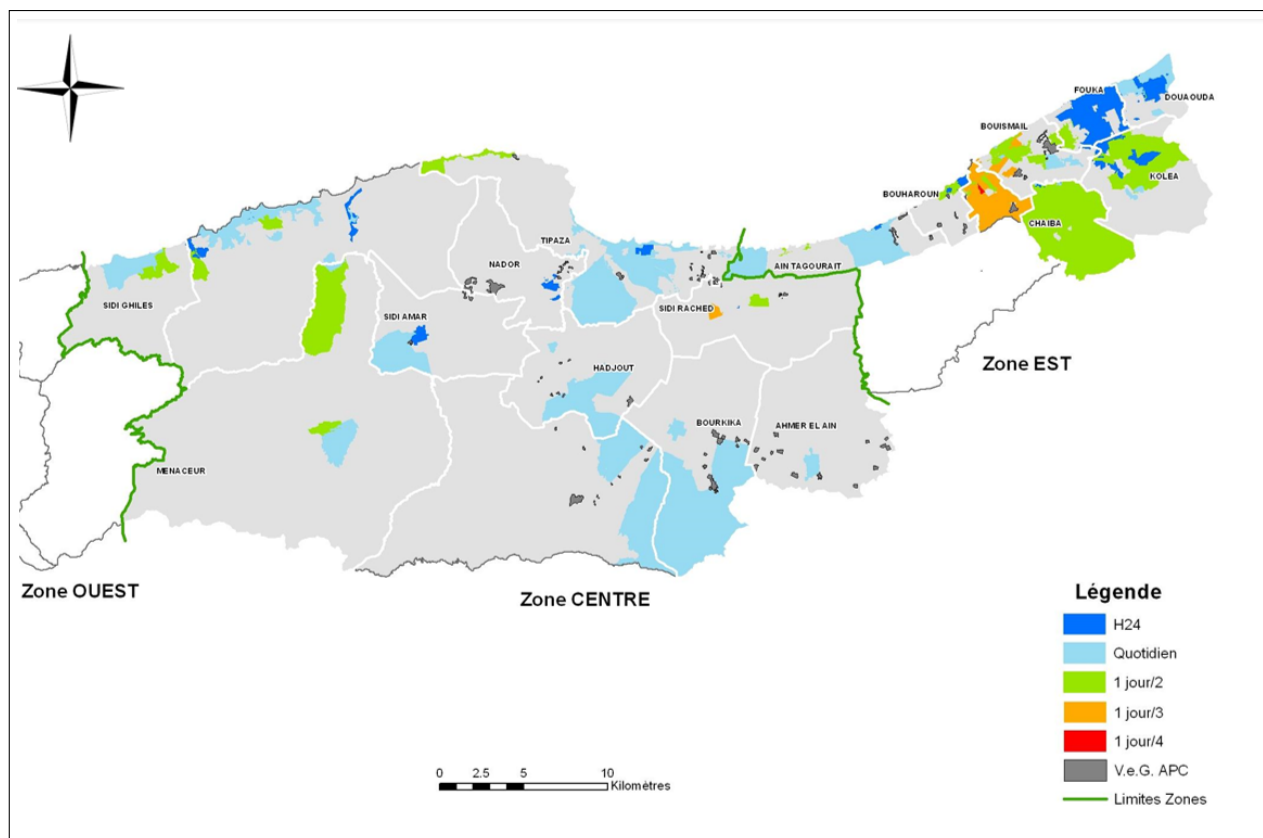


FIGURE 5.11 – *Etat de la desserte en eau dans la Wilaya de Tipaza (V.e.G : Ventes en gros)*
Source : Rapport Annuel de SEAL de 2012

La production d'environ 120 000 m³/j de l'usine de dessalement de Fouka, située à la limite de la Wilaya d'Alger, est divisée à part égale entre l'ouest d'Alger et Tipaza, et s'ajoute aux ressources locales de cette dernière. Mais l'usine ne tourne pas toujours à pleine capacité, et la part de la production effectivement envoyée vers la Wilaya de Tipaza est souvent inférieure à la moitié prévue.

Contrairement à Alger, la disponibilité des ressources nécessaires pour couvrir l'approvisionnement continu n'était pas totalement assurée avant l'intervention de l'opérateur.

La ressource en eau potable disponible dans la Wilaya de Tipaza était, et reste aujourd'hui insuffisante pour faire face à la demande estivale ; l'intermittence de l'alimentation y est la règle en été, et avec le développement urbain, elle est maintenant aussi pratiquée en hiver, même sur les zones qui ont été théoriquement converties en approvisionnement continu.

Dans la partie ouest de la Wilaya de Tipaza, des investissements étaient prévus par les autorités algériennes (DHW) lors de la prise en main du contrat. Ces investissements, qui sont liés à la mise en service de nouveaux barrages, devaient encore être réalisés en 2020, alors que le contrat n'a pas été renouvelé. Ils sont nécessaires pour que les ressources disponibles puissent permettre une transition vers un approvisionnement continu, du moins en volume.

SEAAL a travaillé à Tipaza ces dernières années pour mettre en place un programme de distribution sur un réseau de 1 500 km et 130 000 branchements, assurant un minimum de distribution quotidienne (Figure 5.11). L'approvisionnement est néanmoins limité par un réseau sporadique⁶⁷ et la distribution d'eau est déséquilibrée entre le chef-lieu et les villages alentours, malgré des tentatives d'équilibrage en été.

5.3.3.2 Territoire partagé entre SEAAL et les APC

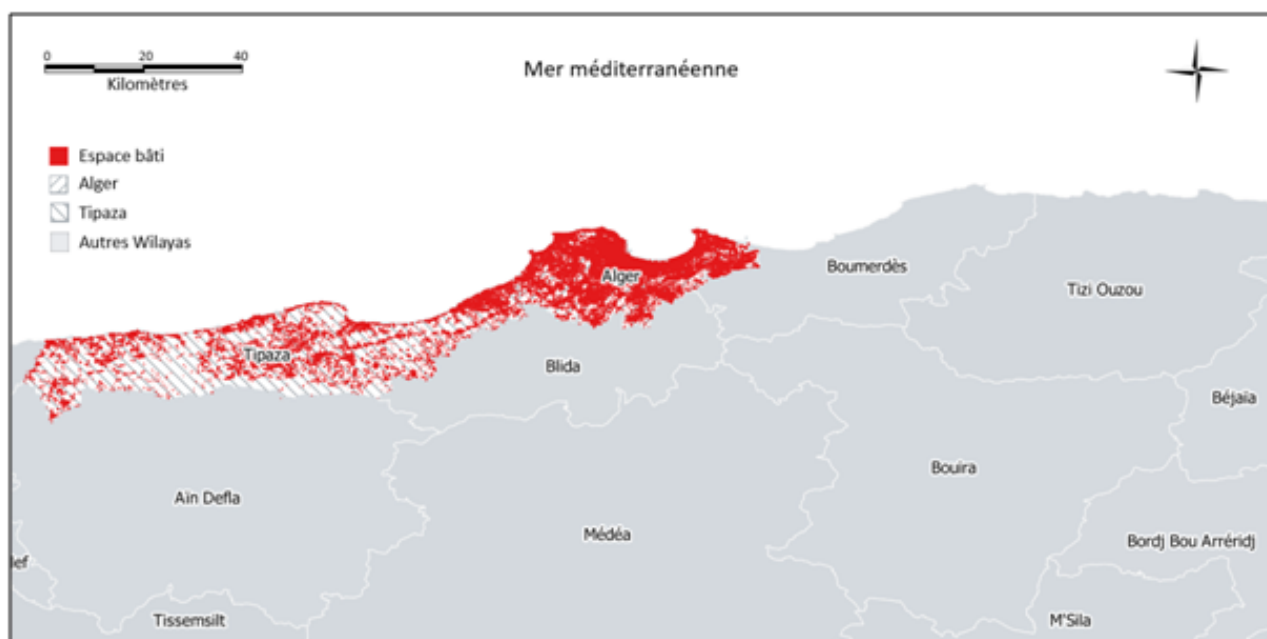


FIGURE 5.12 – Localisation et tâches urbaine des terrains - Alger et Tipaza, données issues de requête sur la base de données Open Street Map - 2020

Source : *Elaboration propre*

La situation de l'approvisionnement en eau à Tipaza est beaucoup moins maîtrisée que

67. Le réseau d'eau à Tipaza est très dispersé par rapport à un réseau beaucoup plus dense à Alger. Cela est principalement dû à un continuum urbain sur tout Alger, alors que pour Tipaza il y a plusieurs urbanisations (Figure 5.12).

celle de sa wilaya voisine. Cette dernière bénéficiant de plus de support stratégique, d'une plus longue durée de la présence de SEAAL, et d'un réseau sur un territoire urbain plus condensé.

Le réseau de Tipaza est dispersé sur le territoire qui s'étend sur une superficie de 2166 Km² (contre 1190 Km² pour Alger). Les structures urbaines et les ressources mobilisées, en dehors de la part allouée à Tipaza par la station de dessalement de l'eau de mer (SDEM) de Fouka, se présentent pour une partie sous la forme d'un système de vases communiquant, et sont majoritairement locales et indépendantes pour le reste.

« à Tipaza c'est de la folie, tu vas trouver des branchements, j'ai vu des branchements dépourvus de robinet d'arrêt ,pour moi Tipaza c'est du rural, sauf les chefs-lieux, c'est du rural. Tu vas voir, à gauche à droite c'est des champs c'est des fermes, et des centres ville touristiques, là des petits chefs-lieux touristiques où il y a des plages, donc les chefs-lieux à une certaine époque durant la période coloniale, donc il y a des réseaux plus ou moins dimensionnés et qui ont de l'eau parce qu'ils sont sur la côte, mais après il y a des champs, et les champs se sont transformés en Haouchs, « Moi je suis propriétaire d'une ferme, j'étais célibataire j'avais une ferme, je me suis marié j'ai construit deux pièces, aujourd'hui je suis grand père, j'ai cinquante enfants [...] et petits enfants, donc il faut que je leur construise chacun », [...] il y avait une ferme à l'origine, et tu vas te retrouver avec des douars, des maisons implantées un peu partout qu'il faut alimenter... »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,

23/04/2019]

Cette situation induit un approvisionnement inégal entre certaines communes comme le chef-lieu qui était majoritairement en H24 avant l'arrivée de SEAAL, et d'autres communes comme Khemisti où la coupure d'eau pouvait atteindre les 10 jours. Cette inégalité bien qu'elle soit d'une moindre mesure, est toujours d'actualité après l'arrivée de SEAAL (Figure 5.13).

« A Tipaza on n'a pas un nombre de [gros consommateurs] important, disons une vingtaine de clients qu'on n'a pas intégrés à l'ensemble des clients sur la base de données à Alger. Une grande partie de ces clients se situe à l'est de la Wilaya, ces clients-là étaient en H24 même

avant l'arrivée de SEAAL, parmi les 9% qui étaient alimentés en H24 au départ, parce qu'il y a une station de dessalement qui est à Fouka, et il y a des universités, des hôpitaux, des clients qui ont de la chance entre parenthèses d'avoir de l'eau en H24. Maintenant si je prends la grande académie de Cherchell, ils sont actuellement en H24 mais ils ne l'étaient pas avant, mais ils avaient des forages... »

[Responsable des grand compte à SEAAL, ancien directeur de l'exploitation à Tipaza,
21/04/2019]

« Vous allez avoir la partie Est qui est quasiment en H24, la partie centre qui est peut-être au quotidien élargi, et la partie Ouest qui est peut être en un jour sur deux... huit heures par jour, donc toute la Wilaya de Tipaza on doit pas la mettre dans le même paquet »

[Responsable Ressources Humaines, anciennement responsable clientèle à SEAAL,
21/04/2019]

68. Le système d'approvisionnement est basé sur l'exploitation de ressources locales, principalement des forages, avec une grande capacité de stockage. La wilaya est équipée de 30 à 35 mille m³ de ressources souterraines.

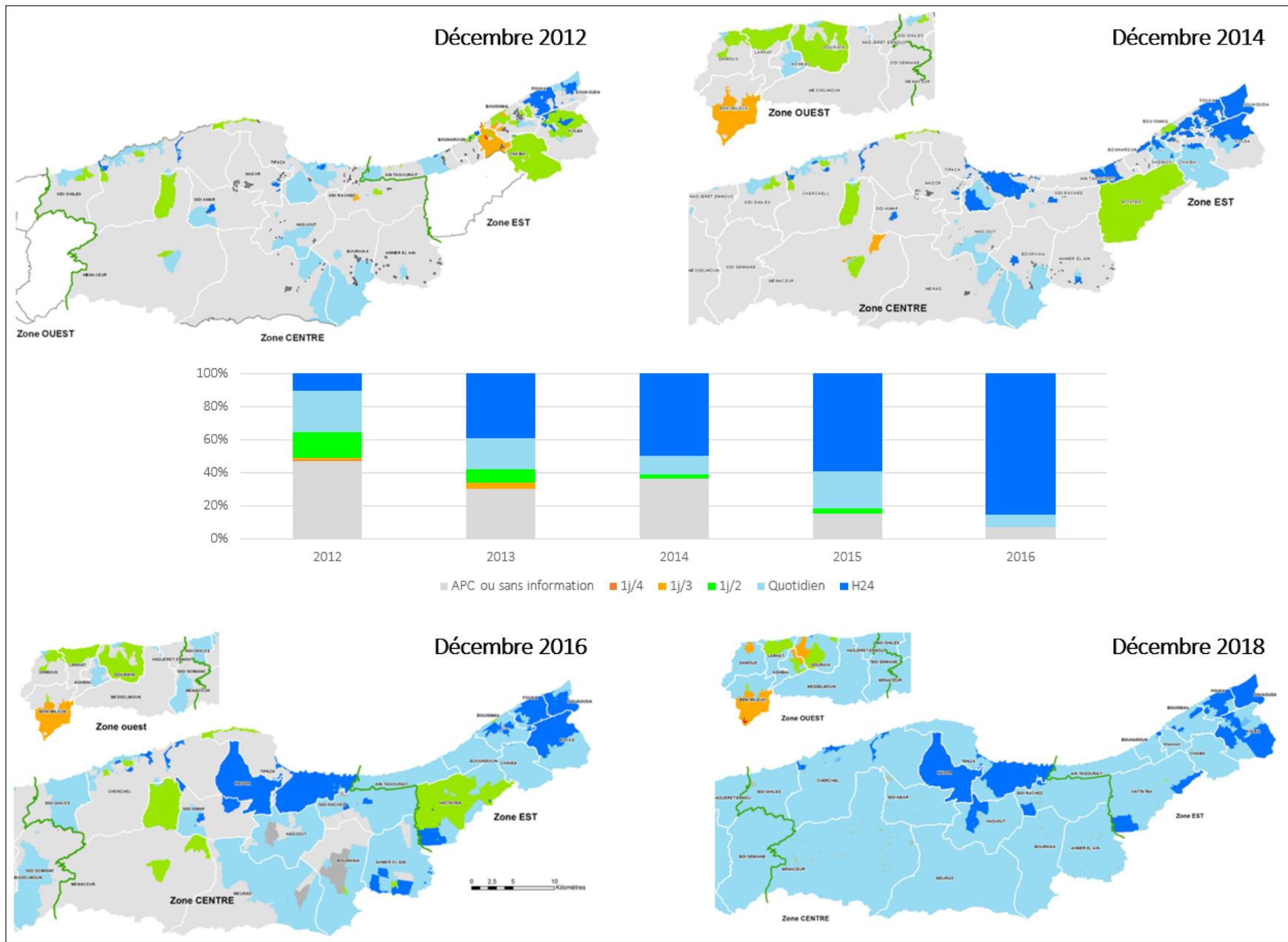


FIGURE 5.13 – Evolution de la répartition de la desserte dans la wilaya de Tipaza
 Source : Cartes récupérées auprès de SEAAAL, et graphe élaboré à partir des données de SIG de SEAAAL

Depuis l'arrivée de SEAAL en 2012, les efforts ont été concentrés sur l'augmentation de la capacité de production et la mobilisation de plus de ressources (notamment à travers la mise en service de la SDEM de Fouka dont 70 parmi les 120 m³ produits par jour sont alloués à Tipaza), la réhabilitation des champs captants et des forages, en attente de la livraison du barrage de Koudiet Acerdoune à l'ouest. Cette livraison conditionnait les objectifs contractuels de SEAAL sur la partie ouest de la wilaya. Des actions de construction de réservoirs et de stations de pompes et de régulation de pression⁶⁹ ont également été instaurées.

Des actions d'amélioration du transfert ont été entreprises, avec la création de 117 km de canalisation et le renforcement des réseaux. Un travail a été fait sur l'abandon des réseaux vétustes, des doubles réseaux, et des réseaux qui avaient été posés par la DRE à une certaine époque sans être mis en service.

En termes de gestion opérationnelle, la procédure annoncée est celle de programmes de distribution qui sont établis mensuellement par les directeurs d'exploitation de la DRE. Les deux points limitants étant la ressource mobilisable par zone de distribution, et la capacité de stockage. C'est principalement le niveau des réservoirs qui détermine quand la plage de distribution est finie pour une certaine zone. Les manœuvres de vannes de régulation de débit sont alors actionnées au niveau de ces réservoirs afin de gérer les flux de distribution. Ces programmes sont communiqués aux usagers et aux autorités algériennes et mis à jour chaque mois à la lumière des actions de terrain qui ont été menées. La vérification de la conformité des points de distribution aux programmes est théoriquement réalisée par envoi d'agents par l'autorité urbaine, tous les six mois.

En saison estivale, similairement aux dispositions prises à l'est d'Alger, une opération dont l'objectif est de répartir plus équitablement des ressources qui deviennent rares face à une demande 2 à 3 fois plus importante, est mise en place. Des usagers qui reçoivent l'eau au quotidien sur le reste de l'année passent notamment au rythme de 1 jour sur 2 pour équilibrer. Cette mesure est jugée nécessaire par l'opérateur d'autant plus que Tipaza a une orientation

69. Certains secteurs de Tipaza qui ont suffisamment de ressources sont caractérisés par un terrain très accidenté qui empêche le passage en H24, au vu des problèmes de pression qui découlent de la mise en charge du réseau. La régulation de pression a permis un passage en H24 de ces secteurs sans solliciter davantage un réseau dégradé. Tel fut le cas des communes de Koléa et Bousmail, qui sont passées en H24 en 2014.

touristique plus importante.

Administrativement, depuis le début du contrat de SEAAL2, la gestion de l'eau à Tipaza était reliée à la direction de SEAAL à Alger, et les ressources et moyens humains étaient alors partagés. La création de la direction indépendante de Tipaza n'est survenue que le 1^{er} octobre 2018. Comme pour Alger, la situation de l'approvisionnement à Tipaza s'est détériorée à la fin de 2020, avec le dépassement des capacités nominales des barrages, et une nouvelle répartition de l'allocation des ressources partagées entre Alger et Tipaza, avant la fin du contrat de SUEZ, et son non renouvellement.

5.3.4 Annaba : Elargissement du périmètre et ouverture

La Wilaya de Annaba est située à 600 km de la capitale en Algérie (Figure 5.14) Elle s'étend sur 1412 km² et est limitée par la mer méditerranéenne au Nord.

La Wilaya de Annaba est composée de 6 daïras regroupant 12 communes, avec une population de l'ordre de 713 424 habitants en 2018.

L'unité ADE Annaba gère la distribution d'eau des 12 communes de la wilaya sur un linéaire total de 1353 Km (réseau de distribution de 921 Km et réseau d'adduction de 432 Km).

D'après une estimation réalisée en février 2019 dans le cadre d'une assistance technique de SEAAL, l'alimentation en eau potable dans le périmètre géré par l'unité de Annaba est principalement une alimentation en intermittence (avec uniquement 3% de la population qui est alimentée en continu (H24), 51 % au quotidien, 30 % 1 jour sur 2, et 16 % en un 1 jour sur 3 ou plus).

La wilaya de Annaba est alimentée principalement à partir des eaux de surface des Barrages Mexa et Cheffia au Sud du territoire, ainsi qu'à partir des captages souterrains des Salines et de Bouteldja.

La principale infrastructure qui alimente Annaba est la station de Chaiba, *via* 2 conduites principales DN1250 et DN930. Ces deux conduites transportent l'eau sur leurs tracés respectifs

jusqu'aux différentes stations de pompage et de stockage qui vont à leurs tours alimenter les différents secteurs de distribution des deux centres.

A noter que certains clients et/ou quartiers sont directement branchés sur ces deux conduites.

L'enquête réalisée à Annaba s'est faite dans le cadre d'une mission d'assistance technique. 11 personnes parmi les opérateurs de l'ADE à Annaba ont été interviewées.

Cette enquête a été réalisée principalement pour une mise en perspective des constats de l'enquête d'Alger et Tipaza, pour une situation où l'intermittence est plus sévère et où l'intervention de l'opérateur privé est limitée à du transfert de savoir-faire. Annaba a également servi de cas d'étude pour une partie des solutions développées en partie 3.

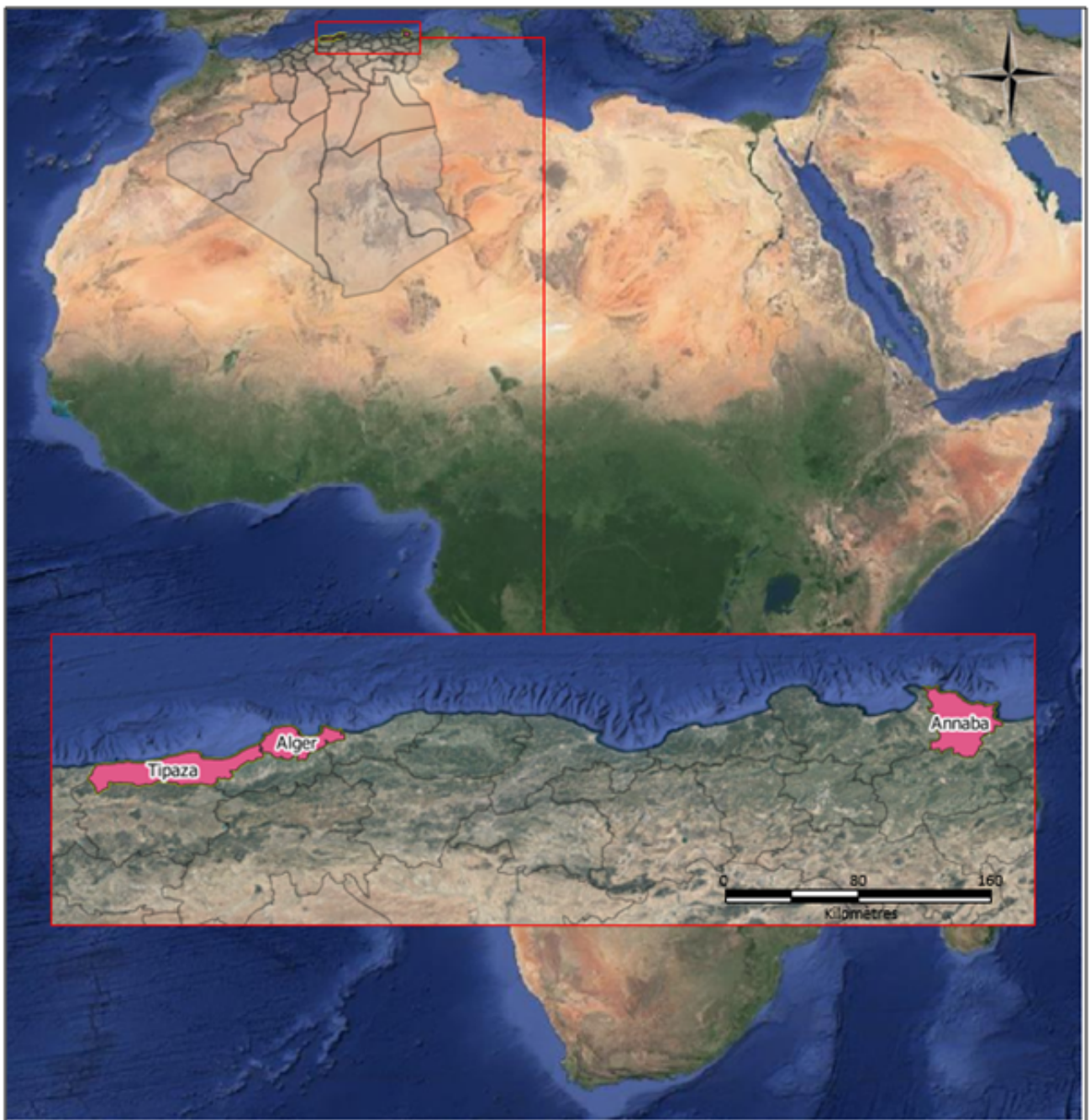


FIGURE 5.14 – *Positionnement des trois terrains sur image satellitaire – Fond de carte Open Street Map*

Source : Elaboration propre

5.4 Synthèse du chapitre 5

Les observations globales issues de l'exploration de la littérature et de l'analyse de plusieurs contrats de la partie 1 ont permis de mettre en évidence la présence et l'interdépendance de toute une myriade d'acteurs qui font fonctionner l'intermittence au sein d'un écosystème équilibré, et l'existence de conditions territoriales et de dynamiques politiques, économiques ou sociales bloquantes pour la mise en œuvre du plan de l'opérateur et l'atteinte ou le maintien des objectifs contractuels. Sur cette base, nous avons formulé l'hypothèse suivante : *Dans un réseau d'eau alimenté en intermittence, l'objectif contractuel d'atteindre le H24, dans un contexte territorial, temporel, politique, social et économique donné, peut amener le gestionnaire du réseau à perturber la situation de l'utilisateur, son client, mais également de l'ensemble des acteurs (livreurs d'eau, plombiers, vendeurs de cuves, etc.) avec lesquels celui-ci est en relation et ainsi modifier largement des logiques établies de fonctionnement. Cette posture peut s'avérer contre-productive par rapport à la mission même de l'opérateur, et expliquer la difficulté d'amélioration du service généralement associée à l'intermittence.*

Nous proposons dans cette deuxième partie de vérifier cette hypothèse en examinant sur terrain la stratégie implémentée par un opérateur lors de la prise en main d'un réseau en intermittence, et d'identifier les risques potentiels qui peuvent en découler. L'objectif est double : il s'agit d'une part de décrire la nature de l'approvisionnement par réseau tel que piloté par son gestionnaire dans une optique d'amélioration du service, face à celui perçu par les usagers. Le second objectif est d'identifier les paramètres permettant de donner à ce même gestionnaire des moyens de gérer l'intermittence, au-delà des restrictions imposées par le réseau, en cartographiant les acteurs concernés, et les flux qui en découlent.

Le choix s'est porté sur Alger et Tipaza, qui sont deux wilayas limitrophes en Algérie, gérées par un même opérateur, qui présentent en plus de leurs analyses respectives une opportunité d'investigation du cadre d'examen des limites de duplication de la stratégie de gestion de la première zone, qui a atteint le H24, vers la seconde, toujours en intermittence. Ce choix est également justifié par le fait qu'il y a actuellement peu de littérature scientifique sur la gestion

de l'alimentation en intermittence dans le contexte algérien.

La production des données empiriques pour la recherche exploratoire permettant d'évaluer notre hypothèse a démarré par le réseau et son arsenal d'intervenants côté gestionnaire, pour un diagnostic du service fourni. Leur description des actions entreprises puis leur évaluation de l'évolution de la qualité de service a ensuite été examinée au regard de celle perçue par l'utilisateur. L'enquête s'est appuyée principalement sur une analyse qualitative à partir d'observations terrain, d'entretiens semi-directifs menés auprès des usagers et de différents acteurs impliqués, d'un questionnaire adressé aux usagers, et de lectures exploratoires de la littérature grise et scientifique autour de l'eau dans les terrains examinés.

Chapitre 6

Perception de l'opérateur :

Surmonter l'intermittence

Nous présentons dans ce chapitre et le suivant les principaux résultats des enquêtes terrain que nous avons menées à Alger et Tipaza. Nous proposons dans ce qui suit une analyse du vécu de l'intermittence telle que perçue par la multiplicité des acteurs qui y sont impliqués, ainsi qu'une analyse des objectifs d'amélioration du service, dans les deux terrains d'Alger et Tipaza, où l'intermittence est respectivement historique et actuelle, et pour lesquels l'objectif assumé en début de contrat est l'atteinte du H24.

Les angles d'analyse qui ont été observés sont les suivants :

1. Perception de la qualité de service par l'opérateur et par l'utilisateur, selon les contraintes qui régissent l'offre et qui affectent la réponse au besoin ;
2. Evaluation du besoin et de l'atteinte de la continuité de service comme objectif d'amélioration de l'offre d'approvisionnement pour les deux villes.

Dans ce chapitre, nous examinons le point de vue de l'opérateur.

Les résultats suivants sont issus de l'observation terrain et des analyses des entretiens qui ont été menés avec des représentants de l'autorité algérienne (ADE), des représentants de l'opérateur (SEAAL), et des agents terrain (SEAAL). Nous avons essayé d'atteindre la saturation thématique⁷⁰, mais le processus de collecte d'informations a été lourdement perturbé par la crise sanitaire. Ils permettent de mettre en avant comment l'approvisionnement en eau a été géré dans le cadre de ce partenariat, et comment l'amélioration du service a été amenée et perçue par l'opérateur dans le cadre de sa mission.

L'analyse des entretiens a permis de relever 3 niveaux de contraintes qui ont été identifiées par l'opérateur dans sa caractérisation de l'intermittence à Alger et à Tipaza, et dans la description de sa mission d'amélioration du service.

Ces contraintes peuvent être liées à la multiplicité des facteurs qui impactent le service de l'eau par l'opérateur, à savoir :

1. Des facteurs exogènes au schéma contractuel de l'opérateur, et au réseau de distribution, qui induisent des *contraintes territoriales* ;
2. Des facteurs réglementaires et institutionnels qui façonnent les objectifs et l'organisation du service, et se manifestent par des *contraintes politiques et contractuelles* ;
3. Et des facteurs liés à l'organisation de l'usager du service de l'eau par réseau, et de l'écosystème dans lequel la réponse à son besoin évolue, qui se traduisent par des *contraintes sociétales*.

6.1 À l'épreuve du territoire

La conjoncture climatique, démographique et urbaine qui caractérise la région présente des contingences exogènes typiques qui s'imposent à tout opérateur dans l'exercice de sa mission d'alimentation en eau. A Alger et Tipaza, ces contraintes sont particulièrement imposantes,

70. « Une recherche qualitative satisfait au critère de saturation lorsque les techniques de recueil et d'analyse des données utilisées, sur le problème considéré, ne fournissent plus aucun élément nouveau à la recherche » [Mucchielli, 1994]

et sont assorties par des conditions propres aux deux terrains. Celles-ci comprennent leurs caractéristiques topographiques, l'état initial et évolutif du réseau, et la fiabilité du diagnostic de la situation.

6.1.1 Ressources en eau limitées et emprise croissante d'Alger sur l'espace hydraulique régional

Comme mentionné dans le chapitre précédent, l'Algérie, à l'instar des pays du bassin méditerranéen, est un pays semi-aride à tendance désertique pour lequel l'accès à l'eau est une préoccupation majeure.

Dans le cas de la wilaya d'Alger, la région s'apparente par son climat méditerranéen à une zone avec des hivers pluvieux relativement doux et des étés secs et chauds. Si le volume pluviométrique annuel est important (600 à 800 mm sur le littoral), il est inégalement réparti dans le temps, et les sécheresses estivales imposent un bilan global déficitaire.

a) Ressources en eau souterraines

Les ressources en eau qui ont été mobilisées ont accompagné l'expansion importante du territoire de la wilaya pendant ces dernières décennies (Figure 6.1).

Historiquement, l'approvisionnement en eau de la capitale était principalement souterrain. Avant 1988, Alger était alimentée uniquement à partir des eaux de forage, et pratiquement 35% de ces forages étaient implantés intramuros dans le tissu urbain du grand Alger, depuis les nappes de la Mitidja et des dunes du Sahel (Figure 6.2).

L'aquifère de la Mitidja s'étend sur une surface d'environ 1300 km² au sud d'Alger entre El-Affroun et Reghaïa. Il est bordé au nord par les collines du Sahel et au sud par Blida. Les nappes de la Mitidja ont été largement sollicitées depuis 1980 avec une intensification des prélèvements d'eau potable pour la ville d'Alger, mais également du fait de la réalisation de nombreux forages d'irrigation.

Au cours d'une période marquée par un fort déficit hydrique (la pluviométrie des années

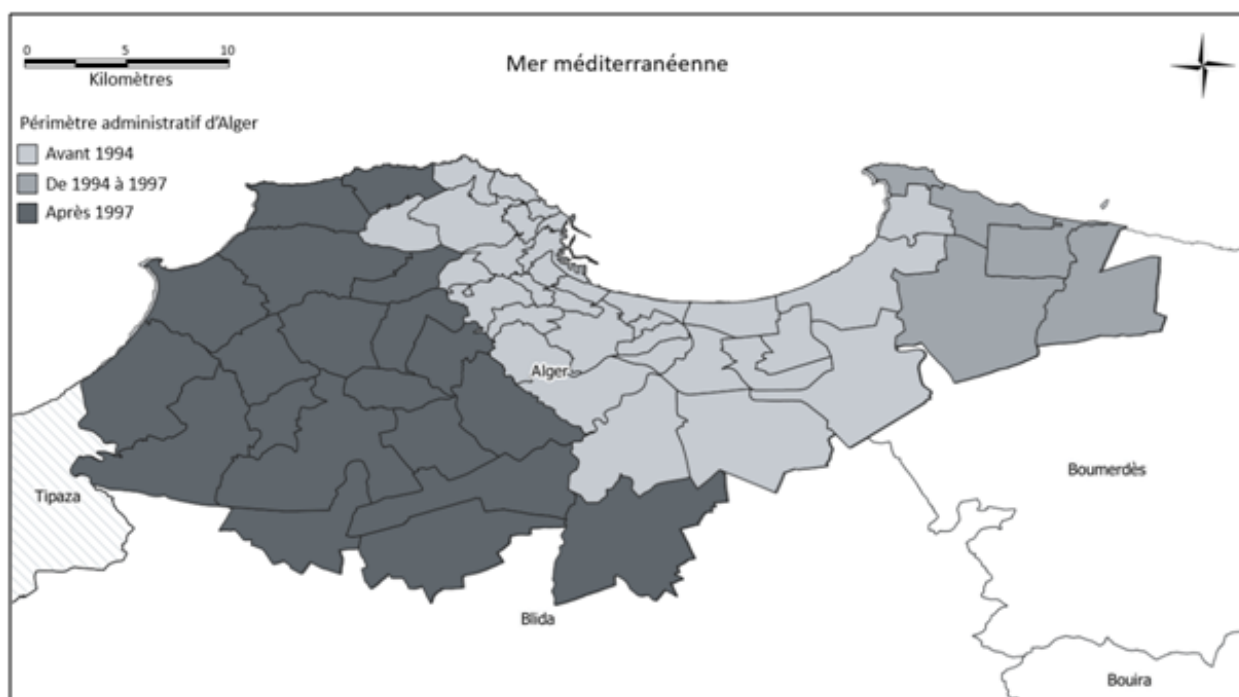


FIGURE 6.1 – Evolution des limites administratives de la wilaya d'Algiers

Source : *Elaboration propre, adapté de Tarek Medjad, M'hammed Setti et Guy Baudelle, « Quelle métropolisation pour Alger ? », Méditerranée [En ligne], Espaces urbains, mis en ligne le 17 septembre 2015, consulté le 13 décembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/mediterranee/7267>*

1985 – 2002 accuse une baisse de 20% par rapport à celle observée en 1970), l'intensification des prélèvements a provoqué un déséquilibre entre les débits extraits et les apports à la nappe. Ce déséquilibre s'est traduit par une baisse généralisée des niveaux de nappe sur l'ensemble de la plaine de la Mitidja, avec des baisses qui pouvaient atteindre les 40 à 50 mètres. A l'heure actuelle, les nappes de la Mitidja contribuent encore, pour une grande part, à l'alimentation en eau potable d'Algiers et des wilayas limitrophes. Près de 234 forages, exploités par la SEAAL, ont assuré en 2008 une production d'eau de 98 Mm³/an pour la wilaya d'Algiers (Figure 6.3)⁷¹. La wilaya de Blida puise environ 46 Mm³/an d'eau potable dans les mêmes nappes [Source : Actualisation du schéma directeur d'Algiers - 2009].

Les dunes du Sahel sont constituées de deux sous-aquifères qui forment une bande côtière.

71. La Figure 6.3 illustre une forte augmentation des forages à entre 1978 et 1980, Pendant cette période, la Mitidja a connu plusieurs projets d'aménagement hydro-agricoles, notamment la mise en eau de deux grands périmètres irrigués sur la partie ouest de la plaine pour ainsi réserver l'eau de la nappe de la Mitidja principalement à l'approvisionnement en eau potable de l'agglomération algéroise en extension [Imache et al., 2006].

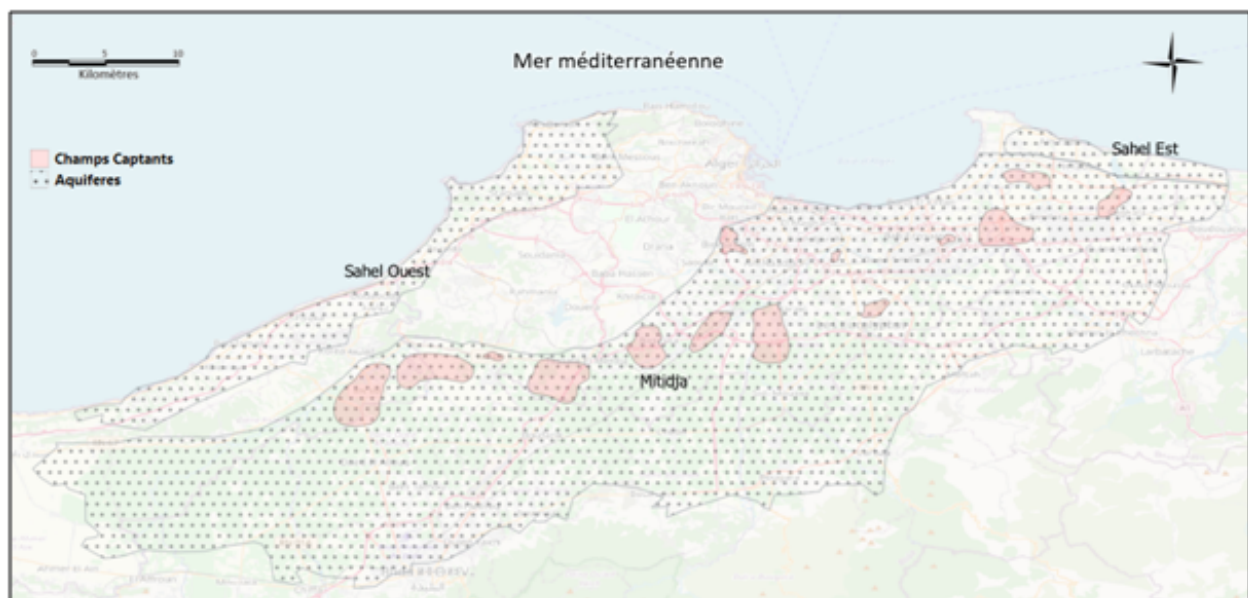


FIGURE 6.2 – Nappes souterraines de la Mitidja et du Sahel et champs captants
Source : *Elaboration propre*

Le plus grand est situé entre Ain Tagourait et Ain-Benian (Sahel occidental), le second, plus petit, s'étend de Ain-Taya à Boudouaou Bahri (Sahel oriental). La superficie totale des dunes du Sahel est d'environ 157 km² (Figure 6.2). Avec le temps, le niveau des nappes a baissé, et la qualité de l'eau s'est dégradée en raison de l'absence de traitement des eaux usées, comme en témoigne un des responsables historiques de la gestion des ressources en eau à Alger, qui a suivi les étapes de migration de la gestion de l'eau et de l'assainissement d'Alger sur trois décennies.

« On n'avait pas de station d'épuration donc la boucle était fermée : Eau usée, contamination de la nappe, et on a commencé pratiquement dès 1986/87 à fermer tous les forages situés à l'intérieur du tissu urbain du grand Alger, et on est allé réaliser des forages un peu plus loin voire à 50, à 60 km. »

[Responsable de l'ADE, ancien responsable de la DRE de la wilaya d'Alger, 30/04/2019]

b) Ressources en eau surfaciques

En 1988, suite au prêt obtenu auprès de la banque mondiale, la construction du barrage Keddara Beni Amara et du système d'approvisionnement Isser-Keddara-Boudouaou-Alger

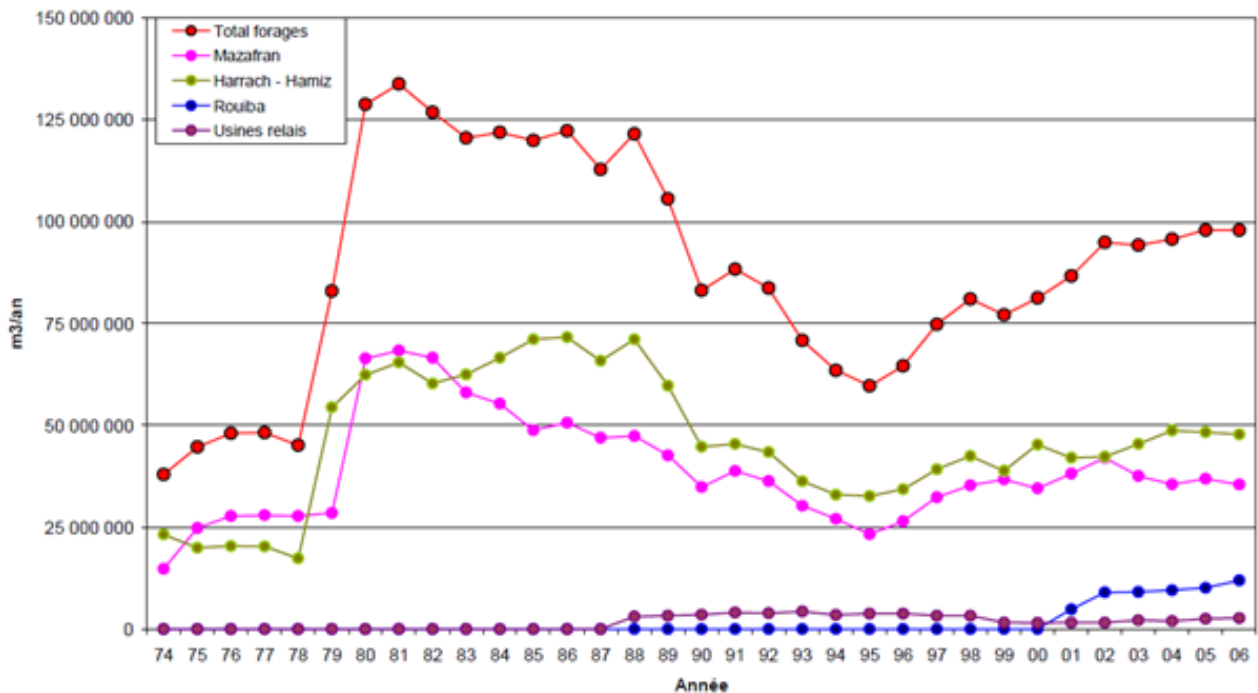


FIGURE 6.3 – Historique de la production d'eau souterraine de la Mitidja
 Source : Actualisation du schéma directeur d'Alger – SOGREAH Consultants (2009)

(SPIK) (Figure 6.4), les eaux de surface se sont ajoutées aux ressources de la wilaya [Wilson, 1984]. Le même responsable précise la mise en place de « [...]tout un système d'alimentation de l'eau de surface [...] ce qui a permis donc de vivre quatre ou cinq années à l'aise, parce que ce que l'eau mobilisée à partir du barrage suffisait à la population de l'époque. Et je me souviens, le journal « El Moujahid »-le seul journal de l'époque-, lorsqu'on a lâché l'eau donc le gros titre à la une du journal était : « Algérois jetez vos bâches ! L'eau du barrage est arrivée ! ». »

Le système du SPIK a été agrémenté par le recours à des barrages à l'ouest d'Alger.

« En l'an 2000, 2001, le barrage de Keddara est toujours vide, donc qu'est-ce qu'on s'est dit ? On a construit en un temps record une station de traitement... [...] Monobloc au niveau de l'Ouest d'Alger [...], On a interconnecté trois barrages de l'Ouest d'Alger qui n'alimentaient pas Alger, trois barrages, les autres venaient au niveau de cette station de traitement qui traitait environ 130 mille mètres cubes jour »

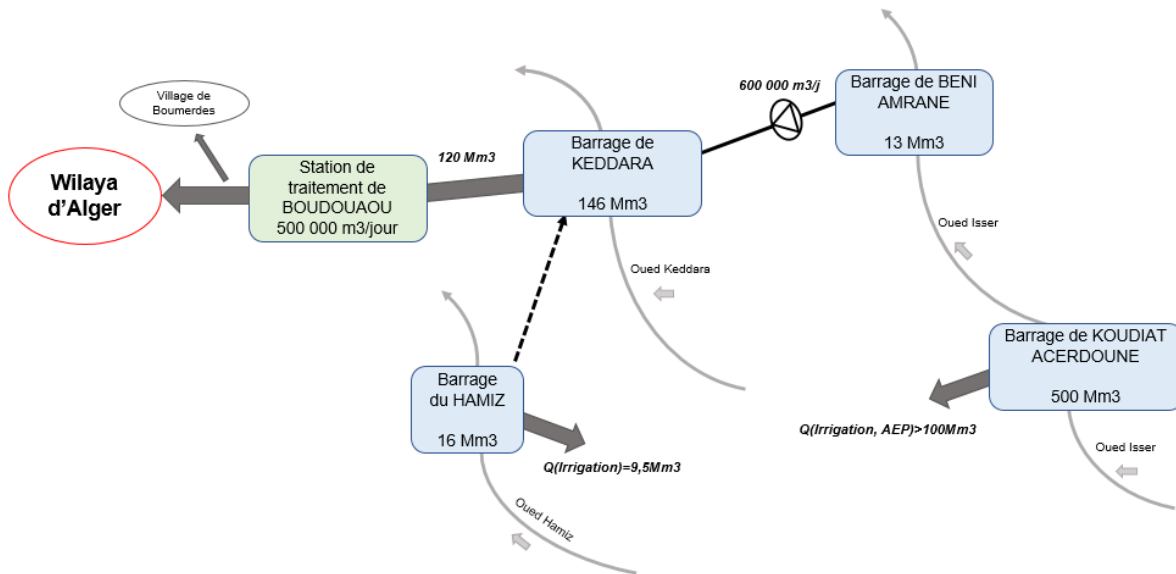


FIGURE 6.4 – *Synoptique du système d'approvisionnement Isser-Keddara-Boudouaou-Alger (les valeurs dans les cadres bleus représentent les capacités des barrages)*

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Aujourd'hui, environ la moitié du volume d'eau qui est alloué à Alger provient de ressources superficielles situées dans les wilayas voisines, qui sont contraintes de lui concéder une partie de leurs ressources en eau au détriment de leur propre développement (Tableau 6.1, Figure 6.5). Cette situation est typique de la région et constante depuis les années 90 [Chikhr Saïdi, 1997]. Tipaza fait partie de ces wilayas voisines, pour lesquelles les efforts de mobilisation de la ressource ne sont pas du tout comparables à ceux qui ont été déployés pour Alger, et qui enregistrent un déficit plus important.

TABLE 6.1 – *Provenance des ressources en eau superficielles de la wilaya d'Alger*

| Barrage | Taksebt | Beni Amrane | Keddara | Hamiz | Bouroumi | Ghrib | Boukerdane |
|--|------------|-------------|---------|-------|----------|-----------|------------|
| Capacité (Millions de m ³) | 175 | 13.1 | 145.6 | 16.28 | 176 | 280 | 106 |
| Emplacement (Wilaya) | Tizi Ouzou | Boumerdes | | | Blida | Ain Defla | Tipaza |

c) Dessalement de l'eau de mer

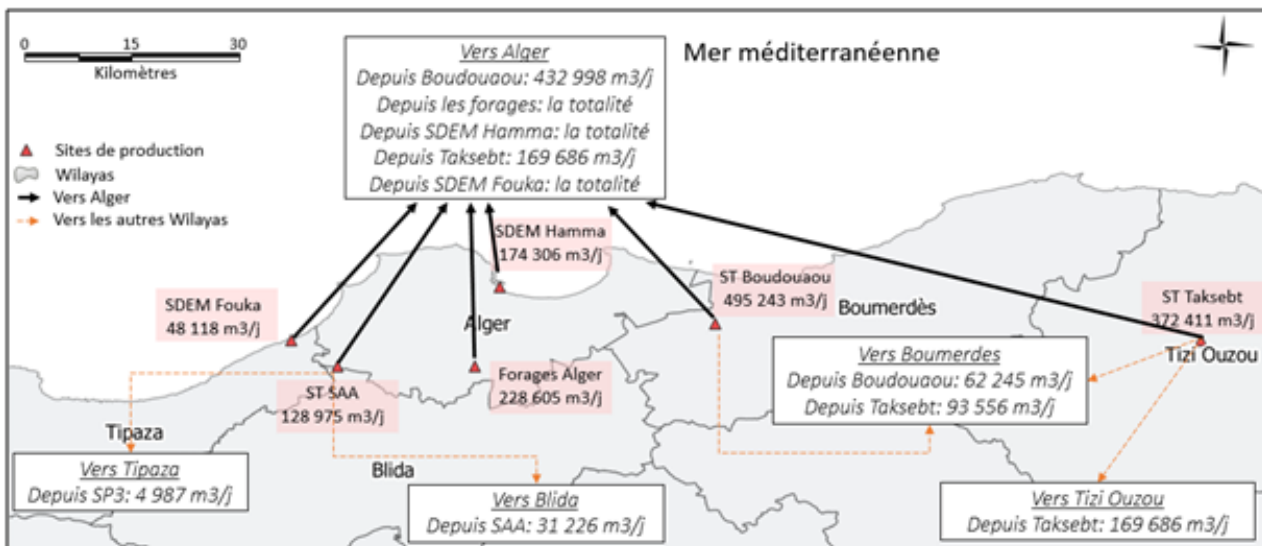


FIGURE 6.5 – Répartition des ressources en eau entre la wilaya d'Alger et les wilayas limitrophes en 2012

Source : *Elaboration propre à partir des données du Rapport Annuel de SEAAL (2012)*

La réponse à la demande en eau d'Alger a nécessité, en plus de la mobilisation des ressources en eau classiques, de recourir à des ressources additionnelles. Des stations de dessalement de l'eau de mer (SDEM) ont été notamment mises en place pour compléter l'offre en eau suite à la sécheresse des années 2000, à commencer par la SDEM de Hamma et la chaîne côtière des SDEM à l'ouest d'Alger.

« On a vécu une période sécheresse en 99/2000, il n'a pas plu sur des décennies donc la quantité d'eau de pluie a diminué et le grand choc c'était 1999/2000, tous les barrages qui étaient alimentés étaient pratiquement à sec [...] il y a eu recours au dessalement, la première station de dessalement, plutôt la deuxième, celle du Hamma en février 2008, avec ça donc on a pu avoir une diversification de la ressource : eau souterraine, eau des barrages, et eau dessalée. »

[Responsable de l'ADE, ancien responsable de la DRE de la wilaya d'Alger, 30/04/2019]

« On a réalisé aussi des petites SDEM : des petites Stations de Dessalement d'Eau de Mer, on en a réalisé sur la chaîne côtière d'Alger deux stations, trois stations, cinq stations, six ou sept stations qui produisaient environ 5000 mètres cubes par jour. »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,

23/04/2019]

L'ensemble des ressources et des équipements mobilisés pour l'approvisionnement en eau de la capitale algérienne est représenté sur la carte suivante (Figure 6.6).

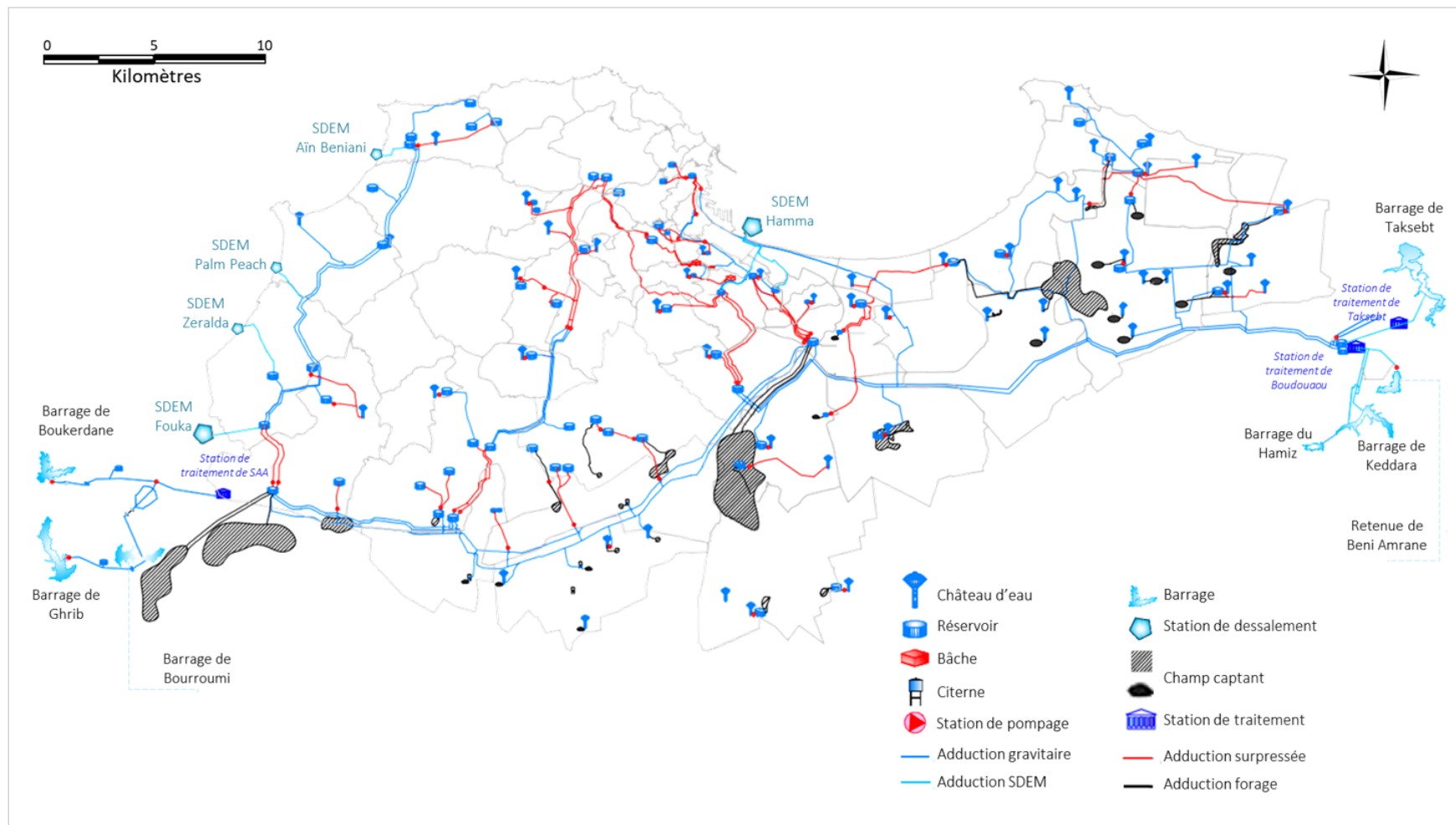


FIGURE 6.6 – Ressources en eau et équipement pour l’approvisionnement de la wilaya d’Alger, schéma adapté à partir de l’actualisation du schéma directeur de 2009
Source : *Elaboration propre*

6.1.2 Demande toujours grandissante au sein d'une urbanisation importante, rapide et pauvrement maîtrisée

Si des ressources ont été mobilisées de manière grandissante, c'est principalement à cause d'une demande importante et croissante. La wilaya d'Alger détient la particularité de présenter une expansion urbaine et péri-urbaine très importante et très rapide. Le territoire d'Alger a connu un étalement impressionnant sur les 25 dernières années (Figure 6.1), accompagné par une densification de la population. En 1985, il y a 35 ans déjà, A. Sari écrivait « *Alger la Blanche est devenue Alger la Noire. Noire de monde!* » (Algérie Actualité du 5.11.1985), et la situation s'est accentuée par la suite (Figure 6.7).

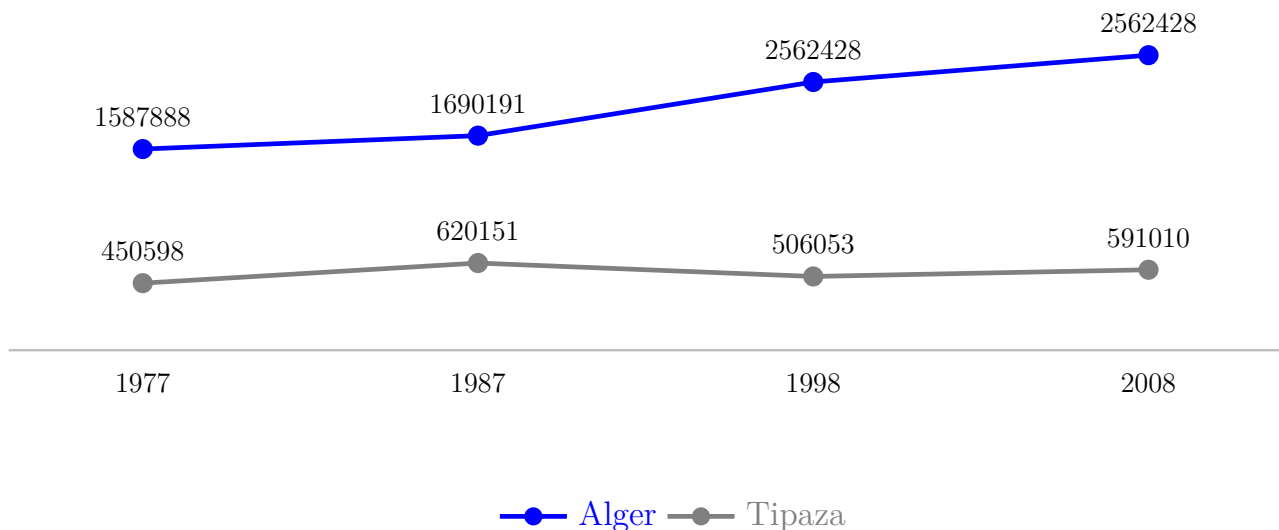


FIGURE 6.7 – Evolution de la population des wilayas d'Alger et de Tipaza selon les recensements nationaux de 1977 - 1987 - 1998 et 2008 ⁶⁵

Source : Elaboration propre

Au niveau de SEAAL, depuis 2006, ce sont plus de 340 000 clients qui ont été incorporés (sur 4 millions d'habitants ⁷³), soit une augmentation de 80% en 14 ans (2006 à 2019). C'est considérable. Cette expansion pose des problèmes dont l'augmentation rapide de la demande en eau. [Rapport Annuel au délégataire RAAD SEAAL 2019].

⁷². La diminution de la population tipazienne constatée entre 1987 et 1998 est due à un changement des frontières de la wilaya, où une partie de la wilaya de Tipaza a été intégrée au territoire de la wilaya d'Alger (Figure 6.1).

⁷³. Le nombre d'habitants est une projection, qui n'a pas pu être vérifiée à ce jour, vu que le dernier recensement date de 2008.

Le schéma directeur établi à l'aube du premier contrat SEAAL 1, ayant du mal à s'adapter à la rapidité d'apparition des nouveaux habitants de la ville, avait sous-estimé l'évolution de la population, et de ce fait la demande en eau résultante. Un opérateur ayant travaillé sur le schéma directeur⁷⁴ a déclaré :

« ...la principale faille du schéma directeur c'est qu'il a sous-estimé la demande en eau, le schéma directeur [dit] que la pointe de la consommation [va] être atteinte à hauteur de 860 000 si je ne me trompe pas à l'horizon 2015, alors que nous en 2015 on a atteint le plafond d'un million cent mille ».

[Responsable à la direction technique de SEAAL (bureau d'études), 23/04/2019]

Dans un pays au climat semi-aride incertain, les ressources sont globalement limitées. Les systèmes d'eau potable (usines, forages, conduites de transfert) et d'assainissement de SEAAL sont saturés et à risque, et l'évolution de la demande n'est pas contrôlée. Dans ce contexte où peu de variables sont actuellement sous le contrôle direct de l'opérateur, et où la stratégie du secteur de l'eau est une stratégie de l'offre [Naimi-Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2014a, Naimi Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2016], la marge de manœuvre de l'opérateur se limite aux actions sur l'amélioration de la performance du réseau existant, afin d'éviter le gaspillage d'une ressource initialement rare.

Or cette action ne peut pas s'accomplir efficacement sans une connaissance a minima de la structure urbaine de la ville. Idéalement, les plans d'urbanisation et les stratégies de gestion des ressources en eau devraient travailler en étroite collaboration ou au moins assurer un partage continu et facilité de l'information sur les projections d'évolution des villes d'un côté, et les estimations des capacités hydrauliques actuelles et maximales de l'autre. Ceci n'est clairement pas le cas de la wilaya d'Alger, au vu de l'incapacité du système actuel à répondre à la demande

74. Un premier schéma directeur pour l'Alimentation en Eau Potable avait été réalisé avant l'établissement du contrat de SEAAL (2001-2005), par le bureau d'étude BRLi, à l'horizon 2012. Lors de la prise en main du contrat en 2006, SEAAL a mandaté SOGREAH Consultants pour la réactualisation de la composante « demande en eau » du schéma. Celui-ci a ensuite été remis à niveau dans sa globalité en 2009, toujours par SOGREAH Consultants, pour l'établissement d'un schéma directeur à l'horizon 2025.

en eau de l'agglomération, et à la difficulté à alimenter de manière certaine les bases de données clientèle. Ceci est vrai malgré plusieurs opérations visant à intégrer les clients des quartiers en développement et les habitats précaires.

Comme nous allons le détailler dans les paragraphes suivants, de nombreuses contraintes liées à l'aménagement urbain de la wilaya ont contribué à accentuer la non-maîtrise de la demande par l'opérateur. Plusieurs nouveaux lotissements sont apparus et se sont connectés au réseau de distribution sans que l'opérateur soit impliqué. Il en a résulté des travaux mal exécutés, des problèmes de service et des problèmes de paiement voire de consommation illicite.

Lorsque le système d'approvisionnement en eau est fragile, le risque de déficit entre la production et la demande accroît pendant les périodes de pointe de consommation. Avec une exploitation des ressources à son maximum, sans anticipation et sans action sur la demande, le risque de manque d'eau est très élevé. Cette situation entraîne des conséquences importantes sur la dégradation des réseaux et la qualité de service.

A Tipaza, la situation est encore plus délicate puisqu'un diagnostic initial n'a pas encore été accompli. Le schéma directeur n'a été lancé qu'en 2015, 3 ans après la prise en main du contrat, et sa conception rencontre des difficultés de base. Plusieurs opérateurs se sont plaints de la « *difficulté de récupérer des données fiables sur le développement du parc urbain de la wilaya* »⁷⁵, malgré les nombreuses tentatives menées sous forme de campagnes de collecte de données auprès de la division de l'urbanisme au ministère de l'habitat. Cette complexité d'acquisition de données factuelles fiables ne se limite pas aux données urbaines. Lors de la réception d'un contrat d'approvisionnement en eau, la description du réseau est souvent très mal connue. Le responsable de la direction technique des projets eau de SEAAL ainsi que des responsables du patrimoine ont relevé que la difficulté à Tipaza était un problème de disponibilité des données, ce qui a induit une pauvre connaissance des indicateurs.

« [...] on avait trouvé énormément de difficultés pour récupérer des données vraiment fiables sur le développement du parc urbain, donc c'était ça la problématique, c'est-à-dire si l'équipe du

75. Propos d'un responsable à la direction technique de SEAAL, repris par des agents de terrains et un responsable à la direction de l'exploitation (semaine du 21 avril 2019)

schéma directeur avait les données, ils auraient pu estimer correctement. »

[Responsable à la direction technique de SEAAL (bureau d'études), 23/04/2019]

« à Tipaza, on n'avait rien du tout, nous avons organisé plusieurs campagnes de collecte de données auprès de la division de l'urbanisme, et de l'habitat, mais toute la procédure était complexe et pittoresque. »

[Ancien responsable du système d'information géographique de SEAAL, 24/04/2019]

6.1.3 Pauvre connaissance des indicateurs

Dans un système où l'équilibre ressource/demande est très tendu, la maîtrise de l'évolution des composantes de l'offre est très importante. Or, dans le cas d'Alger, comme nous l'avons constaté dans le paragraphe précédent, la connaissance des indicateurs principaux qui qualifient la performance du réseau est lacunaire chez l'ensemble des parties prenantes. La situation est encore plus imprécise à Tipaza, où le contrat, et la mise en exergue de la distribution d'eau au public, sont plus récents.

Au niveau de la littérature scientifique, les **pertes en eau** du réseau d'Alger sont estimées à 30% depuis les années 90 [Chikhr Saïdi, 1997, Naimi-Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2014b, Naimi Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2016]. Cette valeur, contestée aujourd'hui par SEAAL dans ses rapports annuels ainsi que par plusieurs des opérateurs interviewés, provient peut-être des clauses liées au financement de la banque mondiale pour la construction des principaux points d'eau de l'Est de la capitale, vers la fin des années 80. Une condition du prêt était le maintien des pertes sur le réseau à moins de 30% [Wilson, 1984]. En tout état, c'est cette même valeur qui est évoquée depuis l'ère de l'Entreprise de Production, de Gestion et de Distribution d'Eau d'Alger (EPEAL)⁷⁶. Cette valeur persiste par la suite, alors que le réseau

⁷⁶ EPEAL est l'entreprise qui gérait l'eau et l'assainissement d'Alger en 1983, jusqu'à la création de SEAAL en 2006.

Historiquement, la gestion de l'eau potable sur le territoire algérien avait été confiée à la société SONADE, créée

évolue, que la population desservie augmente, et que des efforts de réduction de ces pertes sont mis en place à travers des actions de renouvellement et de réparation.

Une ambiguïté persiste aussi sur le plan de l'intégration de la part des **pertes commerciales** dans l'équation globale de la desserte. L'indicateur contractuel de SEAAL en l'occurrence, est le ratio de facturation, qui est principalement un indicateur financier, et inclut dans sa formule de calcul des exportations d'eau, ce qui fausse la considération de pertes d'eaux volumiques [cf. encadré]. Ce ratio a démarré d'une valeur de 38% lors de la prise en main du contrat, et était estimé à 58% en 2020 (contre un objectif contractuel de 62% en 2021). Cette évolution, bien qu'en dessous du seuil, contredit la constance des 30% des pertes physiques sur le réseau au fil des années. D'autant plus que la réduction du taux de facturation forfaitaire a fait partie des principaux composants du plan d'action de SEAAL depuis le démarrage du contrat [Rapport d'Assistance technique de SUEZ, 2020].

Un indicateur plus parlant pour l'évaluation des pertes physiques est l'indice linéaire des pertes (ILP) [cf. encadré], utilisé en France, en plus du rendement, pour la qualification de la performance des réseaux. Toutefois, dans le cas du réseau d'Alger, sa valeur peut être trompeuse dans sa considération évolutive entre approvisionnement intermittent et continu. Cette valeur, qui a démarré d'une valeur de 112m³/km/jour reste tout de même exceptionnellement élevée (9 fois plus élevée, dans sa valeur la plus basse, que celle des réseaux français gérés par SUEZ, et 4 fois plus élevée qu'à LYDEC (Casablanca) au Maroc, un réseau voisin au linéaire comparable (6667 km) historiquement géré par SUEZ dans le cadre d'un contrat de concession de 30 ans) [Rapport Annuel au Délégué, LYDEC – 2020].

Cette connaissance lacunaire s'étend à la prise en compte de la **consommation individuelle** de la population et de la vision de l'équilibre d'approvisionnement par les usagers. L'approvisionnement par abonné est particulièrement élevé à Alger (1300 litres d'eau distri-

en 1970, dont les attributions sont peu à peu limitées par la suite. En 1974, elles sont limitées à la gestion des infrastructures de production, en 1975 la direction régionale d'Alger est placée sous la tutelle du wali d'Alger et ses attributions sont étendues à la gestion de la distribution, et en 1977 la direction régionale SONADE d'Alger est dissolue, et la société de la wilaya d'Alger (SEDAL), chargée de la gestion des installations d'alimentation en eau potable et d'assainissement dans la wilaya d'Alger, est créée. En 1983, 17 entreprises nationales sont créées pour prendre en charge la gestion et l'exploitation des installations d'alimentation en eau potable et d'assainissement sur l'ensemble du territoire national, dont l'EPEAL à Alger.

bués par client par jour), mais les algérois ne ressentent pas de besoin d'économie, comme en attestent plusieurs témoignages d'usagers qui reprenaient en 2019 ce message collectif :

« L'époque de l'intermittence est révolue. Nous avons l'eau au robinet 24h sur 24 à Alger... Nous consommons ce que nous payons ».

[Message porté par plusieurs usagers interviewés lors de la mission terrain entre le 20 avril et le 3 mai 2019 (traduction de l'auteur à partir de l'arabe)]

Il est également intéressant de noter que si l'indicateur utilisé est la consommation par abonné plutôt que par personne, c'est en partie parce que la **population** même de la wilaya n'est pas maîtrisée. Le dernier recensement de la population en Algérie date de 2008. Un recensement plus récent était prévu en 2018, mais n'a pas eu lieu à cause de la situation politique perturbée du pays.

Enfin, la considération même de la **continuité de service** n'est pas basée sur un indicateur mesurable, dans un réseau où les interruptions de service sont très fréquentes, faire la part entre ce qui relève d'une perturbation ponctuelle et d'un retour vers l'intermittence est difficile sans avoir un indicateur quantitatif permettant de qualifier factuellement la nature du service.

« On n'a pour le moment jamais ô grand jamais respecté nos délais, on respecte les délais des travaux, mais on ne respecte pas les délais de remise en service »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

La pression ou le débit à l'entrée du réseau ne renseignent pas sur la nature d'approvisionnement aux points de consommation. Et le nombre de réclamations liées aux interruptions de service n'est plus représentatif lorsque les usagers disposent de moyens de stockage par exemple. Même si ces stockages sont censés avoir été abandonnés lorsque la transition vers le H24 a été actée, de nombreux logements de l'Est de la wilaya les gardent pourtant toujours. Le constat reste

malgré ceci celui d'une perturbation du service relativement importante, tant dans la fréquence que dans la durée des coupures, qui ont lieu hebdomadairement.

Encadré : Les Eaux non facturées et définitions standards des indicateurs des pertes en eau dans les réseaux d'eau potable.

Depuis les années 1990, à cause de l'ambiguïté des termes d'évaluation des performances des réseaux d'eau potable dans le monde, l'IWA a développé un ensemble d'indicateurs de performance pour les exploitations de distribution d'eau, qui ont nécessité l'établissement de définitions claires des pertes d'eaux considérées. C'est de là que naquit le concept des « Eaux Non Facturées », avec une définition simple et précise : il s'agit de la différence entre le volume d'eau introduite dans le système de distribution et le volume qui est facturé aux usagers. Ces ENF sont décomposées en trois types [Frauendorfer and Liemberger, 2010] :

1. Les pertes physiques (réelles) : qui englobent les fuites sur toutes les composantes du réseau (conduites, branchements et accessoires) ainsi que les pertes par débordement ou infiltration au niveau des réservoirs. Ces pertes n'incluent pas les pertes en aval du compteur, qui sont facturées.
2. Les pertes commerciales (apparentes) : causées par les sous-comptages, les erreurs de gestion de données clientèle, et les consommations frauduleuses (branchements illicites, clients non déclarés. ...).
3. La consommation autorisée non facturée : qui inclut l'eau utilisée à des fins opérationnelles par la compagnie, les bornes incendie. ...

La décomposition des volumes d'eau dans le réseau se fait selon le tableau suivant (Terminologie standard pour un bilan d'eau selon l'IWA) :

| Volume exporté / vendu en gros | | | | | | |
|---------------------------------|--|----------------------------|---------------------------------|---|---|------------------|
| Volume produit | Volume mis en distribution = Volume introduit dans le réseau | Consommation autorisée | Consommation autorisée facturée | Volume vendu en gros | Eau facturée | |
| | | | | Volume vendu au détail | | |
| | | | | Consommations non comptées mais facturées | | |
| | | Pertes en eau | Pertes apparentes | Consommation autorisée non facturée | Consommations comptées mais non facturées | Eau non facturée |
| | | | | | Consommations non comptées et non facturées | |
| | | | | | Eau de service | |
| | | | | | Sous comptage | |
| | | | | | Volume pertes fraudes | |
| | | | | | Volumes pertes facturation | |
| | | | | | Fuites sur conduites | |
| Pertes réelles (physiques) | Pertes réelles (physiques) | Pertes réelles (physiques) | Fuites sur branchements | | | |
| | | | Fuites sur accessoires | | | |
| | | | Volumes non identifiés | | | |
| | | | Pertes réservoirs | | | |
| Volume importé / acheté en gros | | | | | | |

TABLE 6.2 – *Water Balance (Bilan d'eau) selon l'IWA*

- L'indicateur de performance du réseau le plus répandu est le rendement, qui n'est autre que le ratio entre les eaux facturées et le volume d'eau mis en distribution.
- Le ratio de facturation est le ratio entre les eaux facturées et la somme des volumes d'eau produit et importé (il inclut donc les volumes d'eau exportée, i.e. les volumes d'eau vendue en gros, en dehors du système de distribution) : c'est cet indicateur qui est utilisé par SEAAL.

— L'indice linéaire de pertes en réseau (ILP) est un indicateur contractuel français exprimé en $\text{m}^3/\text{km}/\text{jour}$: Il s'agit du ratio entre le volume de pertes, qui est la différence entre le volume mis en distribution et le volume consommé autorisé (consommation autorisée dans le bilan défini par l'IWA, et qui inclut à la fois les eaux facturées, et les eaux non facturées qui sont autorisées comme les eaux de service -lavage des voiries, arrosage des espaces verts etc.), et le linéaire de réseau.

6.1.4 Opposition entre Alger et Tipaza

« SEAAL ça finit à l'oued Mazafran, c'est l'oued qui sépare Alger et Tipaza »

[Propos reportés par un expert à la direction exploitation de SEAAL, sur l'accueil réservé aux agents algérois de SEAAL par Tipaza, 23/04/2019]

La considération de l'approvisionnement en eau d'Alger et Tipaza par les opérateurs dénote une mise en opposition qui peut être illustrée par une déclaration d'ouverture sur le sujet :

« *Alger c'est pas Tipaza, on avait un schéma directeur, on avait un système d'information géographique, on avait une organisation, on avait des centres de distribution, on avait des secteurs d'intervention, on avait un organigramme qui tenait la route donc on était plus ou moins chanceux.* »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Malgré leur proximité géographique, Alger n'est donc, de l'avis de tous les opérateurs, pas Tipaza. Cette opposition se manifeste sur plusieurs plans :

— **Le réseau et l'allocation des ressources.** Alors qu'Alger est caractérisée à la fois par un étalement et une densification urbaine symptomatiques liés à son statut de capitale, Tipaza est une agglomération quasi-rurale très étendue dans l'espace (avec notamment un littoral plus important). Mis à part le chef-lieu situé au bord de la mer méditerranéenne qui représente avec ses ruines romaines et son espace balnéaire l'attraction touristique

de la wilaya (à l'inverse d'Alger où l'activité touristique est négligeable en comparaison), le reste du territoire est constitué de petits bourgs très éparpillés, dont certains sont en hauteur. La desserte en eau à Tipaza implique des réseaux plus étendus et plusieurs réseaux disjoints (Figure 6.8).



FIGURE 6.8 – Réseau d'eau à Alger et Tipaza en 2019
Source : *Elaboration propre, à partir des données de SEAAL*

L'approvisionnement à Tipaza, en attendant la livraison qui se faisait toujours attendre en 2021 du barrage de Kef Eddir Damous à l'ouest, est principalement basé sur des volumes captés de forages localisés, en plus d'une alimentation partielle à partir du barrage de Boukourdane, destiné principalement à l'irrigation de la vallée de l'Oued El Hachem et des régions de Hadjout et du Sahel, et enfin de la part d'eau de la station de dessalement de Fouka qui est allouée à Tipaza. L'autre part est attribuée à Alger, dont la position en tant que capitale – en plus de la pression du point de non-retour qu'est le H24 - la priorise en cas de manque d'eau. L'allocation à Tipaza est donc incertaine en cas de crise, en faveur de la desserte d'Alger.

« Alger est favorisée. Par exemple, s'il y a un problème à Alger nous avons une station de dessalement qui alimente Tipaza et qui est connectée à Alger, on passe directement à Alger ».

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

— **La consommation en eau.** Le bilan besoins/ressources n'est pas le même par habitant entre Alger et Tipaza, ce n'était pas le cas historiquement entre Alger et ses voisines [Chikhr Saïdi, 1997], et la tendance est restée la même. Tipaza est en situation de déficience hydrique alors que le plan de conversion en H24 à Alger s'est basé en premier lieu sur l'acquisition par le gouvernement de ressources supplémentaires pour répondre au besoin d'approvisionnement en eau de la capitale. Dans le cas de Tipaza, le réseau avait été réceptionné en 2012 sans mobilisation de ressources supplémentaires, si ce n'est la livraison future du barrage de Kef Eddir Damous à l'ouest. Les efforts d'acquisition des ressources qui ont précédé et accompagné le premier contrat de SEAAL à Alger n'ont pas été dupliqués à Tipaza.

« Pour Tipaza ce n'est pas la même chose, Tipaza il n'y avait rien de tout ça. En 2012 on avait les forages, on avait une quantité d'eau à partir d'un barrage pour alimenter un peu l'Ouest de Tipaza et c'est tout »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Les objectifs contractuels, adaptés au cas de Tipaza, avaient d'ailleurs été définis d'abord sur un périmètre excluant la zone de la wilaya concernée par la livraison de ce barrage.

Sur le plan de la dotation individuelle, la facturation forfaitaire des clients intégrés sans comptage au système d'approvisionnement témoigne de la différence d'allocation entre les deux réseaux : lors de la prise en main du réseau de Tipaza, la facturation forfaitaire était de 10 m³ par client par trimestre, elle a ensuite évolué à 30 m³, alors que le forfait est de 54 m³ au niveau d'Alger⁷⁷. Cette estimation qui était de 5,4 fois plus importante – et est actuellement évaluée au double –, contraste avec la priorisation d'Alger en cas de crise, le besoin de la population de Tipaza étant plus important.

77. Données issues de plusieurs entretiens avec les responsables clientèle de SEAAL

- **La réponse et l'exigence de la population.** Bien que la situation d'approvisionnement soit en faveur d'Alger, le centre de réclamations de Tipaza, où l'approvisionnement est majoritairement en intermittence et l'allocation individuelle est inférieure, reçoit beaucoup moins d'appels. Les habitants de Tipaza préfèrent encore se déplacer physiquement au centre clientèle lorsqu'ils ont besoin de régler un problème d'alimentation. Si ce comportement peut être en partie attribué à une culture orale plus persistante dans un environnement rural, la réalité c'est que globalement, les réclamations par habitant sont bien moindres à Tipaza, parce que le niveau d'exigence est inférieur à celui des algérois. Ceci est dû en partie à une situation initiale plus défavorisée, telle que mise en avant par un agent de SEAAL en relation avec le Centre d'Appel Téléphonique Opérationnel (CATO).

« A Tipaza il fut un temps où ils n'avaient pas d'eau carrément, donc là qu'il y a du quotidien élargi pour eux c'est déjà une aubaine, et c'est rural, donc ils ne réclament même pas, ils ne demandent même pas pourquoi ils n'ont pas d'eau. À Alger on est passé de stress hydrique au H24, maintenant ils ne veulent pas remonter le temps, ils ne veulent pas faire de concessions »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

L'enquête sur la perception par les usagers de l'efficacité de la stratégie de communication de SEAAL en 2018, en l'occurrence, a attribué un score supérieur au périmètre de Tipaza, alors que selon le témoignage du responsable du département de communication, aucune action n'avait été entreprise cette année-là sur la wilaya, et tous les efforts avaient été concentrés sur Alger.

« [...] par exemple en matière de communication pendant deux ans on n'a pas communiqué au niveau de Tipaza et j'ai eu une hausse de sept points, donc non, j'ai posé la question à la direction générale, comment j'ai pu avoir une hausse de sept points sans rien faire et tout le monde sait qu'on n'a rien fait pendant deux ans sur Tipaza parce que la qualité de service ne suivait pas donc on ne voulait pas avoir une communication à deux vitesses, la qualité

de service ne suit pas, les pouvoirs politiques ne suivent pas, je vais pas communiquer ou sensibiliser ou quoi que ce soit on a eu une hausse de sept points, donc c'est sur la base d'un échantillonnage, je crois 3000 ce n'est pas représentatif de tous les 5 millions d'habitants ni des 800 milles »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

- **La mentalité des agents.** Une friction a été constatée notamment par les experts étrangers de SUEZ entre les agents originaires de Tipaza et ceux qui viennent de la capitale.

« On a eu aussi le phénomène qui n'est pas facile. On est à 60 kilomètres seulement mais la mentalité n'est pas la même, c'est un peu compliqué... »

« [...]les étrangers on passe, on nous respecte, mais eux [les algérois et les tipaziens] ils ne s'aiment pas. [...] les gens se détestent »

[Expert à la direction exploitation de SEAAL, sur l'accueil réservé aux agents algérois de SEAAL par Tipaza, 23/04/2019]

Ce phénomène n'est pas une caractéristique exclusive des deux wilayas limitrophes, puisqu'au sein même d'Alger, la constitution de clans selon les origines des agents a pu être observée parmi les équipes de SEAAL. Même si l'esprit du contrat de Tipaza était d'arriver à terme à une autonomie de gestion, cette tendance peut entraver le processus de transmission de savoir-faire entre les équipes qui gèrent les deux systèmes de distribution. En effet, malgré les différences manifestes entre ces réseaux, leurs situations initiales étaient un approvisionnement en intermittence, dont l'amélioration est, comme nous l'avons exposé en première partie, peu maîtrisée dans le monde. L'extension du périmètre de SEAAL avait été pensée pour répliquer les actions qui ont abouti à l'amélioration de la desserte,

afin de faire bénéficier Tipaza de l'expérience acquise par les équipes d'Alger, et éviter de répéter les erreurs qui auraient pu être commises. L'incompatibilité qui a été notée va à l'encontre de cet objectif, et remet en question la pertinence de la centralisation de certaines directions entre les deux wilayas.

Toutefois, malgré l'opposition et les « hostilités » et les difficultés qui en ont résulté, cette stratégie a pu être implémentée au niveau opérationnel, dans la recherche de fuites :

« [...] un copié-collé complètement, copié-collé de toutes les actions, d'ailleurs c'est les algérois eux-mêmes qui sont allés là-bas ; ce qu'ils ont fait avec nous, ils l'ont fait tous seuls là-bas »

[Expert à la direction exploitation de SEAAL, 23/04/2019]

Ceci n'est pas le cas de toutes les activités de l'opérateur, et un copié-collé brut et complet, pose la question de l'adaptation aux caractéristiques locales de Tipaza par rapport à l'historique de desserte d'Alger.

6.1.5 Un réseau soumis à beaucoup de stress avant et après conversion

Si le réseau de Tipaza, en expansion et en réhabilitation suite à sa prise en main par SEAAL, s'apparente plus à une configuration rurale éparpillée, principalement en intermittence, le réseau d'Alger est lui, typique d'une agglomération urbaine importante, qui est soumis à beaucoup de stress lié aux facteurs suivants :

— Réseau originellement dégradé à cause de l'intermittence :

Nous démarrons par l'intermittence qui est commune aux deux réseaux, historiquement (à l'heure des entretiens) pour Alger, et actuellement pour Tipaza, et dont nous avons relevé

les impacts liés à la dégradation du réseau en partie 1. Ces constats ont été confirmés par les témoignages des opérateurs de SEAAL et par les responsables de l'ADE.

« [...] forcément, ces manœuvres-là avaient causé des dégâts sur les réseaux. Le réseau déjà naturellement il se dégrade avec le temps parce que les différents matériaux de notre réseau vieillissent avec le temps. Rajoutez à ça chaque soir, fermeture, chaque matinée réouverture, nous avons un nombre important de casses conduites sur tout le territoire, donc il y avait des casses dues à la vétusté du réseau, et il y avait des casses dues à ces opérations de manœuvres, donc ça causait des dégâts sur les réseaux. »

[Chef d'un centre de distribution à Alger, présent avant l'arrivée de SEAAL, 25/04/2019]

A Alger, si tous les efforts ont été implémentés pour la conversion en un approvisionnement continu, l'impact de la non-continuité de service sur le système d'eau potable avait déjà eu lieu et ne pouvait facilement être résorbé. L'intermittence crée une dégradation accélérée du patrimoine du réseau : forte corrosion des conduites métalliques due à la phase eau/air, phénomènes transitoires dus aux poches d'air, vieillissement accéléré des compteurs d'eau...etc.

Cette détérioration du patrimoine a, bien sûr, une incidence directe sur la performance globale du réseau, et de ce fait, sur la sécurisation de l'approvisionnement.

— **Le nombre important de travaux :**

« Il n'y a pas une semaine qui passe sans que l'on ait des travaux programmés ou non programmés. »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

Le réseau d'eau potable d'Alger est soumis à de nombreux stress mécaniques dus aux

nombreux travaux réalisés par SEAAL sur les réseaux d'eau et d'assainissement (renouvellements, réparations, extensions, renforcements, coupures d'eau) ou par d'autres compagnies travaillant dans le domaine public d'Alger. Ces coupures peuvent avoir un impact considérable, comme en témoigne un responsable exploitation :

« Des coupures vraiment fréquentes... on essaie de faire le maximum pour éviter ce scénario-là, on essaie de programmer des travaux avec des coupures, on essaie de faire très attention à ce point-là. Il y a des coupures très importantes où l'on doit passer par le ministère [...] surtout quand il y a un impact très important quand on touche une quinzaine ou une vingtaine de communes »

[Responsable des grands comptes à SEAAL, auparavant responsable clientèle et exploitation à Alger et Tipaza, 21/04/2019]

Tous ces travaux ont un impact considérable et non maîtrisé sur les conduites et branchements d'eau potable (coups de bélier, poches d'air) et sur l'environnement de ces conduites et branchements (mouvements de terrain, circulation routière...). Ils sont d'autant plus impactants qu'ils sont soumis à des restrictions territoriales et politiques qui limitent l'accès à des zones du réseau, et engendrent une multiplication des travaux dans l'espace et dans le temps.

« C'est très compliqué d'aller faire des programmes d'ampleur de renouvellement dans le centre d'Alger, [...] la route présidentielle [...] c'est vraiment compliqué moi j'aimerais bien faire des programmes d'ampleur comme ça et c'était quasiment impossible. Tu peux le faire par petits tronçons, et tu ne peux pas dire allez je vais prendre quatre kilomètres dans Alger c'est impossible, il y a un problème de circulation de véhicules, de poids lourds qui n'ont le droit de sortir que la nuit, c'est un problème d'autorité. »

[Expatrié français, expert patrimonial à SEAAL, 23/04/2019]

Cette situation exceptionnelle crée un risque majeur sur l'intégrité structurelle des conduites et branchements du réseau au même titre que le service intermittent. Il s'en suit un grand nombre de casses et donc de fuites.

— **La topographie des terrains :**

La topographie de la côte algéroise est caractérisée par la succession à partir du rivage actuel et jusqu'à une altitude de plus de 300 mètres, d'une série de gradins, disposés les uns au-dessus des autres comme les marches d'un escalier.

Ces marches interrompent brusquement la continuité des pentes, en général très rapides, qui bordent le littoral algérois. Si Tipaza connaît des altitudes plus importantes, elles restent plus étalées dans l'espace (Figure 6.9).

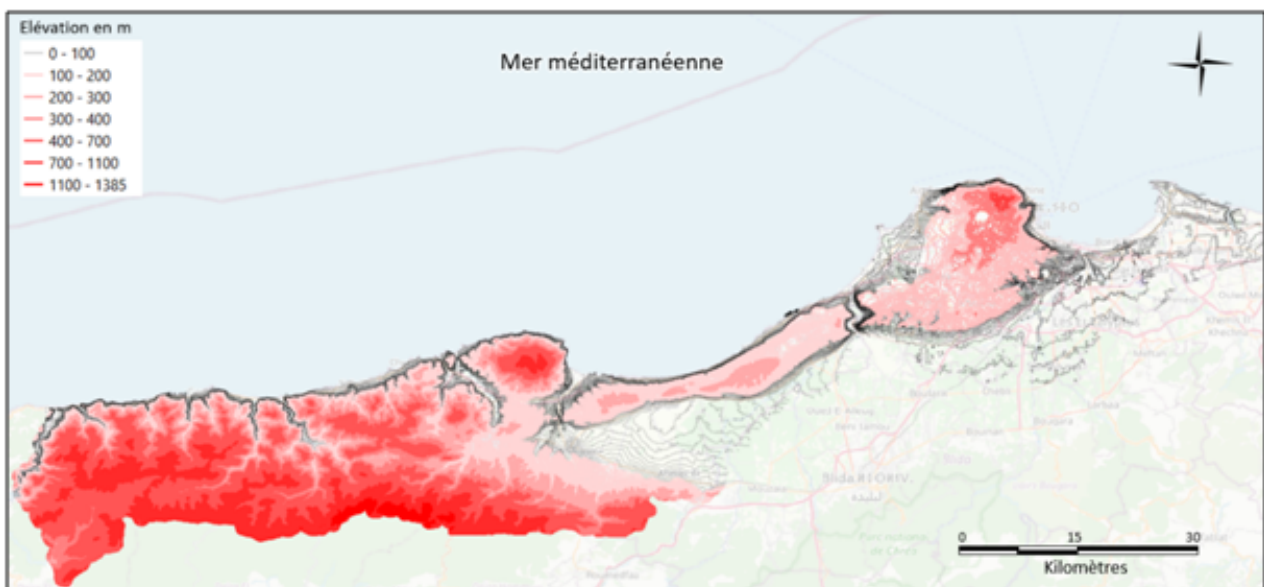


FIGURE 6.9 – *Topographie des wilayas d'Algier et de Tipaza*
Source : *Elaboration propre*

Il en résulte des différences de pressions très importantes et très hétérogènes. Certains points du réseau présentent des pressions très élevées et d'autres très basses. Plusieurs témoignages sur l'impact de la pression ont pu être recueillis auprès des opérateurs du réseau et des responsables d'exploitation :

« [...] vous avez une pression qui dépasse les normes [...] qui bousille les installations »

[Expert patrimonial à la direction exploitation de SEAAL, 23/04/2019]

« [...] des pressions qui dépassaient 20 bar, à des points les plus bas parce qu'il faut comprendre que la topographie d'Alger [...] est très tourmentée »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Une proportion importante du linéaire d'Alger est en refoulement-distribution, ce qui, malgré les efforts de modulation de pression instaurées dans le cadre des actions d'amélioration de la desserte par SEAAL, induit des casses importantes qui peuvent notamment être causées par des phénomènes transitoires. Le réseau est globalement en mauvais état, avec un nombre important de casses et de pertes qui expliquent les valeurs de rendement et d'ILP. Les efforts en termes de réduction des pertes arrivent à peine à compenser celles qui se créent.

« C'est vrai qu'on a beaucoup de casses, c'est vrai qu'on répare depuis 2006, 20000 fuites sur branchement par an et 5000 fuites sur canalisations donc actuellement, pour moi on n'est pas en train de faire de la réduction des pertes, on est en train juste d'équilibrer. Le taux de perte il est toujours le même »

[Expert Recherche de fuites à la direction exploitation de SEAAL, 23/04/2019]

— Le retard de création des nouveaux branchements :

Un des problèmes les plus marquants à Alger est le délai de réalisation des nouveaux branchements qui dépasse les 140 jours (214 jours pour le stock, qui peuvent dépasser les 600 jours en fin d'année⁷⁸), contre un taux de respect de délai de réalisation de 30 jours

⁷⁸. Les 214 ou 600 jours désignent la durée à attendre avant la réalisation d'un branchement, après la demande initiale de l'utilisateur, futur client de SEAAL.

estimé à 97% à LYDEC en 2016 [RAAD (Rapport annuel au délégataire) LYDEC 2020].

Ce délai peut pousser certains usagers algérois à se brancher illégalement au réseau, et générer ainsi plus de pertes commerciales. Ce point a été souligné à plusieurs reprises, notamment par les responsables de gestion des pertes commerciales :

« On n'est pas très bons en termes de branchements, le délai moyen de réalisation d'un métré de branchement est à 49 jours seulement sur de la réalisation, par contre sur les stocks on est à 214 jours, donc pendant les 214 jours qu'ils attendent leur métré, soit ils vont demander à quelqu'un soit quelqu'un est déjà passé pour leur dire voilà je vous fais ça ce soir vous l'aurez au lieu d'attendre 214 jours et pareil là on n'est que sur du métré, là on est sur de l'extension on est à 93 jours, la réalisation branchements donc ça veut dire réalisation ça y est on a fait le métré il a payé et il attend ça fait 146 jours en moyenne qu'il attend pour voir son branchement réalisé »

[Responsable Anomalie et Fraude à SEAAL, 23/04/2019]

Plusieurs raisons derrière ce problème de poids, sont citées par les mêmes opérateurs :

« Ce sont plusieurs arguments qui donnent ça, c'est non seulement du sous-effectif, pas de véhicules, pas de pièces donc à chaque fois c'est quelque chose, par contre comme par hasard dès que la DG fait une pression ça s'améliore, mais bon après c'est vrai que c'est au détriment des fuites et c'est au détriment d'autre chose ».

[Responsable Anomalie et Fraude à SEAAL, 23/04/2019]

L'impact sur les fuites et sur le réseau est dans ce cas inhérent à ce retard, car il engendre des pertes physiques liées à la qualité des travaux de branchements indépendants. Cette difficulté à SEAAL est étroitement liée à la fois aux problèmes d'effectif et de spécialisation

cités plus haut, qu'aux nouveaux lotisseurs et à l'expansion très rapide du réseau d'Alger, notamment lors du développement urbain anarchique caractéristique des années noires, et de celui de Tipaza, toujours en expansion.

— **Activités nocturnes :**

Enfin, parmi les paramètres de risque sur la réussite de la sécurisation de l'approvisionnement en eau on peut citer les difficultés de la recherche de fuites sur un territoire immense et qui présente beaucoup d'activités nocturnes qui perturbent l'écoute des fuites. Dans plusieurs axes de la ville d'Alger, comme nous avons pu le constater lors de sorties terrain, il est interdit par les autorités publiques d'intervenir pour faire des travaux pendant la journée. Ces axes connaissent un report des activités et travaux sur la nuit. La recherche de fuite acoustique étant une activité nocturne (pour éviter de détecter les bruits parasites liés aux tirages d'eau pendant la période de pointe, en journée), se retrouve de ce fait perturbée par ces travaux.

6.1.6 Inadéquation de la disponibilité des investissements avec les plans de déploiement

La disponibilité des investissements aux moments-clés de la vie du contrat est inhérente à chaque contrat. Compte tenu du développement urbain rapide d'Alger, il est souvent nécessaire de prendre des décisions stratégiques rapidement et souvent investir plus tôt que prévu, ou inversement, reporter des investissements prévus à une certaine date à plus tard en fonction de l'avancement des travaux. Dans un sens comme dans l'autre, il est difficile d'anticiper ou de retarder des investissements structurels importants lorsque le schéma directeur présente des défauts. Un des ingénieurs en charge de l'actualisation du schéma directeur en témoigne :

« [...] elle continue conformément au schéma directeur à réaliser les investissements, nous qu'est-ce qu'on avait comme problème, on avait un schéma directeur, si tu as un schéma directeur réalisé... [...] ... en 2000 à l'horizon 2020, ce schéma directeur ne bouge pas et [...] des investissements qui devaient se faire en 2002 2003 2004 se font en 2018 »

[Responsable à la direction technique de SEAAL (bureau d'études), 23/04/2019]

Les situations financières du gouvernement algérien étaient très différentes entre le début du contrat de SEAAL et l'ajout de Tipaza au périmètre. Dans SEAAL 1, le financement était particulièrement important, comme en témoigne un opérateur de la direction des grands projets, présent lors de la prise en main du contrat à Alger :

« C'était la première fois où on avait du mal à dépenser tout notre budget. L'argent n'était pas le problème, bien au contraire ».

[Responsable à la direction technique de SEAAL, 21/04/2019]

Cette déclaration a été fièrement confirmée par les représentants du gouvernement, dans leur explication de l'inexistence de bailleurs de fonds pour la gestion des services de l'eau et de l'assainissement en Algérie :

« Les vingt dernières années, l'Algérie était financièrement à l'aise, donc il faut savoir que l'Algérie c'est le seul pays au monde qui n'a pas de dettes c'est pratiquement zéro »

[Responsable de l'ADE, ancien responsable de la DRE de la wilaya d'Alger, 30/04/2019]

Cette situation n'a pas été maintenue lors de l'extension des contrats de SEAAL, où les investissements étaient moins importants. Par ailleurs, l'existence des ressources financières et leur allocation priorisée et temporellement impactante ne sont pas équivalents. Les risques sont de prendre du retard sur la création de nouvelles ressources en eau, de ne pas pouvoir mettre plus de moyens financiers sur les actions d'amélioration de la performance et donc de ne pas pouvoir réaliser les investissements pour combler le déficit production / demande.

6.2 À l'épreuve du politique

L'alimentation en eau étant un enjeu stratégique pour le maintien de la dignité des populations, de ce fait, l'approvisionnement en eau est au cœur des politiques des pays, particulièrement ceux concernés par des situations hydriques de stress. L'Algérie en faisant partie, la stratégie sectorielle de l'eau est une des promesses des dirigeants envers leur population, ce qui définit les objectifs et les orientations générales de l'investissement et des clauses contractuelles qui découlent de la politique centralisée du secteur.

Dans les cas d'Alger et de Tipaza, plusieurs contraintes liées aux orientations stratégiques globales imposées à l'opérateur du service ont été relevées lors des entretiens, avec des impacts directs sur les opérations de distribution sur le terrain, et ainsi de la qualité du service offert à l'utilisateur. La première de ces contraintes, était l'atteinte de l'approvisionnement continu.

6.2.1 Le H24 est un objectif politique

L'approvisionnement en eau potable sur l'ensemble du territoire algérien était historiquement très inégal d'une wilaya à l'autre, et principalement en intermittence, sauf pour les régions dotées localement de ressources ponctuelles abondantes [Chikhr Saïdi, 1997]. Le pays est caractérisé par une forte fracture entre le nord et le sud [Benblidia and Thivet, 2010], et la capitale, Alger, est favorisée par rapport au reste de l'Algérie, mais reste en déficit. Malgré cela, avant l'année 2010, la norme d'approvisionnement sur la wilaya d'Alger, à l'instar de tout le pays, était l'intermittence.

Toutefois, la fracture était également présente au sein de la capitale. Certains quartiers, principalement considérés et étiquetés comme « *VIP*⁷⁹ », étaient plus favorisés que d'autres. Ces quartiers pouvaient avoir l'eau en continu, alors que la majorité de la ville était à une alimentation de 6h par jour en moyenne.

⁷⁹. Anglicisme désignant *Very Important People/Person*, i.e. Personnes très importantes. Cette terminologie est utilisée à SEAAAL pour désigner les quartiers favorisés par rapport à l'alimentation en eau, et qui sont généralement approvisionnés en H24.

Avoir l'eau en H24 à Alger a été annoncé comme objectif politique par l'ancien président Abdelaziz Bouteflika lors de sa campagne électorale de 1999. Cette phrase a d'ailleurs été répétée par plusieurs des opérateurs de SEAAL qui ont été interviewés « *Chez nous en Algérie, l'objectif c'est d'arriver à une alimentation en eau potable en continu* ». L'accent avait alors été mis sur un approvisionnement conforme aux standards internationaux, et digne de la capitale. D'ailleurs, l'idée d'avoir une capitale où siégeait la présidence, avec beaucoup de personnalités importantes (d'où la notion de VIP), sans eau distribuée en H24, relevait pour certains de l'« *inconcevable* ». Le concevable était d'avoir l'eau au robinet 24 heures sur 24. L'opérateur de l'époque avait reçu des directives le sommant d'assurer cette couverture, sans y allouer les moyens nécessaires. Mais son interprétation du H24 à cette époque avait été traduite par l'action d'« *ouvrir tous les robinets du réseau* », et ne pas se soumettre à des contraintes liées à une dotation imposée pour la ville. Cette manœuvre a vite démontré des lacunes de taille dès qu'elle a été mise en pratique.

En effet, l'annonce du président, puis l'ouverture de tous les points d'eau pour un H24 « *immédiat* », a été suivie par la crise de sécheresse très importante des années 2000, et accompagnée de réactions violentes de la population. Cette situation a poussé le gouvernement algérien à réagir en urgence pour résoudre cette conjoncture, et à éventuellement mettre en jeu des investissements « *monstres* »⁸⁰ pour sécuriser l'approvisionnement en eau de la capitale⁸¹. Le système d'alimentation étant à sec, la solution adoptée avait été d'investir lourdement dans l'acquisition de ressources supplémentaires, et de faire appel à de l'expertise étrangère pour la gestion du système de distribution. L'alternative qui était d'attendre une vingtaine d'années pour une montée en compétence de l'expertise locale, a été écartée à cause de l'urgence de la situation. Ce qui a abouti à l'établissement d'un partenariat avec SUEZ et la création de SEAAL à Alger en 2006. Comme cité auparavant, trois autres grandes villes ont également été concernées par cette initiative, avec d'autres partenaires étrangers. Ces villes étaient Oran, Constantine et Annaba⁸², mais deux de ces contrats ont été interrompus de manière précoce.

80. Qualificatif utilisé par un exploitant historique de SEAAL (depuis 30 ans en 2019).

81. Éléments issus de l'entretien avec un des responsables historiques de l'approvisionnement en eau de la ville d'Alger, en charge de l'exploitation de SEAAL au moment de l'entretien.

82. Agbar (Barcelone, Espagne) pour Oran, Gelsenwasser (Allemagne) pour Annaba, et La société des eaux de Marseille (France), pour Constantine.

L'objectif du contrat d'Alger, qui s'établissait sur 4 ans, était principalement de conduire la conversion du système d'approvisionnement à une desserte H24. L'indicateur retenu était la continuité de service, et une carte de suivi des zones de la ville qui n'étaient plus en intermittence constituait le système de monitoring visuel permettant d'évaluer la progression de la situation, qui avait démarré à un état initial de 8% de H24 dans le réseau. La « réussite » du projet et du partenariat tenait à la coloration en bleu de toute la carte, ce qui représentait un passage en H24 de la wilaya. Cet objectif a été atteint en avril 2010, et a fortement été médiatisé, et fêté.

Depuis lors, le territoire algérois est considéré comme étant alimenté en continu, malgré les interruptions d'approvisionnement liées aux travaux très fréquents sur le réseau. On ne parle plus d'intermittence. Le seul message supporté par les autorités et agréé par la population est le suivant :

« Alger, la capitale, a réussi le pari de convertir son réseau en alimentation H24, et il n'y a pas de retour en arrière. L'intermittence caractéristique du reste du territoire algérien n'est plus un souci de la capitale. La promesse présidentielle a été tenue ».

6.2.2 Gestion urgentiste d'un système fragile

La gestion de l'approvisionnement en eau en Algérie donne l'impression d'une tendance à réagir au fil de l'eau/lorsque surgissent les problèmes plutôt qu'à chercher à anticiper ceux-ci, dans un système où la tension sur la ressource associée à une forte augmentation de la demande perturbe fréquemment un équilibre fragile. La crise des années 2000 a mis en difficulté le gouvernement, qui en est arrivé au point d'aménager une partie du port d'Alger pour recevoir des bateaux citernes de Marseille.

« L'état Algérien a même pensé à importer de l'eau de Marseille, via des bateaux citernes, donc on a même... au niveau du port d'Alger, on a même réalisé les installations pour que le bateau citerne puisse se connecter à cette installation afin de remplir les ouvrages stratégiques du centre d'Alger ».

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,

23/04/2019]

Cette mesure, qui n'a finalement pas été exécutée, témoigne d'une posture d'adaptation face à une situation de crise. On parle souvent d'irrégularité d'approvisionnement pour qualifier l'intermittence, particulièrement dans le cas d'Alger. Lorsque la norme d'alimentation n'était pas le H24, le maintien d'une régularité d'approvisionnement était le souci principal des responsables et équipes de distribution, pour éviter le soulèvement des habitants. La pression exercée par la population face à cette irrégularité fait partie des raisons derrière le recours à des solutions à exécution immédiate, afin de calmer les tensions face à l'inadéquation du service. Les responsables de l'exploitation et des grands projets de l'époque de l'avant SEAAL traduisent la gravité de la situation liée à la pression exercée par la population :

« C'était avant 2006 comment on a vécu, donc on a vécu la crise avec des émeutes, l'Etat a fait un investissement d'urgence pour mobiliser la ressource, réhabiliter le transfert, les barrages se sont remplis parce qu'on a eu une année pluviométrique qui était favorable, on a mis en place un programme de distribution et on gérait ce programme de distribution ».

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,

23/04/2019]

Cette posture, qui vient à la suite d'une fragilité d'un système où l'équilibre entre la demande et la ressource est très tendu, explique le choix de recours à l'expertise étrangère théoriquement déjà prête plutôt que l'investissement dans la formation des compétences algériennes.

La fragilité du système et le besoin de gestion de crise dans l'urgence émanent généralement d'une anticipation lacunaire ou inexistante des besoins et de la faiblesse ou l'inadéquation des propositions de réponses à ces besoins, lorsqu'ils ont été correctement diagnostiqués.

Les schémas directeurs d'eau potable sont supposés palier cette difficulté, en permettant une acquisition de la ressource et un dimensionnement du réseau basés sur des études de scénarios

d'approvisionnement sur le long terme, à des fins de sécurisation. Celui qui avait été établi pour la ville d'Alger avant la création de SEAAL contenait justement des scénarios de sécurisation, mais a présenté deux anomalies majeures dans son établissement et son exécution. Une anomalie inhérente à la conception du schéma, qui a sous-estimé l'accroissement démographique et l'urbanisation de l'agglomération algéroise. Et une dissonance entre les projets et actions préconisés et la disponibilité des investissements permettant de les concrétiser. La fragilité du système a donc persisté en arrière-plan jusqu'en 2015, où la demande a dépassé la capacité nominale théorique dimensionnée *a priori* pour répondre au besoin de l'horizon 2030.

Cet écart de conception est un symptôme d'un dysfonctionnement plus profond lié à l'absence de coordination entre les organismes de planification urbaine et le service public, d'approvisionnement en eau en l'occurrence. L'interdépendance entre population, infrastructures du bâti, gestion des ressources, réponse au besoin en eau et assainissement nécessite l'établissement d'une stratégie globale commune, prenant en considération ces différents pans de la planification du territoire [Aroua, 2012].

L'absence d'une telle stratégie implique des mesures de réaction face aux changements intervenants dans la structure de la ville et du périurbain. Pour l'approvisionnement en eau, cela se traduit par une marge de manœuvre de l'opérateur centrée uniquement sur la mobilisation de la ressource, en réponse à des demandes en dehors de son champ de maîtrise. Et l'offre est elle-même sujette à plusieurs aléas. Des aléas climatiques, et dans le cas de l'Algérie, des aléas gouvernementaux également⁸³. Ces contraintes induisent une rupture de l'équilibre d'alimentation qui devient imminente, à la suite de toute perturbation.

6.2.3 Rigidité de la procédure publique gouvernementale et législative

La gestion de l'eau en Algérie est régie par un cadre législatif à l'aspect immuable, gouverné par la loi sur l'eau et le code des marchés, qui imposent tous les deux des contraintes aux

83. Les dotations fournies aux villes par les barrages en l'occurrence, sont décidées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT), et peuvent, comme en 2020, brusquement chuter sans préavis.

activités impactant l'offre de l'opérateur, à l'évolution de la demande, et à la perception du service délivré.

La loi sur l'eau de 2005 a ouvert la possibilité de l'établissement d'un partenariat avec des entreprises étrangères dans le cadre de l'organisation du service public de l'eau. Des régimes de concession ou de délégation ont permis la création d'entreprises de gestion de l'eau telles que SEAAL à Alger ou SEOR à Oran, mais sa mise en place a généré des contraintes sur d'autres plans.

La tarification de l'eau à Alger est très basse si on la compare à son voisin marocain par exemple (Tableau 6.3). Ces tarifs bas, qui ont pourtant été revus à la hausse depuis 1998, ne représentent pas le coût réel de production de l'eau. Ils amenuisent de ce fait la possibilité d'établissement de mesures incitatives contre le gaspillage. Au niveau de l'ADE, c'est une sollicitation souhaitée par les opérateurs, mais que le public refuse, ce qui pousse le gouvernement à l'exclure :

« Les gens qui disent que tant qu'on paye notre eau elle est la nôtre on peut faire avec ce qu'on veut. Bien sûr, lorsqu'ils la payent c'est la leur, mais lorsqu'ils la payent au juste prix, aujourd'hui à l'échelle nationale, le prix de revient du mètre cube facturé, parce que lorsque je te facture un mètre cube, au départ moi j'en ai produit 2, parce que j'ai perdu 1 mètre cube en route par les fuites les débordements etc., donc je produis 2 mètres cubes je te vends 1 mètre cube le prix de revient de ce mètre cube que je te vends c'est 65 dinars. Et le prix moyen de facturation c'est 24 Dinars, donc nous sommes les seuls commerçants qui perdons de l'argent, plus on vend plus on perd. »

[Responsable de l'ADE, ancien responsable de la DRE de la wilaya d'Alger, 30/04/2019]

Ce même discours est repris par la majorité des personnes interviewées de SEAAL, pour lesquelles la tarification est le premier problème à résoudre, avant de pousser les solutions techniques opérationnelles. Cela dit, ce facteur est présenté comme une fatalité sur laquelle ils

84. Ce ratio est basé sur une répartition équivalente des consommations.

TABLE 6.3 – Comparaison des structures tarifaires entre SEAAL et LYDEC, données issues d'un ensemble de factures de LYDEC et de SEAAL, en 2020.

Source : Elaboration propre

| Consommation mensuelle | Consommation trimestrielle | Tranche LYDEC | Tranche SEAAL | Tarif euro HT LYDEC | Tarif moyen de toute la tranche (LYDEC) | Tarif euro HT SEAAL | Tarif moyen de toute la tranche SEAAL | Rapport LYDEC /SEAAL |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------------------------|----------------------|
| de 0 à 6 m ³ | de 0 à 18 m ³ | Tranche 1 (progressive) | Tranche 1 (progressive) | 0,27508 | 0,27508 | 0,0391 | 0,03906 | 7 |
| de 7 à 8 m ³ | de 19 à 25 m ³ | Tranche 2 (progressive) | Tranche 1 (progressive) | 0,552 | 0,31464 | 0,0391 | 0,03906 | 8 |
| de 9 à 12 m ³ | de 26 à 36 m ³ | Tranche 2 (progressive) | Tranche 2 (progressive) | 0,552 | 0,41354 | 0,127 | 0,061039 | 7 |
| de 13 à 18 m ³ | de 37 à 55 m ³ | Tranche 3 (sélective) | Tranche 2 (progressive) | 0,552 | 0,552 | 0,127 | 0,083018 | 7 |
| de 19 à 20 m ³ | de 56 à 60 m ³ | Tranche 3 (sélective) | Tranche 3 (progressive) | 0,552 | 0,552 | 0,2148 | 0,0896086 | 6 |
| de 21 à 27 m ³ | de 61 à 82 m ³ | Tranche 4 (sélective) | Tranche 3 (progressive) | 1,03408 | 1,03408 | 0,2148 | 0,117191481 | 9 |
| de 28 à 35 m ³ | de 83 à 105 m ³ | Tranche 4 (sélective) | Tranche 4 (progressive) | 1,03408 | 1,03408 | 0,2539 | 0,144531185 | 7 |
| > 35 m ³ | > 105 m ³ | Tranche 5 (sélective) | Tranche 4 (progressive) | 1,51616 | 1,51616 | 0,2539 | 0,25389 | 6 ⁸⁴ |

n'ont pas la main, au vu de la rigidité de la loi sur le sujet, leur discours est généralement clôturé par une prière :

« En priant le bon dieu qu'un jour le prix de l'eau sera conforme et qu'il ne sera plus subventionné pour essayer que les gens puissent gaspiller moins »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,

23/04/2019]

Le prix de l'eau tel que payé par l'utilisateur final gagnerait à être augmenté, en prenant en considération le niveau de vie des habitants, dont certains peuvent avoir des difficultés à payer l'accès à l'eau, et finalement avoir recours à des pratiques illicites pour avoir de l'eau courante. Cette augmentation doit donc se traduire par une adaptation selon une procédure plus sélective de la tarification progressive par tranches, avec une migration complète, à partir d'un certain seuil⁸⁵, de tous les volumes consommés au prix unitaire le plus cher, ce qui pousserait les gros consommateurs à maîtriser plus finement leur utilisation de l'eau. L'opérateur n'a malheureusement

85. Un problème que cette approche risque de présenter est le dépassement de ce seuil par des ménages pauvres, à cause d'une facturation collective imposée par leurs structures d'habitation (quartiers défavorisés ou habitat précaire, où le comptage se fait par compteur divisionnaire), une adaptation du tarif à la tranche sociale dans ce cas peut être plus adaptée, mais présente une complexification de la procédure de tarification, que SEAAL a encore du mal à appliquer à l'état actuel.

pas la main sur cette procédure. Le tarif de l'eau en Algérie a été fixé par décret en 2005, et le gouvernement algérien applique la même grille (selon des zones définies par logique de bassin hydrographique), que le réseau soit en approvisionnement continu ou pas. Cette démarche commune pénalise particulièrement l'opérateur à Alger où l'eau est reçue en continu sur la majorité du territoire, où la consommation et le nombre de gros consommateurs sont plus importants, et où les mesures progressives pratiquées pour l'augmentation du tarif de la dernière tranche ne sont pas suffisantes. Le prix de l'eau à Alger et Tipaza est très subventionné par l'État⁸⁶, toutes tranches confondues.

Par ailleurs, toutes les initiatives d'acquisition de matériaux, deancements de travaux ou d'appels à expertise pour des missions pour l'amélioration de la performance du système de distribution d'eau, par exemple, ont été sujettes aux procédures en place du code des marchés publics qui n'était pas en place initialement.

« On a vécu une mauvaise période 2009-2013 avec le code des marchés on a été freinés partout, ça a été compliqué d'aller faire les 80 km [de renouvellement], [il] y a eu un problème de code des marchés, on pouvait plus faire ce qu'on voulait. Tout passait en commission nationale, [...] la volonté était là mais on a été freiné... vraiment compliqué, que ce soit achats ou soustraitance c'était compliqué ».

Expert patrimonial à la direction exploitation de SEAAL, 23/04/2019]

La contrainte induite par le code des marchés publics implique d'un côté une obligation de recours à la production locale, avec une qualité des matériaux et des équipements de mesure fabriqués localement qui n'ont pas forcément les mêmes normes de fabrication et de contrôle qu'ailleurs. Ensuite, cette obligation se traduit par un processus long, induisant un allongement anormal des délais d'obtention des autorisations. Ces perturbations, en plus des aléas sur les

86. Certains médias algériens parlent même d'une discrimination au profit du périmètre géré par SEAAL. L'Etat subventionnerait d'après eux, en totalité, uniquement Alger et Tipaza, tandis que le reste du territoire algérien géré par l'ADE ne recevrait que 15% de ces subventions, source : <https://www.algerie360.com/algerie-letat-subventionne-leau-uniquement-a-alger-et-tipaza/>, consulté le 20 janvier 2021.

disponibilités des investissements, impactent l'exécution des directives préconisées par le schéma directeur, et fragilisent un système à l'équilibre initialement tendu⁸⁷.

« [...] En 2006, on n'était pas régi par le code des marchés publics, on avait notre propre procédure, à l'époque [...] j'avais sous ma coupe, plus d'une centaine d'entreprises privées, je posais ce que je voulais, [...] j'ai changé des centaines de milliers de branchements en 2006, et on est allés jusqu'à 120, 130 kms, avec l'installation de remplacement de plus de 105 000 compteurs, mais après la mise en place du code des marchés publics, [...] si on lance un appel d'offre, [...] si on est de bons élèves, il aboutira dans 8 mois, que ce soit pour la construction d'une station, la réhabilitation d'une station, ou pour la réalisation d'un réseau. Donc ce retard-là, [...]. »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,
23/04/2019]

Il est à noter que la soumission de SEAAL au code global des marchés publics a été suivie par l'établissement d'un code propre à l'entreprise, mis en place au sein d'un environnement politique perturbé dans un souci de transparence et de justification de la légitimité de l'activité et des transactions réalisées par SEAAL. Ce code « interne » est jugé par plusieurs opérateurs comme étant encore plus contraignant sur plusieurs aspects.

Actuellement, SEAAL ne peut pas faire appel à l'expertise étrangère, sauf pour des missions bien définies, et des accords bilatéraux avec des entreprises de fournisseurs algériens ont été passés dans le but de raccourcir les délais de traitement, mais se sont heurtés au manque d'équipement de ces entreprises, dont certaines ont faussé les données sur les moyens dont elles disposaient lors de la mise en place de l'accord.

« Donc on s'est dit [...], on va prendre les quatre, trois plus grandes entreprises d'Algérie, chaque entreprise on va signer avec elle un marché à commande pluriannuel, et chaque entre-

⁸⁷. Ces perturbations ont également concerné l'exploitation du parc forages, avec un nombre d'arrêt élevé d'arrêts du essentiellement à l'application du Code des Marchés Publics entraînant un retard considérable dans l'acquisition des équipements et pièces de rechange (pompes,...) et dans le démarrage du projet de réhabilitation de 40 forages (plus d'un an entre le lancement de l'appel d'offres et la signature du contrat).

prise va gérer une partie d'Alger, une à l'est, une au centre, une à l'ouest. Ok c'est ce qu'on a fait, mais est ce que ces entreprises ont les moyens de leurs productions, quand ils ont soumissionné on les a choisis, ils nous ont dit « on a vingt équipes, 50 000 véhicules, etc ». Mais dans la réalité ils ont que dalle, ils ont deux trois équipes, quatre équipes. »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,
23/04/2019]

Il est enfin intéressant de noter que la rigidité de la procédure publique n'est pas égale sur tous les plans. Elle est notamment plus « souple » sur le plan du respect des structures institutionnelles pour la gestion des ressources en eau telles que définies au niveau de la loi sur l'eau. Ce texte sommat dès 2005 la création d'un organe national consultatif dénommé « Conseil national consultatif des ressources en eau » chargé d'examiner les options stratégiques et les instruments de mise en œuvre du plan national de l'eau ainsi que sur toutes questions relatives à l'eau pour lesquelles son avis est demandé. Il a fallu 15 ans pour que la première réunion de cet organe se tienne. Ce fut le cas en 2020, pour une gestion urgente de la crise de sécheresse caractéristique de cette année.

6.2.4 Rapport contradictoire en relation avec l'étranger

Nous avons relevé la caractéristique de fermeture imposée par le code du marché algérien, sur des échanges de marchandises et d'expertise avec l'étranger. Une configuration contractuelle comme celle de SEAAL représente déjà une avancée dans ce sens, surtout lorsqu'on note l'interruption précoce des contrats de Annaba et Constantine. Cette situation peut toutefois, selon l'historique des relations entre le pays d'accueil et l'intervenant, mêler des conflits politiques à la gestion technique, et impacter le service livré à l'utilisateur.

Encadré : Villes algériennes et entreprises étrangères.

La première ouverture sur l'international en termes de gestion du service de l'eau en Algérie s'est faite suite à la réforme du secteur de l'eau qui s'est concrétisée par l'établissement de la

loi sur l'eau de 2005, qui rendait pour la première fois possible la concession et la délégation du service public de l'eau et de l'assainissement. Le gouvernement algérien avait confié la gestion de ces services, dans les 4 plus grandes villes au pays, à des groupes européens « expérimentés ». Des entreprises ont été créées par la suite de ces partenariats. A Constantine, c'est la Société des eaux de Marseille qui se voit confiée en 2008 le contrat qui a donné lieu à la création de la Société de l'Eau et de l'Assainissement de Constantine (SEACO), avec l'objectif de réhabiliter 1200 km du réseau sur 3 ans. A la fin de ces 3 ans, le contrat a été renouvelé, avec un objectif d'atteinte du H24 cette fois-ci. L'objectif n'ayant pas été atteint au bout de 2 ans et demi, le contrat a été interrompu, et un procès pour « fraude » dans la passation des marchés publics a été intenté, puis abandonné, contre les cadres de la société.

A Annaba, un partenariat avec le groupe allemand Gelsenwasser a donné lieu à la création de la Société des eaux et de l'assainissement d'El-Tarf et d'Annaba (SEATA). Le contrat, signé en 2007, pour une prise en main effective en mars 2009, a été rompu en 2011. Cette rupture de contrat intervient suite à une troisième et dernière mise en demeure adressée en avril 2011 par les services du ministère à Gelsenwasser qui s'est montrée, selon les termes employés par le ministre des ressources en eau de l'époque « incapable d'honorer ses engagements » en matière d'alimentation en eau potable et d'assainissement dans ces deux villes. Les responsables de cette société ont évoqué « la réglementation contraignante en matière de marchés publics » comme raison de non atteinte de leurs objectifs.

Dans ce sens, l'Algérie, en tant qu'ancienne colonie française, entretient des rapports qui peuvent être tendus avec une entreprise étrangère.

« Ils n'ont pas communiqué sur le fait que ce soit SUEZ, à la création de SEAAL personne n'a communiqué. On a communiqué sur le H24, à ce moment, il y a eu le président qui est venu dire cela, et c'est aussi politique avec la venue de Abdelaziz Bouteflika. Ce n'est pas très esthétique pour nous ou valorisant pour l'Algérien de faire appel à une entreprise française, surtout française du fait de la colonisation et tout. »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

Cette tension peut également concerner les représentants de l'expertise étrangère française, comme les expatriés de SUEZ par exemple.

Si certains ont exprimé les messages de gratitude qu'ils ont reçu de la part des usagers depuis la conversion d'Alger à la distribution continue, ils n'hésitent pas non plus à déclarer fuir des situations de conflit, lorsque l'insatisfaction de certains usagers devient violente et que leur statut d'étrangers peut leur porter préjudice.

« [...] des gens qui te disent ne fermez pas l'eau sinon on va te brûler la voiture [...] C'est géré n'importe comment, il y a eu des jets de pierres [...] quand ça commence à partir en vrille c'est foutu tu te plies et tu t'en vas surtout si tu es étranger [...] ... euh les français, les machins... ça se transforme en un jeu politique [...] »

[Expatrié français, expert patrimonial à SEAAL, 23/04/2019]

6.2.5 Perturbations : renouvellement contractuel fréquent

« C'est surtout l'instabilité contractuelle qu'il faut regarder [...] Nous avons de nouveaux objectifs et de nouvelles directives à chaque renouvellement. »

[Expert ENF SEAAL, 29/04/2019]

La structure contractuelle de SEAAL depuis sa création en 2006 a consisté en des contrats à durées courtes (4 contrats entre 2006 et 2021), avec des objectifs à plus court terme redéfinis à chaque nouveau contrat, accompagnés par des changements de personnel (que les rebondissements de l'environnement politique algérien impactent directement), et forcément une période d'adaptation où l'activité, y compris le plan d'amélioration de la performance, devient plus lente.

Cette politique offre un contraste fort avec celle de LYDEC⁸⁸ à Casablanca, où SUEZ a conclu un partenariat sous la forme d'une concession de 30 ans dans laquelle il n'y a eu aucun renouvellement de contrat, si ce n'est la révision des conditions techniques et économiques qui a été entamée en 2006 pour aboutir en 2009 à la signature d'un avenant intégrant les nouveaux besoins et enjeux de l'agglomération. Cette stabilité relative dans la structure contractuelle

88. L'exemple de LYDEC est pris au vu de la proximité géographique et culturelle des deux villes de Casablanca et d'Alger, même si le PIB par habitant est de 1.5 fois plus élevé en Algérie qu'au Maroc (Source : Données de la banque mondiale, disponibles sur : <https://donnees.banquemondiale.org/> . D'autres exemples peuvent compter les contrats indiens (O&M de 25 ans à Coimbatore, contrat de 12 ans à Malviya Nagar), et Jakarta (25 ans).

de LYDEC lui a permis d'avoir une visibilité sur une grande durée et d'investir les 5 premières années sur la fiabilité des bases de données (SIG, clientèle, etc.), avec un impact positif sur l'évolution du rendement (ratio de facturation de 78% en 2019 contre 58% à SEAAL). A SEAAL justement, les 4 premières années étaient toutes axées sur l'atteinte du H24, alors que la fiabilisation des systèmes d'information utilisés pour la gestion du réseau revêt une grande importance lors de la prise en main de tout contrat, et particulièrement lorsque celui-ci démarre d'une situation d'intermittence.

6.2.6 Un double discours financier

La qualification de la situation financière de l'Algérie pour la gestion de l'approvisionnement en eau n'est pas très claire. L'Algérie est présentée comme un pays sans dette, qui a été capable de mettre en jeu des investissements « monstres », avant la création de SEAAL.

Le résultat de ces investissements était de mobiliser de nouvelles ressources et réhabiliter le réseau, afin de faire face à la crise des années 2000 et sécuriser l'approvisionnement en eau de sa capitale, et réussir un pari que peu de villes dans le monde ont pu accomplir : convertir une alimentation intermittente en H24 en l'espace de 4 ans.

Cependant, dans la description de la situation de l'avant SEAAL, le manque de moyens est évoqué comme raison derrière la faiblesse de la performance. Les ingénieurs en charge de la gestion du service de distribution d'eau n'auraient pas eu à leur disposition des « ordinateurs, des véhicules, des bureaux équipés »⁸⁹, qui leur auraient permis de mener à bien leurs missions, et l'arrivée de SUEZ aurait remédié à ça. Cette considération est un peu singulière vu que c'est l'état algérien qui investit, et qui est d'ailleurs, à travers l'ADE, toujours en charge de la construction d'ouvrages et de la gestion des gros travaux d'extension sur le réseau.

Cette description échoue également à présenter des explications aux manques de moyens actuels en termes de ressources mobilisées présentement par SEAAL pour la gestion du réseau, notamment pour la recherche de fuites. SEAAL ne dispose que de 5 véhicules alloués aux 12

⁸⁹. Extrait de l'entretien réalisé le 23/04/2019 avec un responsable exploitation de SEAAL, responsable de la distribution d'eau à Alger depuis 30 ans.

binômes de chercheurs de fuites, qui travaillent en rotation, tandis qu'à LYDEC, ce ne sont pas moins de 26 équipes qui sont déployées sur un linéaire comparable, pour trouver des fuites, avec une efficacité⁹⁰ légèrement supérieure dans un réseau pourtant moins dégradé.

Une explication possible peut être attribuée à l'évolution financière globale de l'Algérie et à la discordance temporelle entre la disponibilité des investissements et le besoin d'implémentation des actions d'amélioration évoqué plus haut. La situation reste tout de même ambiguë, surtout lorsqu'on ajoute à cela la condition de Tipaza, qui était gérée par un même organe régulateur avant l'arrivée de SEAAL (ADE et DRE), mais pour laquelle des ressources supplémentaires et des investissements comparables à ceux d'Alger n'ont pas été entrepris. Si l'Algérie est aujourd'hui un pays sans dette, pourquoi un second prêt de la banque mondiale n'a-t-il pas été envisagé pour sécuriser la condition de Tipaza au même titre que celle de sa voisine, surtout au vu de la réussite clamée de l'expérience algéroise ?

6.2.7 Le H24 est un objectif contre-productif : point de non-retour face à la limitation temporelle et à une exigence résultante

La stratégie adoptée par Alger lors du premier contrat de SEAAL a été décrite par plusieurs agents de l'opérateur comme une « *action de gestion autour de la convergence des efforts pour la continuité... L'atteinte du H24 était devenue un élément fédérateur chez SEAAL, créateur de cohésion et de motivation. C'était l'objectif à atteindre pour et par tous.* »⁹¹. Si cette posture a certainement contribué à la réalisation de cette cible (avec quelques mois de retard), cette « fixation » sur le H24 a malheureusement impacté négativement la procédure globale d'amélioration de la performance du réseau d'Alger sur le long terme. Elle a propulsé d'un côté les exigences des usagers, mais également reporté certaines des actions qui devaient être mises en œuvre en priorité pour garantir la sécurisation de l'approvisionnement.

Parmi ces actions, la réhabilitation des ouvrages figure en tête de liste. Celle-ci a été repous-

90. L'efficacité de recherche de fuites est un indicateur qui évalue le nombre de fuites trouvées par linéaire de réseau inspecté.

91. Propos tenus par le responsable exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, mais cette même idée a été répétée par tous les opérateurs de SEAAL qui ont été interviewés.

sée au deuxième contrat de SEAAL, à cause de l'urgence de la transition vers l'alimentation continue pour le respect des objectifs contractuels.

« Dans le contrat SEAAL2 on est là pour réhabiliter ces ouvrages, ma principale réserve par rapport au contrat SEAAL1, c'était justement pourquoi on n'a pas réhabilité ces ouvrages, parce que pour le contrat SEAAL1, la population d'Alger ne connaissait pas le H24, et si on leur disait vous serez alimentés au quotidien tous les jours, ils auraient déjà été très contents, donc pourquoi ne pas profiter de la masse financière qu'il y avait à l'époque, pour réhabiliter ces ouvrages, parce que déjà la continuité de service n'allait pas poser problème, puisque les gens auraient été alimentés au quotidien, ... »

[Responsable à la direction technique de SEAAL (bureau d'études), 23/04/2019]

Ce choix a été fait alors qu'Alger disposait de plusieurs infrastructures dont la construction avait été entamée par la Direction des Ressources en Eaux (DRE), mais qui avaient été abandonnées en cours de route. Certains de ces ouvrages auraient justement permis, s'ils avaient été remis en service au début du contrat, de répondre à la demande croissante liée à la densification urbaine que le schéma directeur n'avait pas pu anticiper. Mais la priorité était alors d'atteindre la continuité de service.

Le report de ces actions après une mise en service du réseau en H24 présente aussi la contrainte liée à la réponse de la population en cas d'interruption de la distribution sur une longue durée, à cause des travaux nécessaires à la réhabilitation. Ces travaux qui auraient pu être menés sans problème pendant les plages de non-distribution lorsque la desserte était intermittente, deviennent problématique si l'alimentation est continue, face à des usagers plus exigeants (cet aspect sera détaillé dans le paragraphe 6.3).

Ce choix ne ralentit pas uniquement l'augmentation de la capacité structurelle du réseau par l'affectation des travaux de réhabilitation des « nouvelles⁹² » infrastructures. Il impacte également les travaux de réparation, qui impliquent des pertes sur la production existante.

92. Nouvelles dans le sens de leur intégration au sein du système d'approvisionnement.

L'exigence de la population en termes de service livré et la posture résultante du gouvernement face à l'interruption de l'approvisionnement entravent notamment la réparation d'une casse importante sur les deux canalisations principales qui alimentent le centre d'Alger *via* la station de traitement de Boudouaou, avec des tubulures de vidanges qui fuient, et où la plus petite fuite représente 200 à 250 m³/h de perte. Ces fuites identifiées posent un problème au moment de leur réparation, celle-ci nécessitant l'arrêt et la vidange de toute une canalisation, ce qui n'est pas compatible avec la contrainte de garantir le H24 à tout prix ! C'est cette même contrainte qui bloque la transparence de la communication avec les usagers, sur le plan de la sensibilisation à la fragilité de l'équilibre entre l'offre et la demande, et au niveau des interruptions nocturnes instaurées de manière systématique sur plusieurs secteurs face à la crise de sécheresse actuelle, sans que la population en soit informée.

6.3 À l'épreuve de la société

« Avant 2006 [...] on a vécu la crise avec des émeutes, l'Etat a fait un investissement d'urgence pour mobiliser la ressource, réhabiliter le transfert... ».

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,
23/04/2019]

Les pressions exercées par la population algérienne ont joué un rôle essentiel dans la décision de réforme du secteur de l'eau prise par le gouvernement algérien. Ce pouvoir a persisté après la prise en main de la gestion de l'eau par SEAAL. Les interactions de l'opérateur avec les usagers finaux, et l'impact qu'ils ont sur le service sont importants mais surtout, multiples. Plusieurs acteurs, organisations, dynamiques et rapports sont à prendre en considération dans ce sens. Qu'ils soient liés aux mesures d'adaptation des populations qui font suite à l'inadéquation entre le besoin exprimé par les usagers et l'offre officielle en eau, ou à la structure inhérente de la société réceptrice du service de l'eau. L'analyse de la situation d'approvisionnement à Alger et Tipaza a mis en avant plusieurs facteurs sociétaux à fort impact sur la mission de l'opérateur.

6.3.1 L'intervention de parties externes : lotisseurs, acteurs alternatifs

La nature d'un historique d'approvisionnement en intermittence engage des stratégies d'adaptation instaurées par les usagers dans leurs routines journalières, au niveau des différentes étapes de l'accès à l'eau.

Dans le cas d'Alger, le passage en alimentation H24 aurait dû s'accompagner d'une disparition progressive de ces structures et de ces acteurs. En 1988 déjà, avec l'arrivée du système d'alimentation de Keddara, le seul journal de l'époque : *Al Moudjahid*, affichait en grandes lettres : « Algérois jetez vos bâches, l'eau du barrage est arrivée! »⁹³, cependant, certains de ces dispositifs ont subsisté jusqu'à aujourd'hui. L'offre de vente de l'eau embouteillée a connu une évolution impressionnante à la hausse durant les 20 dernières années [Ait Oubelli, 2018]. Si cette activité peut être liée à l'évolution économique et industrielle globale de l'Algérie, cette tendance ne peut pas expliquer l'évolution des structures restantes, toujours en place.

Sur *Oued Kniss*, le réseau de vente entre particuliers d'Alger, plusieurs offres de location de camions citernes pour la distribution d'eau peuvent encore être trouvées pour un service sur le périmètre de la wilaya à ce jour⁹⁴. Par ailleurs, l'installation de réservoirs de stockage et de bâches fait toujours partie des premiers réflexes des propriétaires lors de la construction de nouveaux logements individuels, et les citernes des bâtiments de l'ère coloniale dans plusieurs quartiers d'Alger ont rarement été déconnectées depuis la transition vers l'alimentation continue. Il faut également noter que les pratiques de branchement illicite sur le réseau n'ont pas connu de décélération non plus. Ce qui est singulier, en revanche, c'est le fait que ces opérations de branchements illicites se font illégalement par des agents de l'opérateur. Ces agents répondent par eux-mêmes (de manière complètement indépendante de SEAAL) aux besoins des habitants nouvellement installés qui se trouvent dans l'impasse face aux délais de création de nouveaux branchements qui sont de 214 jours en moyenne à SEAAL, et qui peuvent même

93. Extrait de l'entretien réalisé le 30/04/2019 avec un responsable de l'ADE, responsable historique de la DRE.

94. Une présentation plus détaillée de l'exploration des données de Oued Kniss est présentée dans la section suivante

arriver à 600 jours.

Des manœuvres de vannes illicites sont également constatées dans la gestion opérationnelle du réseau, lorsque des tournées de distribution sont programmées.

« Tipaza c'était vraiment très dur parce qu'ils avaient une autre mentalité. [...] les gars qui travaillaient avec des méthodes un peu archaïques. Et c'était difficile de les remettre un peu sur les rails pour respecter le programme de distribution mais ils se faisaient de l'argent, c'est une réalité. Par exemple, les gars ont une fête, ils ont une walima⁹⁵, si j'ai besoin d'eau sur une tranche horaire, il va aller donner un peu d'argent et il a l'eau »

[Responsable à la direction technique de SEAAL, 20 ans de service dans la gestion de l'eau d'Alger et Tipaza, 27/04/2019]

Parallèlement, la structure même de la planification urbaine à Alger traduit de son côté une dissociation entre les plans d'urbanismes et les schémas directeurs pour l'approvisionnement en eau. Au-delà des problèmes de non-conformité liés aux branchements illicites, aux extensions illégales et aux doubles réseaux, il y a une absence de coordination entre l'opérateur et les entités de construction de lotissements en particulier. Les nouveaux lotissement et leurs infrastructures en eau et en assainissement sont gérées par des lotisseurs privés, et l'opérateur n'intervient qu'*a posteriori*, sans possibilité de vérifier la conformité des travaux, ce qui en fait des points sensibles pour l'alimentation en eau, car non maîtrisés. A ces lotissements s'ajoutent les programmes de logements qui viennent remplacer les structures illégales, en masse (Figure 6.10). La gestion des lotisseurs et de ces programmes de logement est un problème majeur pour l'opérateur tant pour les fuites que pour les pertes clientèle.

Les travaux d'extension des réseaux d'eau et d'assainissement dans ce cas n'étant pas sous la responsabilité de l'opérateur, il existe des risques de non-conformité importants sur la qualité des travaux, risques sur la qualité des matériaux, risques de fuites après mise en service, risques de vols d'eau sur les branchements en attente et des risques d'usagers illégaux. Cette absence

95. *Walima* : fête ou festin en arabe

d'articulation impacte directement la capacité d'intégration des extensions de réseaux dans les normes, et cela s'ajoute à la difficulté de création de nouveaux branchements. Cette situation explique en partie l'évolution à deux vitesses de l'étalement urbain et de l'offre en eau de l'opérateur, et, par là, la difficulté de contrôler les pertes et les indicateurs de performance associés, et la qualité de service de distribution d'eau.

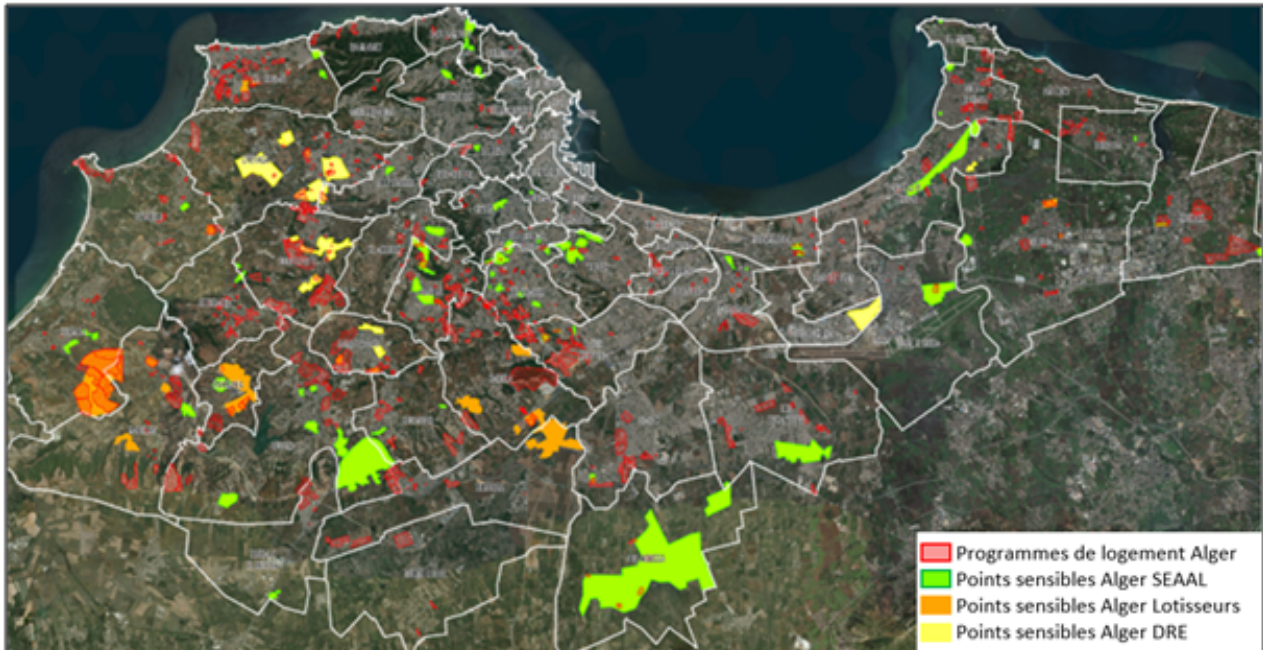


FIGURE 6.10 – *Points sensibles pour la distribution d'eau à Alger, issu des données de SEAAL (rapport annuel de 2019)*

6.3.2 Communication à deux niveaux et évaluation contradictoire

L'importance de la régularité de l'approvisionnement en eau a été relevée à plusieurs reprises par toutes les catégories d'acteurs rencontrés. Or, en cas de défaut, auquel un système aussi perturbé que celui de SEAAL est forcément soumis (intermittence actuelle ou historique), une bonne communication est nécessaire pour compenser le manque de régularité reproché à l'opérateur.

Seulement, cette communication semble être à double vitesse, à la fois entre Alger et Tipaza, et selon les éléments que l'opérateur a le loisir de communiquer.

D'un côté, un Centre d'Appel Téléphonique Opérationnel (CATO) a été mis en place afin

d'assurer une communication de proximité avec les usagers, avec une meilleure réponse de la part des algérois, où l'effort d'implication des clients a fait partie des quatre piliers identifiés comme clés pour réussir le H24. Dans ce sens, peut-être que, au-delà de la culture orale et du niveau d'exigence plus restreint, le manque de succès enregistré à Tipaza pourrait être attribué à un défaut de communication de l'existence et du rôle du CATO auprès des usagers.

Au niveau des perturbations de distribution, la communication se fait selon des canaux adaptés au public concerné et en fonction du périmètre impacté. Divers moyens sont déployés, dont l'affichage municipal ou de proximité (à l'entrée des immeubles, au niveau des mosquées ou des marchés...), la communication par réseaux sociaux et sur le site web de SEAAL, ou par radio, ainsi que par téléphone en réponse à des réclamations au niveau du CATO. Si cette communication est systématique lorsque les perturbations sont ponctuelles, suite à des travaux sur le réseau par exemple, elles ne le sont pas pour les plannings de distribution lorsque l'intermittence est un régime établi, dans le cas de Tipaza en l'occurrence⁹⁶. Et même lorsqu'il s'agit d'une annonce de coupure d'eau pour travaux, certaines imprécisions peuvent amener les usagers à décrédibiliser les communiqués de SEAAL, notamment dans les parties du réseau où la remise en eau après une coupure supposée d'une demi-journée dure plus d'une semaine... Ces lacunes relèvent tout de même d'un décalage technique entre l'action sur le réseau par l'opérateur (fermetures et ouvertures et vannes), et l'impact sur le point de consommation, qui peut être hydrauliquement très défavorisé. Ceci relève de l'inexactitude plutôt que du manque de transparence de l'opérateur, et d'un problème potentiel d'échange entre les services techniques d'intervention et de communication de SEAAL.

Parmi les éléments sur lesquels l'approche de SEAAL n'est pas transparente en revanche, nous retrouvons à Alger la qualification de l'approvisionnement, qui était, avant l'été 2021, toujours considéré en H24 malgré les interruptions récurrentes de service, et de ce fait la sensibilisation des usagers face à la situation inquiétante du bilan besoins/ressources. Si des campagnes et évènements avec des spots anti-gaspillage sont organisés et diffusés, aucune information sur

96. Il y a ici un élément structurant de différenciation entre intermittence et perturbation : plus qu'un seuil dans la fréquence ou l'occurrence, c'est le régime de communication associé qui les différencie. Les perturbations donnent lieu à une communication spécifique, là où pour l'intermittence on demeure dans une communication générale (i.e. non actualisée à chaque intermittence), voire pas de communication du tout.

l'état factuel de l'équation de l'offre et la demande n'est mise en avant. L'urgence de la situation est quelque peu camouflée. Ce camouflage concerne même les problèmes structurels du réseau, comme en témoigne le responsable communication de SEAAL :

« SEAAL n'a pas trop communiqué sur les problèmes structurels, on est en train de se battre depuis deux ou trois ans pour dire, il faut dire aux gens qu'il y a de réels problèmes structurels surtout sur l'Est d'Alger, on n'a pas les ressources nécessaires ni les infrastructures nécessaires pour assurer un H24 durant par exemple la saison estivale. Les autorités publiques ne veulent pas ça. »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

La stratégie de communication de SEAAL est basée sur le principe d'éviter la panique de la population. Une des actions adoptées pour la gestion de la sécheresse de 2020, en l'occurrence, était la mise en place de « clôtures d'approvisionnement nocturnes »⁹⁷. Celle-ci s'est fait sans aucune alerte de la population. Le gouvernement algérien tient à « résoudre les problèmes d'alimentation » en coulisses, sans alerter ou « inquiéter » les usagers.

Cette approche présente le défaut de ne pas tenir compte de l'impact des usagers sur la desserte. L'équation à satisfaire inclut d'un côté le terme de l'offre et de l'autre celui de la demande. Une stratégie d'augmentation de l'offre uniquement a ses limites, si l'autre terme n'est pas maîtrisé, notamment au vu d'un gaspillage causé par une non-sensibilisation aux enjeux de la consommation excessive d'une ressource rare.

6.3.3 Absence de structures représentatives/regroupant des usagers (syndics)

« Et c'est ça le problème crucial qu'on doit régler en Algérie si on veut réduire les pertes, améliorer les rendements techniques des réseaux, alimenter les gens convenablement, ne pas

97. Qui correspondent à des coupures de la distribution d'eau pendant la nuit, les plages considérées concernaient généralement la partie de la nuit entre 22h et 6h du matin

stresser le réseau, c'est par les syndicats d'immeubles, et on n'en a pas »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans,
23/04/2019]

Un des problèmes caractéristiques de la maîtrise des volumes distribués est la facturation des eaux communes résiduelles, au niveau d'une résidence, d'un quartier, ou d'un bâtiment par exemple. Même lorsque ce dernier est doté d'un compteur divisionnaire, l'absence d'une entité représentative de l'ensemble de la communauté, tel un syndic, pose un problème de distribution de ces consommations, qui vient s'aggraver en cas de fuite à ce niveau, impactant les pertes en eau physiques, et même commerciales (problème de comptage, fraudes, etc.).

L'absence de cette structure particulière implique également qu'il n'y a pas d'interlocuteur auquel l'opérateur peut s'adresser lorsqu'une anomalie concerne l'ensemble des usagers. Sa présence aurait renforcé l'offre de communication de l'opérateur en présentant un canal parfaitement désigné, à portée plus restreinte, et donc plus ciblée et adaptée que le centre d'appel global en charge de tout le périmètre algérois. A titre d'exemple, dans le cadre du programme d'intégration des Quartiers en Développement, l'opérateur pouvait s'arranger avec des comités de quartiers pour organiser des discussions avec les représentants des habitants et définir de manière participative les modalités de prise en charge des clients de SEAAL, habitant le quartier. Ces entités ont par la suite disparu, interrompant ce processus qui avait pourtant prouvé son efficacité.

« Auparavant on préparait ça même avec les APC [Assemblées populaires communales]⁹⁸ qui mettaient à notre disposition des salles de cours d'écoles primaires et tout ça, et on organisait des réunions avec des habitants, comité de quartier avec la DRE, les APC, on leur expliquait le projet de démarrage, qu'est-ce qu'on avait fait, ce que l'entreprise va investir, ce qu'on attend des clients, des futurs clients, en fait on leur apprenait tout simplement à devenir de bons clients plus tard [...] D'ailleurs, parfois dans certains quartiers, ils n'existaient même pas, c'est à un

98. L'assemblée populaire communale ou APC est l'assemblée délibérante élue de la commune en Algérie. Elle est l'équivalent du conseil municipal en France.

autre passage qu'on leur demandait de se constituer en comités de quartiers, tout simplement pour qu'on puisse avoir un seul intermédiaire avec les chefs de projets pour pouvoir discuter avec eux, avoir un seul représentant et tout ça. Parfois ils y arrivent, parfois ils n'y arrivent pas, et quand ils n'y arrivent pas, on est obligés de discuter avec eux [...] Aujourd'hui, comme ça prend beaucoup de temps, on a réduit ça, pour ne garder par contre que de l'affichage, ... ».

[Responsable Anomalie et Fraude à SEAAL, 23/04/2019]

6.3.4 Evolution de la confiance/exigence de l'utilisateur en fonction du service proposé

La mise en place d'un centre d'appel téléphonique opérationnel au niveau d'Alger avant même la création de SEAAL a permis d'établir un canal de communication pour faire remonter les problèmes et dysfonctionnements d'approvisionnement, ce centre a beaucoup de succès avec plus de 450 000 appels reçus en moyenne par an.

Lorsque le périmètre du contrat a été élargi, Tipaza a été intégrée à la zone d'influence du CATO, à dessein de duplication de l'expérience d'Alger, mais l'impact a été moindre. Comme mentionné auparavant, la qualité du service d'approvisionnement à Alger est bien meilleure (avec une desserte en H24, une dotation plus importante, un ratio de facturation supérieur, des interventions plus rapides...), mais les usagers à Tipaza appellent beaucoup moins le centre qu'à Alger.

Si certains habitants peuvent considérer que le centre est plus « loin » d'eux, et donc éprouver une distance par rapport à l'opérateur que seul un déplacement physique vers ses locaux (ou même parfois ceux de la commune) peut rassurer, cette particularité peut également être liée à une perception différente de la qualité de service entre habitants d'Alger et de Tipaza. La différence de perception pourrait s'expliquer par la grande importance accordée à la transition vers un approvisionnement continu en eau à Alger, ce qui n'était pas le cas à Tipaza.

Même si la nature touristique de la ville justifie une demande d'approvisionnement en H24, notamment au niveau des stations balnéaires du chef-lieu, l'objectif contractuel mis en avant n'a pas été le « H24 à tout prix ». Un objectif d'atteinte du « quotidien élargi⁹⁹ » est de rigueur à Tipaza. L'approvisionnement est de ce fait adapté en fonction des périodes de pointe à une tentative de répartition équitable de la ressource. Il est également important de noter que lorsque la situation initiale est très dégradée, toute amélioration peut être positivement accueillie lorsque les attentes ne sont pas orientées vers un objectif sensiblement plus ambitieux.

Dans le cas d'Alger, avec la promesse présidentielle, et toute la communication autour de l'atteinte d'un approvisionnement « *digne de la capitale, et conforme aux standards internationaux* »¹⁰⁰, l'exigence de la population a suivi. Lors du premier contrat de SEAAL, le H24 a été promis à l'Algérois, qui ne pouvait pas accepter un autre résultat, et à partir de son atteinte en 2010, ce H24 a été considéré acquis, et aucun retour en arrière n'était plus envisageable pour l'utilisateur.

Il y a tout de même des nuances à apporter à cette considération, car deux constats remettent ces observations en perspective. D'un côté, le taux de satisfaction enregistré par l'opérateur suite à son enquête annuelle relève un meilleur taux de satisfaction à Alger qu'à Tipaza. Ensuite, au sein même d'Alger, c'est de la zone Ouest que la majorité des réclamations proviennent, alors que la perturbation du service est plus importante à l'Est de la capitale, notamment le jour de l'Aïd¹⁰¹ et lors de la période estivale, où plusieurs zones sont remises en approvisionnement rationné (sans que cela soit explicitement annoncé par l'opérateur par ailleurs). Cette tendance peut être expliquée par une suppression des citernes de stockage par les habitants de l'Ouest d'Alger, justement suite à un approvisionnement continu plus fiable. Cet acte qui traduit une confiance envers l'opérateur s'accompagne d'une augmentation de l'exigence à son égard, due

99. Le quotidien élargi est une desserte journalière de plus de 8 heures par jour.

100. Extrait de l'entretien réalisé LE 23/04/2022 avec un responsable communication de SEAAL.

101. L'Aïd al-Adha ou Aïd el-Adha (littéralement « fête du sacrifice ») est la dernière des deux fêtes officielles qui sont célébrées dans l'islam (l'autre étant l'Aïd al-Fitr), lors duquel des animaux sont sacrifiés rituellement par chaque famille, ce qui nécessite des préparations de boucherie et un nettoyage des lieux après le sacrifice, mobilisant des quantités d'eau importantes. En 2020, l'ADE a constaté une consommation quotidienne moyenne au niveau national qui a été supérieure à 10 000 000 m³, qui « a été consommée entre 5h et 14h, soit 5 heures, voire 4 heures dans certaines wilayas » (Source : Algérie presse service, AEP : Une consommation « record » à l'origine des perturbations durant l'Aïd El Adha, publié le lundi 3 août 2020, disponible sur : <https://www.aps.dz/economie/108170-aep-une-consommation-record-a-l-origine-des-perturbations-durant-l-aid-el-adha>).

à l'élimination du temps d'adaptation et du confort que le réservoir présentait. D'autant plus que le bypass et la déconnexion des réservoirs domestiques ont été préconisés par l'opérateur lors du passage en H24, pour éviter des hausses de factures liées aux fuites internes, ainsi que les problèmes de qualité causés par la stagnation de l'eau.

D'un autre côté, la méfiance envers les autorités et envers une entité qu'on lie à l'ancien colonisateur peut provenir d'une tendance culturelle historique. Il est toutefois intéressant de noter une augmentation du taux de recouvrement qui traduit une amélioration sur ce plan. Les usagers sont, d'après le témoignage d'agents de SEAAL, plus nombreux à être « *prêts à payer, surtout lorsqu'ils voient qu'il y a des équipes qui réparent des fuites... qu'il y a des gens qui sonnent à leur porte en disant « je viens de relever le compteur »* ».

6.4 Synthèse du chapitre 6

L'analyse des résultats de l'enquête terrain s'est effectuée à partir de deux angles d'analyse :

1. La comparaison de la perception de la qualité de service entre l'opérateur et l'utilisateur en prenant en compte les contraintes qui régissent l'offre et qui affectent la réponse au besoin ;
2. L'évaluation de l'atteinte de la continuité de service en tant qu'objectif d'amélioration de l'offre d'approvisionnement pour deux réseaux qui évoluent dans un contexte comparable, mais avec des conditions initiales variées en termes de ressources et d'infrastructures.

Ce chapitre s'est concentré sur le premier aspect du premier angle d'analyse, centré sur l'opérateur, et sur le deuxième angle d'analyse, qui a évalué l'objectif du H24.

Sur le premier aspect, en plus du volet technique qui s'est principalement manifesté par la détérioration du réseau et une ambiguïté et un manque d'information caractéristiques de l'intermittence, notamment sur la maîtrise des moyens disponibles, du réseau et des indicateurs lors de la prise en main mais également en cours de vie du contrat d'approvisionnement, l'étude a permis de relever trois niveaux selon lesquels la réponse à l'hypothèse de départ se décline :

- Le politique : L'objectif politique inébranlable du H24 s'est avéré contre-productif à long terme dans le cas d'Alger en raison du cadre réglementaire rigide en Algérie et d'une gestion urgente et réactive d'un système de plus en plus fragile.
- Le territoire : Une planification homogène et partagée de l'espace urbain est essentielle pour la réussite d'un projet d'approvisionnement en eau, surtout dans des conditions de sécheresse où la maîtrise de la demande est le seul moyen de faire face au manque. L'inadéquation d'une telle planification, comme dans le cas d'Alger, ou son absence, comme au niveau de Tipaza, fragilise le système et met en péril la qualité de service et la pérennité des infrastructures.
- La société : L'utilisateur évolue dans un écosystème où sa contribution est significative, et son évolution, en termes d'exigences ou d'interventions externes, impacte la résilience de

l'offre de l'opérateur. Il est donc crucial d'avoir une politique de communication transparente envers l'utilisateur et d'organiser sa représentativité au sein d'un écosystème où ses interférences avec d'autres acteurs sont multiples.

En ce qui concerne le deuxième aspect, la réponse se trouve dans l'analyse politique mentionnée précédemment. L'atteinte de la continuité de service à Alger a révélé l'effet contre-productif de l'objectif ultime de H24 dans ce contexte. Cette situation peut être attribuée à une échéance inadaptée de l'objectif par rapport aux ressources disponibles et à la stratégie globale. En outre, la gestion réactive et urgente de l'infrastructure a entravé la mise en place de mesures d'amélioration à long terme. Cet effet a été exacerbé par une évolution des exigences des populations auxquelles on a promis la continuité de service, rendant impossible tout « retour en arrière ». Cette analyse souligne l'importance d'adopter une approche proactive et à long terme pour améliorer le service d'approvisionnement en eau dans des contextes similaires à celui d'Alger.

Enfin, l'analyse a également permis de relever une absence d'interaction officielle entre l'opérateur et le tissu local lors de la reprise d'un nouveau réseau avec un ordre préétabli, alors même que certains de ses représentants sont impliqués. Cette posture l'empêche notamment d'identifier les moyens d'assimilation adoptés dans un contexte d'intermittence qui peut exacerber les éléments de conflit potentiel, en l'absence d'une stratégie d'intégration dédiée.

Chapitre 7

Perception de l'utilisateur :

Rapport à l'eau

Nous examinons dans ce chapitre le deuxième volet du premier angle d'analyse : celui de la perception de la qualité de service par l'utilisateur.

La revue de la littérature et les entretiens techniques de la partie 1 ont permis de construire un outil d'évaluation de la qualité de service de la distribution d'eau par réseau, et de relever globalement un rapport à l'eau particulier dans le cadre de l'intermittence, sur ses étapes d'acquisition, d'acheminement, de transformation et de stockage de l'eau, ainsi que des usages qui en sont faits.

Dans le cadre de notre enquête terrain, nous avons pu mettre en oeuvre l'outil développé en partie 1, et examiner les usages de l'offre d'approvisionnement en eau, dans sa globalité, auprès des usagers. L'analyse s'est faite sur la base d'un questionnaire analysé qualitativement, des entretiens auprès d'usagers portant sur leur qualification du service fourni par le réseau, et sur les mesures alternatives auxquelles ils ont recours lorsqu'il fait défaut, ainsi que les acteurs qui interviennent dans la dynamique résultante, et a été complété par une recherche exploratoire des publications d'offres en liaison sur le marché.

Ce chapitre commence par une description de l'évolution de l'approvisionnement en eau par réseau dans les deux terrains d'Alger et de Tipaza, telle que perçue par les usagers. Les résultats de l'évaluation de la qualité de service de cet approvisionnement réseau sont ensuite présentés, sur la base de l'outil développé en partie 1, avant d'examiner en dernière étape les mesures d'adaptation, les alternatives et les intervenants qui élargissent cette offre.

7.1 Evolution de l'approvisionnement et des usages

7.1.1 Description de l'approvisionnement

A l'issue de constats relevés par les opérateurs, l'évolution de l'offre en eau par réseau est différente entre Alger et Tipaza. Comme établi dans la section précédente (paragraphe 6.1.4.). Cette distinction est liée aux caractéristiques des deux wilayas et de leurs usagers, aux ressources et moyens qui leur sont alloués, et à la nature et aux objectifs d'intervention de SEAAL dans ces deux périmètres. Nous examinons dans ce qui suit les descriptions des deux situations par les usagers selon leur perception du service.

7.1.1.1 Offre historique à Alger

Comme pour la description opérationnelle du terrain au niveau du chapitre 5, nous déclinons l'offre en eau à Alger en trois temps :

- Avant l'arrivée de SEAAL et l'établissement du H24 (offre historique) ;
- Après l'arrivée de SEAAL, y compris l'implémentation du H24 ;
- Puis la dégradation de l'offre, jusqu'à la fin du contrat en 2020.

La figure suivante illustre les quartiers d'Alger, pour situation (Figure 7.1).

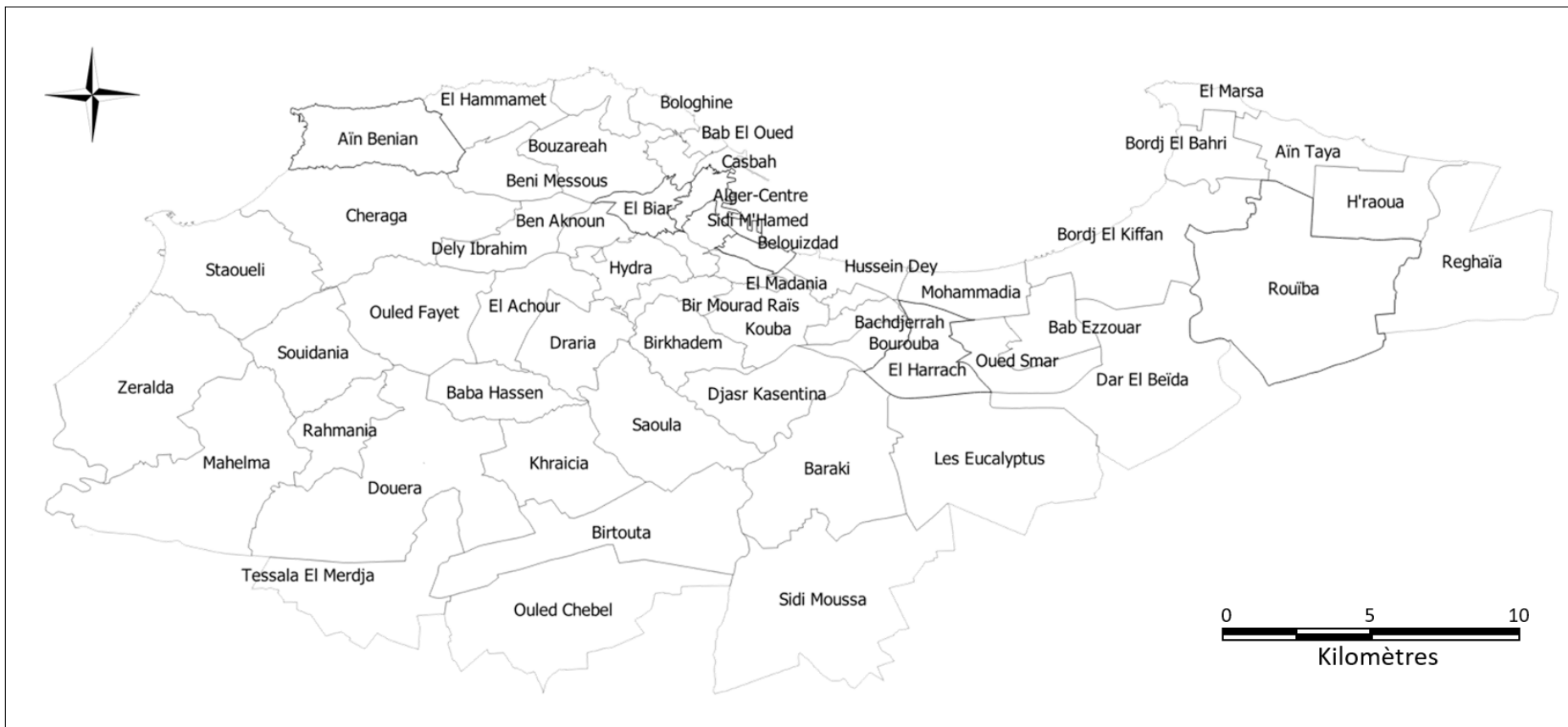


FIGURE 7.1 – Quartiers de la wilaya d'Alger
 Source : *Elaboration propre*

a) ***Avant le H24 : irrégularité, hétérogénéité, et pressions faibles***

Les échanges avec les usagers algérois sur le service d'approvisionnement en eau potable avant l'arrivée de SEAAL en 2006 ont permis de mettre en avant une hétérogénéité d'une distribution par réseau qui était globalement peu fréquente, au planning irrégulier, et présentait des problèmes de pression et de qualité de l'eau.

i. *Un approvisionnement à l'irrégularité constatée*

Entre les différents quartiers d'Alger, les habitudes des usagers dépendaient d'une distribution d'eau qui était nocturne pour certains et pendant la journée pour d'autres.

Une Algéroise originaire de la ville dans les années 80, décrit un approvisionnement la nuit avant les années 2000 au niveau du quartier El Biar « *On a connu des coupures d'eau au niveau d'Alger, c'était beaucoup plus le soir où on avait de l'eau. L'eau se coupait des fois la matinée des fois l'après-midi.* ».

Ceci était le cas également à Alger Centre, au niveau du quartier Belcours – Belwejdad, où l'eau arrivait en soirée, selon le témoignage d'un jeune Algérois qui a vécu « *des coupures souvent, un approvisionnement une fois tous les 3 jours. L'eau venait le soir - des fois à 22h, 23h, minuit [...] disons 4 heures d'alimentation* ».

Alors qu'au niveau du quartier Harrach, la distribution se faisait plus fréquemment, en journée « *1 jour sur 2, entre 5h et 18h* ».

Cette fréquence d'approvisionnement qui était en moyenne d'une fois tous les 2 à 3 jours était en revanche caractérisée par une irrégularité qui a été relevée par plusieurs usagers.

« *Avant, on avait des coupures qui pouvaient aller des fois jusqu'à deux jours-trois de suite [...] C'était une crainte parce que les coupures n'étaient pas régulières : on pouvait l'avoir 2-3 jours de suite comme on pouvait ne pas l'avoir, il n'y avait pas de planning de distribution fixe et respecté* ». [habitant - Quartier El Biar].

Cette irrégularité imposait une centralisation de certaines activités autour de l'arrivée

d'eau « c'est aléatoire, dès qu'on entend le bruit, on les ouvre. Un seul robinet est ouvert, celui de la salle de bain. » [habitant - Alger Centre, Didouch Mourad].

A la question : *Sur une échelle de 1 à 5, à quel point l'approvisionnement par réseau est-il régulier ?* Les 28 réponses obtenues ont été d'une moyenne de 3,5 (Figure 7.2).

L'irrégularité est constatée¹⁰². (Figure 7.3)

| Gauche | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | Droite | Moyenne arithmétique $\bar{\theta}$ | Ecart-type \pm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------|----------|-----|----------|------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------------------------------------|------------------|---|---|---|---|---|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (5) | (5) | (5) | (5) | | | | | | | | | |
| Irrégulier | Σ | % | Σ | % | Σ | % | Σ | % | Σ | % | Régulier | $\bar{\theta}$ | \pm | | | | | |
| | - | - | 2× | 7.14 | 13× | 46.43 | 9× | 32.14 | 4× | 14.29 | | 3.54 | 0.84 | | | | | |

FIGURE 7.2 – *Evaluation de la régularité de l'approvisionnement par les résultats du questionnaire*

Source : *Elaboration propre*

Malgré la non représentativité de l'échantillon répondant à notre questionnaire. Sur cette population, la régularité de l'approvisionnement est loin d'être parfaite. La répartition géographique n'est pas représentative mais illustre une irrégularité constatée à la fois à l'est, au centre et à l'ouest d'Alger.

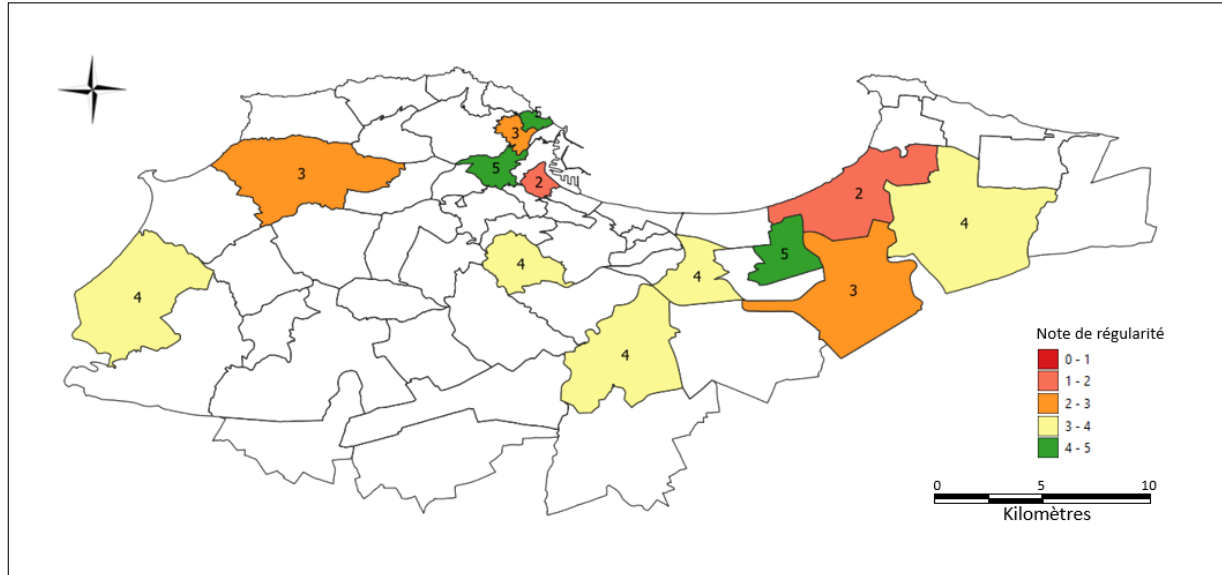


FIGURE 7.3 – *Carte d'évaluation de la régularité de l'approvisionnement par les résultats du questionnaire*

Source : *Elaboration propre*

ii. Pressions faibles et hétérogénéité de la distribution

102. Cette qualification est prise qualitativement, au vu de la non-représentativité de l'échantillon considéré dans le sondage.

Les manœuvres de vannes opérées par les équipes de nuit visaient une pression inférieure à 7 bars dans les points les plus bas du réseau, afin d'éviter de détériorer un réseau qui était initialement en très mauvais état. Au vu de la topographie très accidentée d'Alger, les points les plus hauts en souffraient, que ce soit sur le plan de la cote terrain, ou pour les étages les plus hauts des bâtiments. Ces disparités sur la pression reçue enclenchaient une inéquité en termes de durée de desserte, et en quantité d'eau reçue.

« Nous on habitait au dernier étage, les gens qui étaient au premier étage recevaient l'eau à 14h, mais nous on habitait au dernier, on devait attendre jusqu'à 22h-23h pour avoir assez de pression. » [habitant - Alger Centre, Didouch Mourad].

Ces conditions entraînaient des comportements sociaux très disparates entre usagers. Pour certains, c'était source de conflit, tandis que ça mettait en avant une solidarité entre voisins pour d'autres.

« On a connu des problèmes liés aux pressions. Si celui qui est au RDC, on va dire ça comme ça, s'il prend sa douche, il fait sa machine, celui qui est au deuxième aura moins de pression et celui qui est au troisième ne reçoit rien du tout. Ça a généré pas mal de conflits entre voisins. Dès que tu as l'arrivée d'eau, il suffit que celui qui est au RDC en bénéficie un peu trop, le deuxième et le troisième ne recevaient rien du tout. Donc il y avait un problème de pression. Celui qui était au troisième étage, il descendait et tabassait celui qu'il y avait au RDC. C'était dur » [habitant - Quartier El Biar].

« Ceux qui habitaient au premier et au deuxième étage, recevaient de l'eau avant, dès qu'ils finissaient, ils nous aidaient à remplir » [habitant - Alger Centre, Didouch Mourad]

Un problème sous-jacent au manque de pression est celui du recours aux surpresseurs, qui accentuent l'inéquité de distribution lorsqu'ils ne sont pas installés par tous.

« Il y a des gens qui utilisaient des surpresseurs mais c'était pas tout le quartier, et ça créait des tensions » [habitant - Ain Beniar (la madraque), pas loin de l'hôtel Sheraton]

Cette hétérogénéité peut être subdivisée selon son impact spatial :

- Une inéquité liée à l'établissement du programme de distribution, qui favorisait certains quartiers par rapport à d'autres¹⁰³ ;
- Une inéquité de distribution au sein d'un même quartier, selon la proximité à la ressource, et la côte terrain ;
- Une inéquité au sein d'un même bâtiment, entre étages.

Il est à noter que l'utilisation des surpresseurs est à considérer pour les deux dernières catégories, à la fois comme une conséquence des pressions faibles sur le réseau, au niveau de l'habitation, et comme élément exacerbant les disparités, et générateur de conflits.

b) ***Avènement du H24 : Continuité de service satisfaisante malgré la persistance des perturbations***

Les échanges avec les usagers algérois montrent une association entre l'arrivée de SEAAL et la continuité de service, même si des coupures d'eau sont toujours constatées. Celles-ci sont globalement considérées « ponctuelles » et « maîtrisées », même lorsqu'elles se produisent assez fréquemment.

i. *Une satisfaction d'un service en H24 attribué à SEAAL*

« A partir des années 2000, à l'arrivée de SEAAL, on arrivait à avoir de l'eau H24 »

[habitant - Quartier El Biar]

On pourrait presque croire que pour certains, SEAAL avait instantanément réussi un tour de force à Alger. D'autres répondants, principalement à Alger Centre, ont noté une amélioration progressive du service, jusqu'à l'atteinte du H24, avec des perturbations liées à des événements estimés ponctuels en chemin. 41 parmi les 51 personnes ayant répondu à la question sur la nature de l'approvisionnement à Alger ont quant à elles déclaré ne pas se souvenir d'autre chose que de la continuité de service à Alger.

103. Ceci est visible à travers les différences en termes de durées d'approvisionnement entre les quartiers, et suite aux déclarations de plusieurs responsables de distribution

« *Maintenant c'est à nous de nous débrouiller comment alimenter les gens. Mais bien sûr il y avait des préférences sur certains quartiers...* ». [Responsable à la direction technique de SEAAL, 20 ans de service dans la gestion de l'eau d'Alger et Tipaza, 27/04/2019]

Si le début d'établissement du H24 n'est pas exact dans la mémoire collective des usagers, il est néanmoins attribué à SEAAL, et c'était, en 2019, le régime établi à Alger. Un retour vers l'intermittence était ainsi écarté comme éventualité par la population.

« Je me souviens que ça fait une dizaine, quinzaine d'années que c'est réglé : Eau H24 [...] Je trouve que la situation est sereine [...] je ne pense pas qu'on puisse revenir aux années précédentes : maintenant ils installent plus de conduites, plus de moyens, il y a beaucoup plus de ressources qu'avant ». [habitant - Didouch Mourad].

Cette position explique en partie la montée de l'exigence des usagers par rapport à la qualité de service, et comment le H24 peut s'établir comme « un point de non-retour » dans la considération publique, et la contrainte qui s'en suit pour le responsable du service d'approvisionnement.

ii. *Des coupures et perturbations persistantes mais jugées ponctuelles et maîtrisées*

Le « passage en H24 » a été accompagné par une évolution de l'attribution de la norme et de l'occasionnel. Avec l'arrivée de SEAAL, la majorité des Algérois considèrent que le régime établi est le H24, même s'ils sont plusieurs à signaler la persistance de coupures. La perception de ces coupures par les usagers dénote cependant une dualité. Elles sont présentes, notées, mais elles arrivent « de temps en temps », « ponctuellement ».

La perception de l'approvisionnement est spatialement inégale, tout comme l'était l'intermittence. Sur 56 répondants algérois, 8 ont identifié le service comme continu avec coupures, tandis que 5 ont déclaré être en intermittence (Figure 7.4).

L'élément qui a accompagné cette qualification du service, et qui explique en partie que les coupures soient « admises » par la population est la prédictibilité et la communication autour de ces coupures.

« Maintenant il n'y a pas de problème de coupures, maintenant on est en H24, c'est très très rare, et c'est généralement justifié par des travaux, et c'est communiqué, que ce soit dans la page facebook de SEAAL, dans les médias... ».

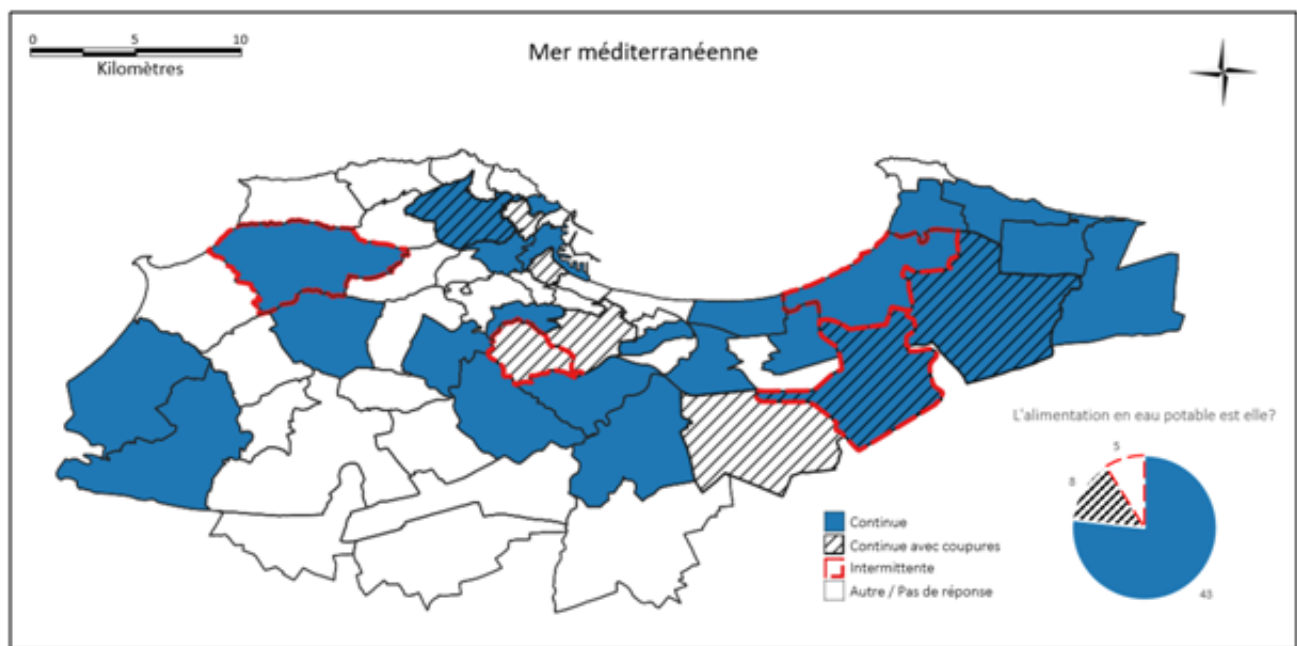


FIGURE 7.4 – Résultats du questionnaire : Qualification du type d'approvisionnement à Alger
Source : Elaboration propre

[habitant - Quartier El Biar]

Si ces coupures sont considérées comme très rares par certains, et plus fréquentes ou plus longues par d'autres¹⁰⁴, la constance est liée au fait que leurs causes sont connues et que les usagers sont prévenus lorsqu'elles ont lieu. Elles sont notamment annoncées via les réseaux sociaux, par sms, ou par affichage, et des organisations compensatoires sont mises en place.

« Même s'il y a des coupures, on nous prévient, comme ça les gens préparent leurs réserves. On ne nous coupe pas tout le temps, on peut nous couper l'eau en journée et la nuit on nous réalimente pour remplir les réserves. »

[habitant - Alger Centre]

Au-delà de la coupure franche, des perturbations du service répétitives sont également

104. Parmi les usagers ayant qualifié le service comme étant continu avec coupures, une répondante à Birkhadem a déclaré une coupure récente de 4 jours, tandis qu'une répondant à Rouiba a évoqué une coupure de plus d'un mois pendant l'année 2016.

constatées. Celles-ci peuvent être liées au manque d'eau ou de pression ou à des problèmes de qualité par exemple.

c) **H24 « fragile » et retour en intermittence**

i. *Une absence de sensibilisation par rapport à la disponibilité des ressources*

« Je ne pense pas que les gens aient une crainte [de retomber dans l'intermittence] »

[habitant - Alger-centre]

Si pour les représentants de l'opérateur et des autorités algériennes la pression sur des ressources rares fragilise le H24 et induit un besoin de sécurisation, cette conscience n'est pas partagée par les usagers qui ne sont pas sensibilisés à la réalité de la situation et au besoin de maîtrise de la demande, depuis l'atteinte de la continuité de service.

« Nous avions des flash à la télé où on montrait qu'il ne faut pas gaspiller l'eau... Il ne faut pas laisser le robinet ouvert, il ne faut pas laver sa voiture... Mais ça c'était avant les années 2000 »

[habitant - Quartier El Biar]

Selon le témoignage de plusieurs usagers, entre 2010 et 2019 le H24 étant devenu la norme, la consommation individuelle d'eau avait augmenté. Cette augmentation a été accompagnée par une mobilisation de plus de ressources, afin de maintenir le « H24 à tout prix ». La quantité d'eau reçue via le réseau est jugée « satisfaisante » et est l'indicateur le mieux noté parmi les dimensions de l'évaluation de la qualité de service par nos répondants.

ii. *Persistance des perturbations même pendant le H24*

A la question « existe-t-il des jours de l'année pendant lesquels l'approvisionnement en eau est exceptionnellement perturbé? », le jour de Aïd al Adha a été cité par 39 des 81 répondants (Figure 7.5), pourtant majoritairement considérant l'approvisionnement

comme continu. Cette situation est associée par l'opérateur à une atteinte de la capacité hydraulique du réseau.

« le jour de l'Aïd j'y suis assez souvent, il y a des réservoirs pleins partout, [...] tout est au maxi [...] l y a des vannes qui restent fermées également pareil ils essayent de retenir de la dépense il y a des fermetures qui sont faites aussi et qui seront ouvertes à 8h du matin ils tiennent tout au maximum, ils retiennent au maximum les réservoirs, c'est un peu comme la répartition des réseaux tu retiens l'eau, après [...] 8h, tu retournes et c'est là où tu te dis que tu ne pourras pas, ton réseau est hyper saturé[...] Il y a une période vers midi où ça commence à être critique tu les vois au fur et à mesure au centre de télécontrôle tu vois les niveaux des réservoirs descendre comme une peau de chagrin dans tous les sens, et ça commence à remonter après le repas vers 16 heures, mais il y a une période critique vers 10h du matin t'as de l'eau qui coule c'est impressionnant. »

[Expatrié français, expert patrimonial à SEAAL, 23/04/2019]

Dans la catégorie « Autres », ce sont majoritairement les perturbations estivales, le week-end, et celles liées aux travaux qui sont évoquées.

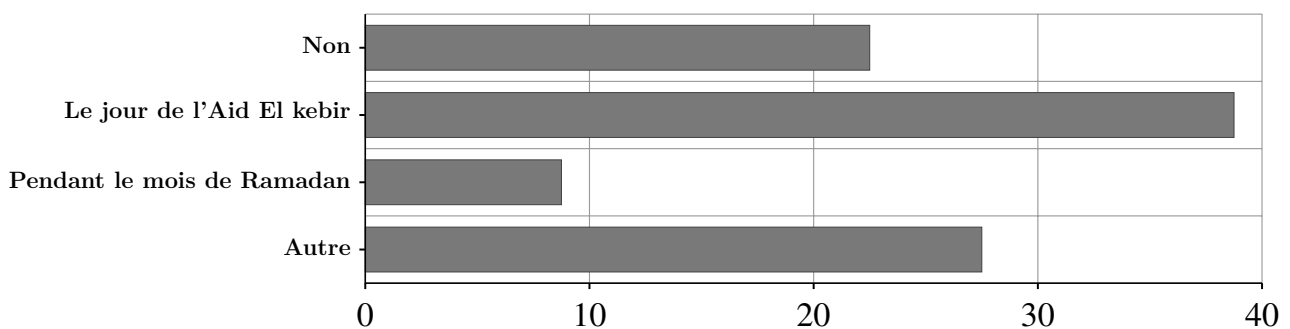


FIGURE 7.5 – Résultat du questionnaire : Evaluation des perturbations du service

Source : Elaboration propre

Les coupures estivales sont la norme pour certains quartiers, principalement à l'est de la wilaya.

« Nous avons des points noirs au niveau de l'Est d'Alger que l'on n'arrive pas à régler : l'Est d'Alger et en intermittence durant l'été, durant les jours fériés, durant les fêtes

religieuses où il y a un surtirage, donc automatiquement ils ne sont pas en H24 . [...] ça a toujours été comme ça pendant l'été mais le problème s'est aggravé avec le programme de relogement, parce que les grands chantiers de relogement ont été réalisés au niveau de l'Est d'Alger »

[Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019]

iii. *Une communication de la stratégie de rationnement établissant la limite entre coupures et intermittence*

Notre étude par sondage auprès des usagers et par entretien ayant précédé la crise de 2020, les informations suivantes sont recueillies d'articles de presse qui ont suivi les perturbations du service de l'eau.

« l'eau n'arrive pas toujours dans les robinets aux heures [dites]. La distribution du précieux liquide est souvent aléatoire, et les coupures par surprise sont [devenues] récurrentes. » [Propos d'un usager algérois recueillis par la presse]¹⁰⁵

Le principal point mis en avant par les usagers est le manque, l'inexactitude ou l'ambiguïté de l'information sur les coupures d'eau. La prédictibilité du service fait défaut est c'est ce qui fait basculer l'approvisionnement à cette époque d'une alimentation continue avec coupures à une intermittence ressentie, avant même qu'elle ne soit déclarée comme telle par les autorités. La réaction des usagers est globalement de l'indignation face à une gestion de la desserte où leur « droit d'être informés » de la situation du service, et de ses coupures, n'est, selon eux, plus respecté.

« Nous avons le droit d'être informés lorsqu'une coupure pour travaux va survenir, afin de prendre nos dispositions. Nous n'en pouvons plus des coupures à la hussarde, sans que nous soyons avertis en amont et sans qu'on nous présente des excuses en aval. »

105. « Pénurie.À Alger, les coupures d'eau potable suscitent la colère des habitants » TSA - TOUT SUR L'ALGÉRIE - ALGER - Publié le 31/05/2021 - 17 :55 - disponible en ligne sur : <https://www.courrierinternational.com/article/penurie-alger-les-coupures-deau-potable-suscitent-la-colere-des-habitants>

[Propos d'un usager algérois recueillis par la presse]¹⁰⁶

7.1.1.2 Offre en eau à Tipaza dans un territoire partagé entre SEAAL et les APC

27 habitants de Tipaza ont pu répondre à notre questionnaire (Figure 7.6), majoritairement à Cherchell (11), Kolea (8) et Bousmail (4) et du côté du chef-lieu. Nous n'avons pas obtenu de réponses au niveau de la partie Ouest de la wilaya, en l'occurrence, qui est majoritairement gérée par les APC. Nous rappelons que l'analyse que nous en faisons est purement qualitative, au vu de la non-représentativité de l'échantillon considéré. 3 répondants ont déclaré être raccordés au réseau au niveau du quartier *via* des bornes fontaines (à Cherchell, Bousmail, et Sidi Amar).

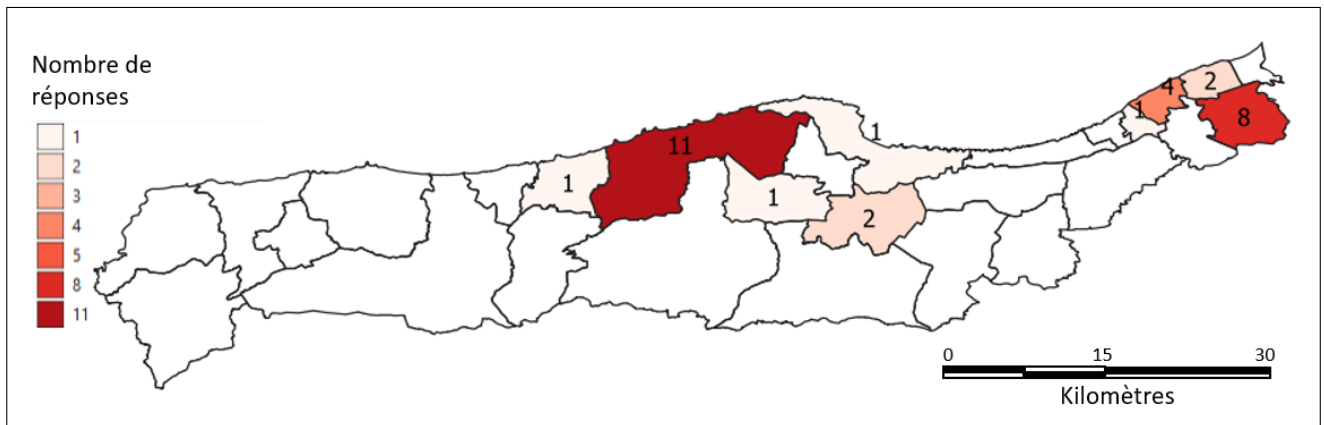


FIGURE 7.6 – *Nombre de réponses obtenues à Tipaza*
Source : *Elaboration propre*

i. *Distinction franche entre coupures et intermittence*

Un des éléments qu'il est utile de noter est que les deux seules qualifications de la nature de l'approvisionnement en eau considérées parmi les répondants à Tipaza sont le H24 et l'intermittence. Aucune notion de coupures dans le cadre de la continuité de service n'est considérée (Figure 7.7). Cette binarité indique, que contrairement à Alger, il y a une distinction franche entre la notion d'approvisionnement en H24, sans coupures, et l'approvisionnement en intermittence, dans lequel des coupures sont constatées.

106. Même référence que 105

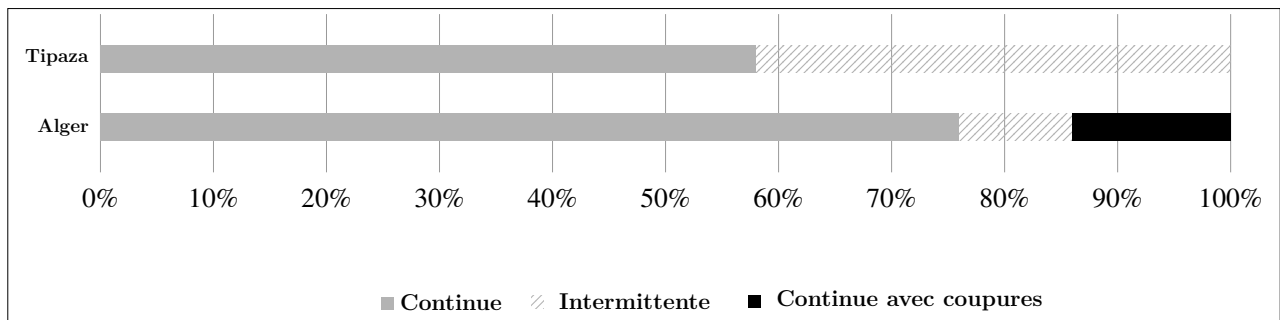


FIGURE 7.7 – Qualification de la nature de l'approvisionnement par les répondants au questionnaire

Source : *Elaboration propre*

ii. *Une autosuffisance permettant une satisfaction face à toute amélioration*

Malgré une distribution beaucoup moins fréquente qu'à Alger, une majorité des usagers à Tipaza, de l'avis de l'opérateur, « *ne se plaint pas* » d'une offre d'un interlocuteur qu'ils n'arrivent pas à positionner. Ils sont adaptés à une situation d'intermittence et une prise en main plutôt personnelle pour certains, des raccordements sur réseau, et la présence d'un opérateur chargé de la gestion de l'eau leur est difficilement assimilable. « *A les faire tous seuls [les branchements], à une certaine époque il n'y avait aucune visibilité, le maire te donnait une autorisation pour faire ton branchement toi-même, le chef de daïra c'est toi qui fais le branchement, donc pour pouvoir leur inculquer qu'il y a un service public qui gère et qui... C'est dur, donc quand tu vas trouver un tuyau qui coule, la maman vient faire le ménage avec son tuyau et quand elle termine elle le fout dans un baril, et il part ailleurs, c'est tout à fait normal, donc et il faut tout un travail psychologique pour... D'ailleurs si tu vas au CATO, tu vas demander est-ce que les gens de Tipaza appellent, ils n'appellent même pas au 1594 pour dire je n'ai pas d'eau, sauf quelques-uns, mais si tu prends la totalité des clients, ils n'appellent pas* » [Responsable Communication à SEAAL, 24/04/2019].

En 2019, la croissance de la population de Tipaza était perçue par l'opérateur comme étant beaucoup plus importante qu'à Alger. A iso-ressources, de très grands problèmes de réponse à la demande en eau se présentaient dans un avenir immédiat.

7.1.2 Usages adaptés

Nous décrivons dans les paragraphes suivants le rapport des usagers à l'eau, dans ses différentes configurations. Dans cette optique, nous explorons dans un premier temps quels sont les usages réservés à l'eau du réseau en situation d'intermittence ou de continuité de service perturbée, puis nous examinons les autres eaux alternatives, et le positionnement de leur usage par les habitants d'Alger et de Tipaza, au sein de l'offre en eau globale.

7.1.2.1 Eau du réseau

a) *Gaspillage de la ressource : Dissonance dans la perception de la rareté de la ressource entre opérateur et usager*

« Parce qu'aujourd'hui je te coupe l'eau pendant 24 heures parce qu'il y a des travaux, tu chiales, tu appelles le centre d'appel 20 fois par jour pour dire pourquoi je n'ai pas d'eau, et dès que j'ai rétabli, tu prends le tuyau, et tu arroses les trottoirs, et tu les trouves tous en train d'arroser les trottoirs, laver les véhicules, etc. »

[Responsable Exploitation à SEAAL, responsable de la distribution à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Un déphasage prononcé entre la perception de la disponibilité de l'eau par les usagers et l'amenuisement de la ressource déclaré par l'opérateur a été constaté à plusieurs reprises. Cette dissonance est particulièrement visible lorsqu'on s'adresse à des usagers qui déclarent que tant qu'ils peuvent payer pour l'eau, elle leur est propre, et c'est un droit dont ils disposent. Des pratiques comme l'arrosage des trottoirs pour leur « rafraichissement » pendant les périodes de hautes chaleurs représentent un exemple très parlant de cette différence de perception, qui persiste, malgré les coupures, et qui est probablement liée à l'absence de sensibilisation par rapport à la disponibilité des ressources, et aux tarifs très bas de l'eau du réseau.

b) Stockage sur différentes échelles

Le stockage de l'eau est nécessaire en cas de coupure d'eau. Cette mesure qui était systématique lorsque le régime à Alger était l'intermittence, était toujours pratiquée en 2019, mais à moindre échelle en terme de capacité de stockage, lorsque des coupures ponctuelles sont constatées. « *Quand il y a des coupures on remplit ce qu'on a à la maison une capacité d'à peu près 20 litres et quand ça ne suffit plus on remplit chez des voisins qui ont des citernes... des fois aussi il y a des coupures la nuit entre minuit et 5h du matin mais ça ne nous dérange pas vu que c'est la nuit.* » [Situation actuelle décrite par un habitant - Quartier Didouch Mourad]. Il est également intéressant de noter l'hétérogénéité de cette pratique en situation actuelle, entre usagers dotés de citernes, et des usagers qui vont s'alimenter chez les premiers en cas de coupure. Cette hétérogénéité était moins marquée lorsque le régime de référence était l'intermittence. « *Tout Algérois se dotait de citernes, de bache à eau, même en plus de la citerne il y avait toujours des jerricanes, des bouteilles... Nous à la maison on avait une très grande citerne et on l'utilisait quand on n'avait pas l'eau du réseau* »

[habitant - Quartier El Biar]

Nous constatons la multiplicité des équipements de stockage disponibles et utilisés, que nous détaillerons dans le paragraphe 7.3.1.1.

c) Traitement minoritaire d'une eau qu'on préfère remplacer pour des usages nécessitant une meilleure qualité

« *l'eau est bue en cas d'extrême nécessité, sans traitement* »

[habitant - Didouch Mourad]

Plus de la moitié des répondants ont déclaré ne pas boire l'eau du réseau (Figure 7.8), mais plus rares sont ceux qui la traitent pour la consommer. Ces pratiques sont liées à la

montée en puissance de l'eau embouteillée qui est devenue une filière très importante en Algérie sur les dernières décennies, même si les usagers et opérateurs interrogés lient ça plus à un phénomène de mode, qu'à un réel besoin lié à une mauvaise qualité de l'eau du réseau.

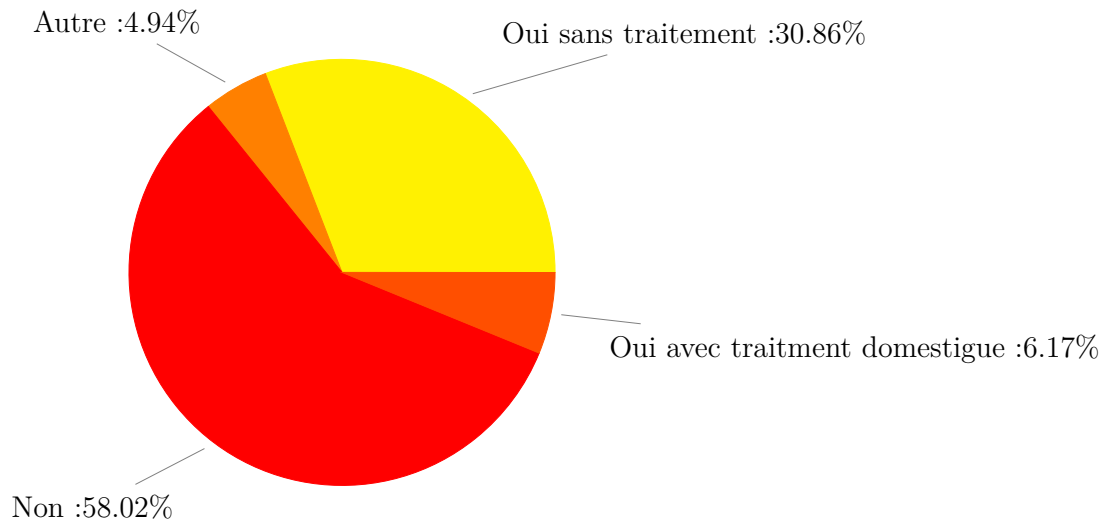


FIGURE 7.8 – *Résultat du questionnaire : réponse à la question « buvez-vous l'eau du robinet ? »*

Source : élaboration propre

Parmi les pratiques de traitement (Figure 7.9), nous trouvons le fait de bouillir l'eau, la désinfection chimique ou la filtration, mais aucun répondant n'a cité des pratiques plus complexes nécessitant des installations et équipements plus sophistiqués, et plus coûteux, comme c'est le cas en Inde par exemple.

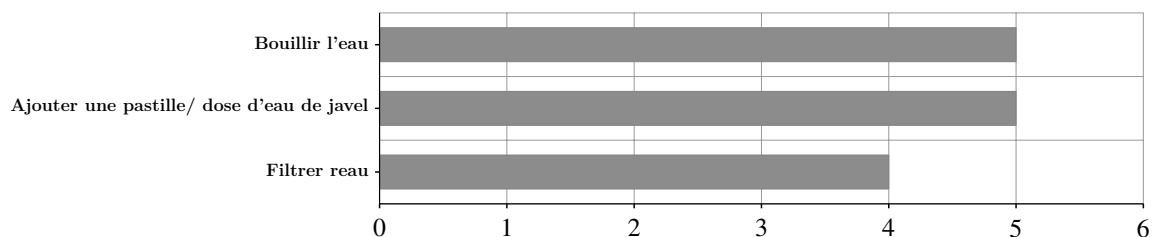


FIGURE 7.9 – *Résultat du questionnaire : pratiques de traitement domestique utilisées*

7.1.2.2 Eau supplémentaire

Une partie du questionnaire était consacrée aux usages alloués aux différentes sources d'acquisition de l'eau. L'approvisionnement par réseau répond majoritairement aux besoins des

usagers, si ce n'est la boisson, avec une moitié des usagers qui indiquent ne boire que de l'eau embouteillée (Tableau 7.1).

« aussi le fait qu'ils ne boivent pas beaucoup d'eau du robinet, y a des ménages très très pauvres qui se baladent avec un fardeau de bouteilles d'eau, c'est extraordinaire ».

[Expatrié français, expert patrimonial à SEAAL, 23/04/2019]

Nous notons aussi le caractère plus ou moins systématique de l'usage des alternatives au réseaux (source et puits le sont, alors que pluie renvoie surtout à l'arrosage, le récréatif et les autres usages) etc.

TABLE 7.1 – *Provenance et destination des ressources en eaux superficielles de la wilaya d'Alger*

| | Boisson | Cuisine | Vaisselle | Hygiène et sanitaire | Lessive | Ménage | Arrosage | Récréation ¹⁰⁷ | Autres usages ¹⁰⁸ |
|-----------|---------|---------|-----------|----------------------|---------|--------|----------|---------------------------|------------------------------|
| Réseau | 21% | 43% | 48% | 46% | 47% | 45% | 33% | 9% | 0% |
| Source | 15% | 15% | 14% | 15% | 11% | 14% | 12% | 18% | 16% |
| Puits | 7% | 11% | 12% | 11% | 12% | 12% | 13% | 23% | 16% |
| Camion | 2% | 6% | 10% | 11% | 13% | 13% | 11% | 23% | 16% |
| Borne | 5% | 8% | 7% | 6% | 8% | 8% | 10% | 14% | 20% |
| Bouteille | 50% | 13% | 3% | 3% | 1% | 1% | 1% | 0% | 8% |
| Pluie | 1% | 4% | 5% | 8% | 9% | 6% | 21% | 14% | 24% |

Pour ce qui est de l'eau en bouteille, dans les années 60, sa consommation était limitée à quelques marques telles que « Saida », « Mouzaïa », « Batna », « Benharoun ».

Depuis les années 90, cette consommation a pris un grand essor avec l'apparition de nouvelles marques d'eaux embouteillées et l'offre s'est fortement diversifiée, avec pas moins d'une quarantaine de marques disponibles sur le marché. Le produit est recherché pour sa réputation de qualité et ses attributs « thérapeutiques ».

Les bouteilles de petit format de 33 cl sont très prisées pour leur commodité et leur utilisation individuelle, mais également pour les occasions de rassemblement telles que les fêtes et les réunions. Du point de vue économique, les bouteilles de petit format sont plus rentables. La

107. Les usages récréatifs de l'eau incluent l'eau de piscine et de fontaines domestiques.

108. Les autres usages comprennent notamment la boisson du bétail, et parfois le « rafraîchissement » des trottoirs pendant des périodes de grande chaleur.

première marque privée, « IFRI », a été une innovation en matière de conditionnement et d'image de qualité du produit. [Kaci and Abtroun, 2012].

La filière des boissons en eaux embouteillées, connaît depuis quelques années, un saut spectaculaire, sa production nationale engendre un chiffre d'affaire de plus de 12 milliards de dinars [Izouaouen, 2014] pour la seule année 2015.

Selon les déclarations de Mourad Bouattou, le président du Cluster des boissons Algérie (CBA), l'Algérie produit chaque année 1,5 milliard de litres d'eau minérale, et cinq marques se partagent 70 % des parts de marché.

« 200 dinars, mais 200 dinars quand t'as un salaire de 20000 dinars... [c'est important] »

[Expatrié français, expert patrimonial à SEAAL, 23/04/2019]

Le prix de l'eau embouteillée reste très cher par rapport à celui de l'eau du réseau, très subventionnée par le gouvernement, mais cette pratique semble faire partie des habitudes actuellement enracinées dans la culture du pays, pour les Algérois, comme ailleurs.

7.2 Evaluation de la qualité de service

7.2.1 Evaluation de la qualité de service par l'utilisateur

L'évaluation de la qualité de service par les usagers a été faite selon un système de priorisation et de notation, basé sur le système de notation adopté par l'outil de qualification de la qualité de service établi en partie 1. Sur les réponses collectées, les répartitions géographiques de l'accessibilité, la qualité, la quantité, la disponibilité et le prix sont représentées sur les cartes d'Alger et de Tipaza (Figures 7.11 et 7.12).

L'évaluation de la qualité de service de l'eau du réseau par les répondants Algérois attribue une note plutôt satisfaisante au service, avec une moyenne plus importante à la quantité d'eau

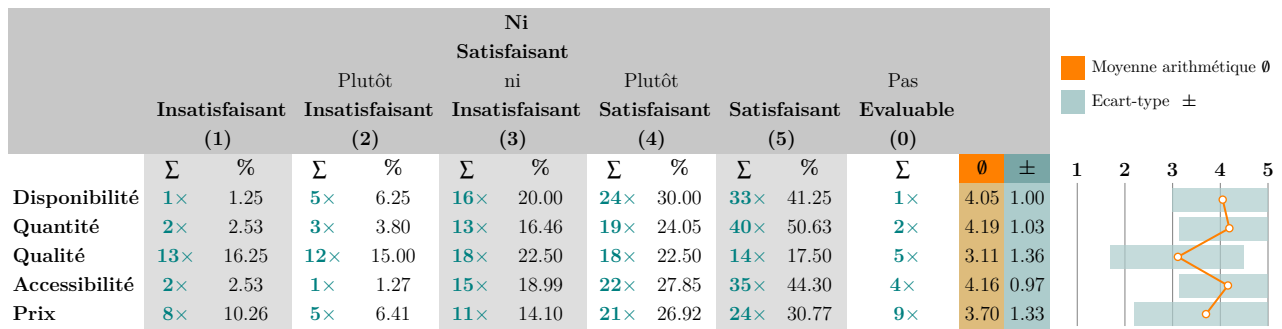


FIGURE 7.10 – Notation des dimensions de la qualité de service par les répondants au questionnaire

Source : *Elaboration propre*

reçue et son accessibilité (accessibilité physique) (Figure 7.10). Ce résultat n'est pas étonnant au vu de l'importance de la dotation individuelle pour les habitants de la capitale, et le fait que l'accès à l'eau est individuel. Une note plus neutre de 3 (appréciation : ni satisfaisante ni insatisfaisante) est attribuée à la qualité de l'eau. Ce résultat est en phase avec les répartitions des usages de l'eau collectée par les usagers, où uniquement 21% du besoin en eau est couvert par l'eau du réseau (Tableau 7.1).

7.2.2 Déclinaison géographique de l'évaluation

A Alger, de même que pour la régularité de distribution, l'hétérogénéité géographique est visible (Figure 7.11). La qualité de l'eau est la dimension la moins bien notée globalement, même pour des quartiers où le reste des dimensions est apprécié (à l'est et au centre notamment). A l'inverse, la répartition est beaucoup plus homogène chez les répondants à Tipaza (Figure 7.12), où on constate globalement une meilleure satisfaction du service qu'à Alger, pourtant mieux desservie. Le prix (accessibilité économique) est également mal noté par les usagers (avec une note plus basse à Tipaza qu'à Alger), malgré le fait que le tarif de l'eau du réseau soit uniformisé et en grande partie subventionné par l'état. L'évaluation des Tipaziens peut être dûe à l'importance des coûts annexes de complétion de l'offre.

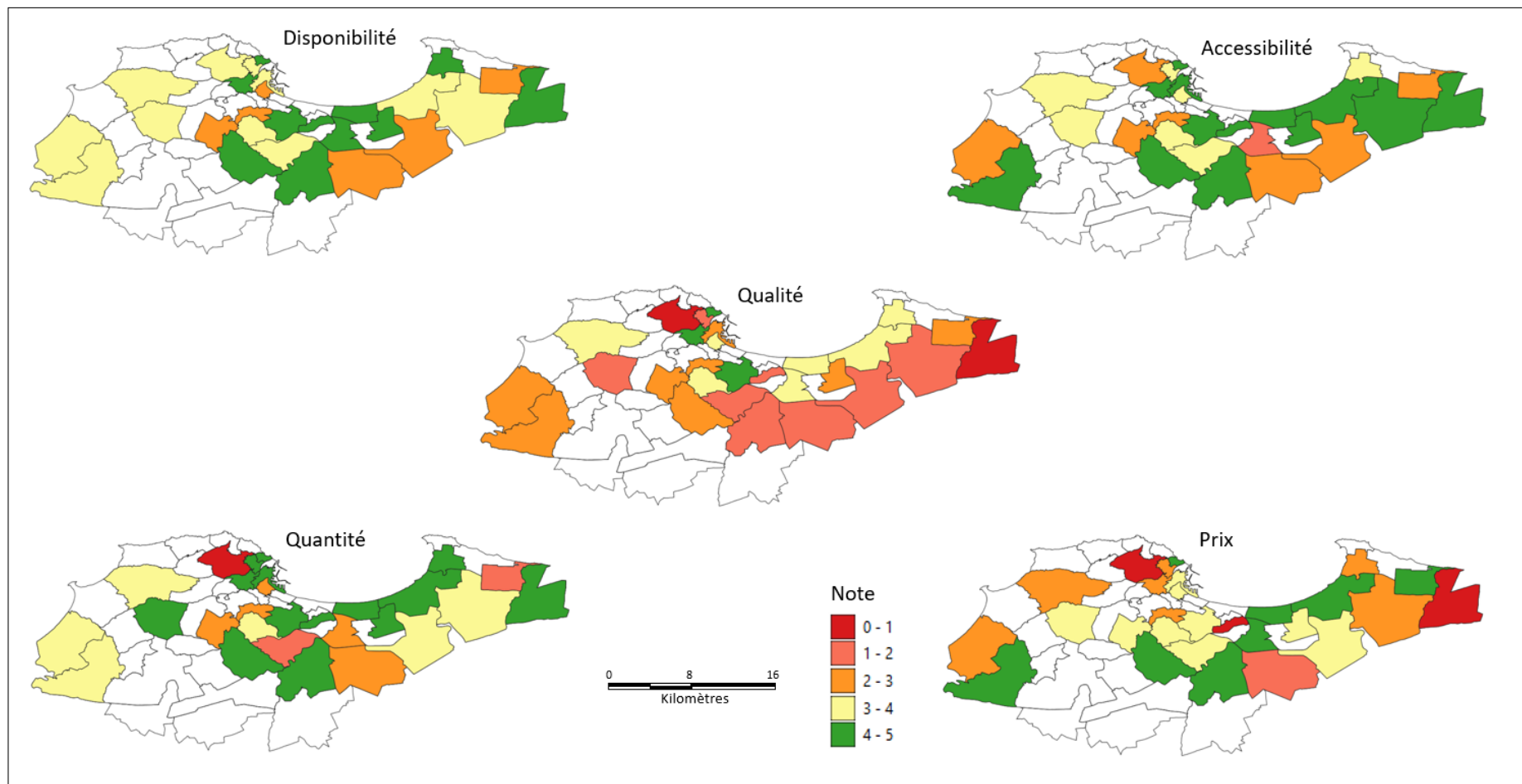


FIGURE 7.11 – *Résultat de l'évaluation de la qualité de service à Alger par les répondants au questionnaire*
Source : Elaboration propre

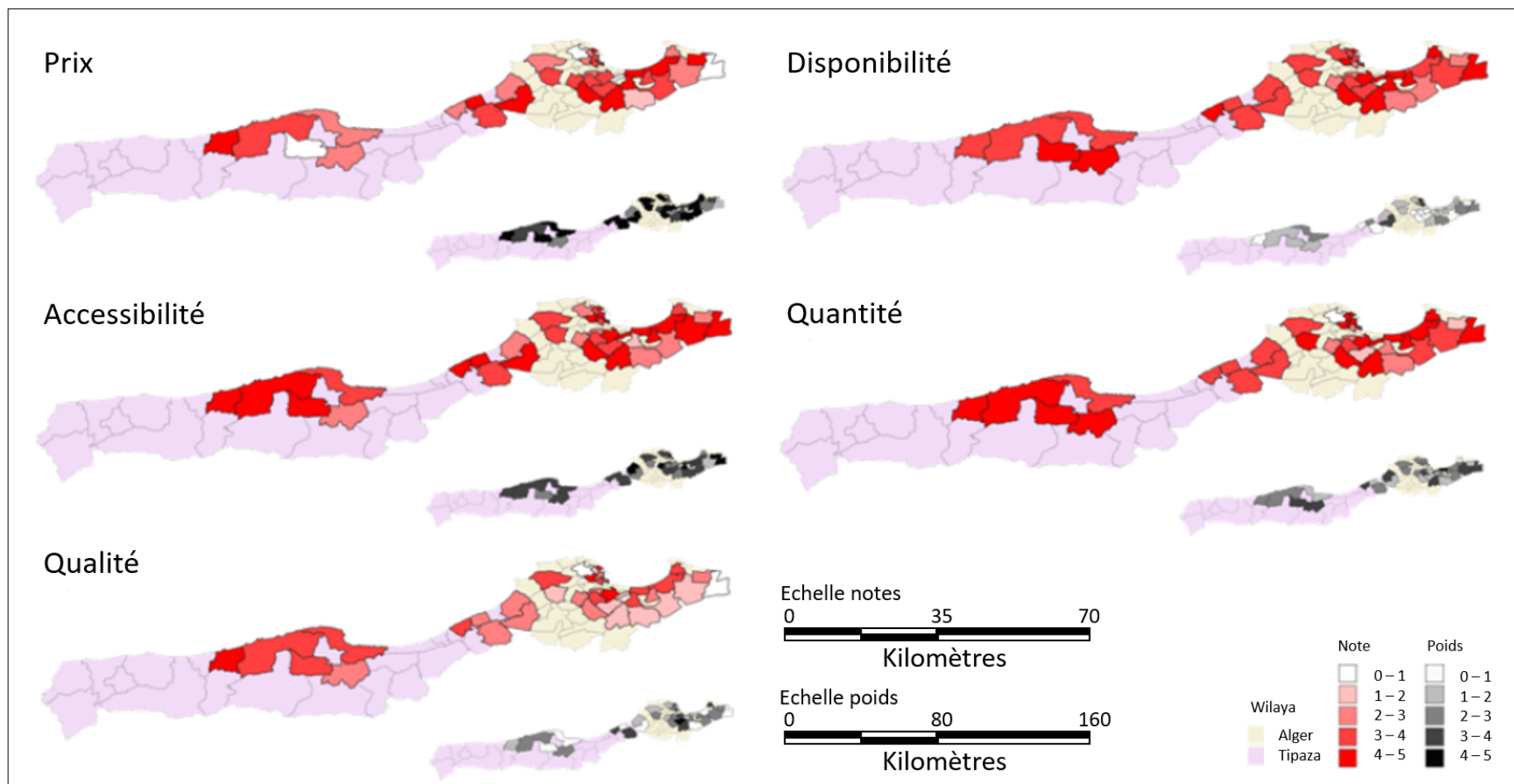
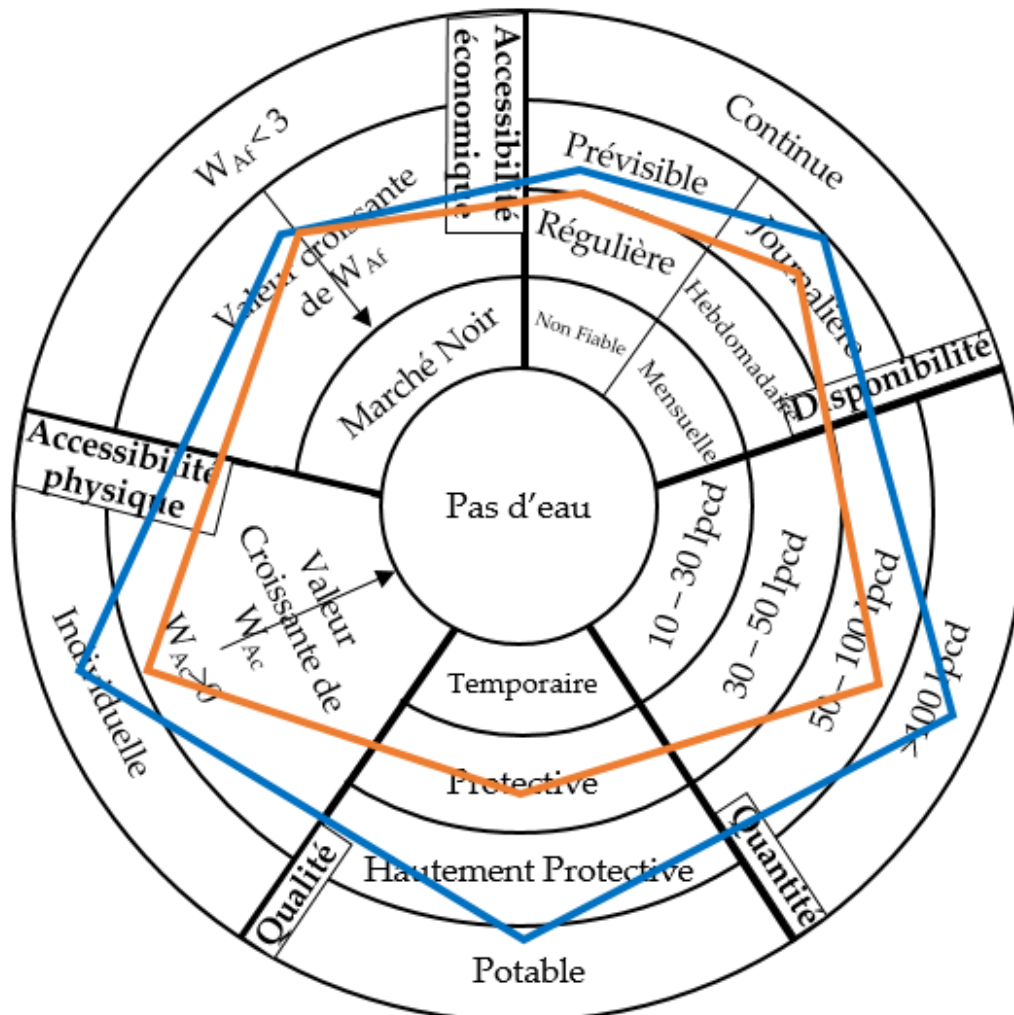


FIGURE 7.12 – Résultat de l'évaluation de la qualité de service par les répondants au questionnaire
 Source : Elaboration propre

qualification à Tipaza, qui permet, au dire de l'opérateur, de constater une amélioration du service même si le H24 n'est pas atteint (Figure 7.13). Il est à noter que l'évaluation du prix est estimatoire, au vu de l'hétérogénéité des procédures d'adaptation des usagers tipaziens, qui disposent généralement de ressources supplémentaires (exp. Puits) pour compléter l'offre du réseau.



Perception de l'utilisateur
Evaluation de l'opérateur

FIGURE 7.14 – Evaluation de la qualité de service de distribution d'eau à Tipaza par l'opérateur et par l'utilisateur (année 2019)

Source : Elaboration propre

La figure suivante (Figure 7.14) illustre quand à elle la différence dans la perception de la qualité de l'offre entre opérateur et usager, l'évaluation de l'utilisateur étant plus sévère sur toutes les dimensions. Il en ressort une importance d'impliquer l'utilisateur dans ce processus d'évaluation,

pour constituer une image plus claire de l'état de l'approvisionnement par réseau et sa réponse aux besoins des usagers.

7.2.4 Priorisation des dimensions de la qualité de service

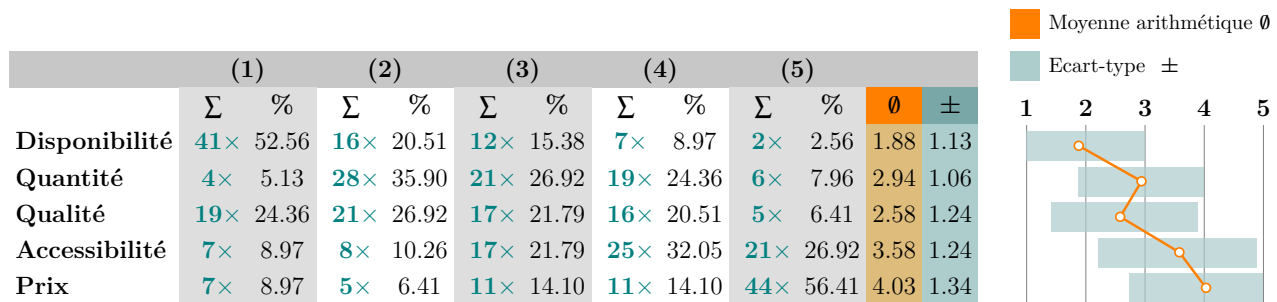


FIGURE 7.15 – *Priorisation des dimensions de la qualité de service par les répondants au questionnaire*

Source : Elaboration propre

La priorisation des axes d'évaluation de la qualité de service se décline comme suit, du plus important au moins important : Disponibilité, qualité, quantité, accessibilité (physique), puis prix (accessibilité économique) (Figure 7.15). Cette évaluation (à l'exception de la disponibilité) est plutôt en phase avec les notes attribuées à l'évaluation de ces axes par les répondants. Avec une priorisation plus importante accordée aux volets les moins bien notés en situation actuelle. Ce que cette notation traduit aussi, ce sont les aléas liés à la disponibilité de la ressource, à Alger et à Tipaza. Si dans la situation intermittente à Tipaza, cette importance est déductible. Cette première position retenue par la disponibilité de l'eau dans le cas d'Alger, officiellement en H24, est représentative de la fréquence et l'impact des coupures répétitives de l'eau du réseau. La seconde place occupée par la qualité de l'eau peut être considérée comme un moyen de communication du mécontentement des habitants par rapport à la qualité de l'eau livrée par le réseau, justifiée ou non, qui les pousse à recourir à l'eau embouteillée, en l'occurrence. La quantité et l'accessibilité (physique) de l'eau, globalement jugées satisfaisantes, sont placées en troisième et en quatrième positions sur l'échelle de priorité. Le placement du prix (accessibilité économique) en dernière place est représentatif d'une situation initiale où la tarification de l'eau est faible, mais peut présenter des opportunités pour l'adaptation de la stratégie tarifaire, réclamée par l'opérateur.

7.3 Ecosystème intrinsèque à l'offre de distribution en eau

7.3.1 Equipements utilisés

Nous énumérons dans la suite les caractéristiques des équipements domestiques liés à l'eau qui sont répertoriés dans des brochures commerciales et sur *Oued Kniss*, le premier portail électronique d'annonces en Algérie.

7.3.1.1 Citernes, bâches et contenants divers

Les citernes font pratiquement partie des constantes dans les habitations algériennes. Certains Algérois s'en sont débarrassés lors de l'avènement du H24, principalement par manque d'espace. Les réservoirs et citernes occupaient généralement un espace important, parfois une chambre dédiée, au sein de l'habitation, ou étaient disposés dans un coin qui pouvait les accueillir, l'arbitrage à faire étant entre l'encombrement et la capacité de stockage (Figure 7.16).

En 2021, les ventes d'immobilier à Alger et Tipaza incluaient toujours l'information sur la présence de citernes, aussi bien pour des immeubles, que pour des maisons individuelles. Sur les 100 premières annonces immobilières sur *Oued Kniss*, 46 citaient des bâches ou citernes avec des capacités entre 500 et 1200 m³. Les usagers qui souffraient le plus des aléas des coupures sur réseau avaient gardé leurs citernes, surtout au niveau de l'Est d'Alger.

« la citerne existe toujours, même là où j'habite maintenant à Draria on a une citerne, alors qu'on est sur du H24. Elle fait toujours du stockage. Même s'il y a une coupure on ne le ressent pas forcément. Ça peut arriver parce que parfois il y a des travaux... »

[habitant, Reghaïa]

La conséquence de cette évolution est un meilleur taux de satisfaction au niveau de l'est

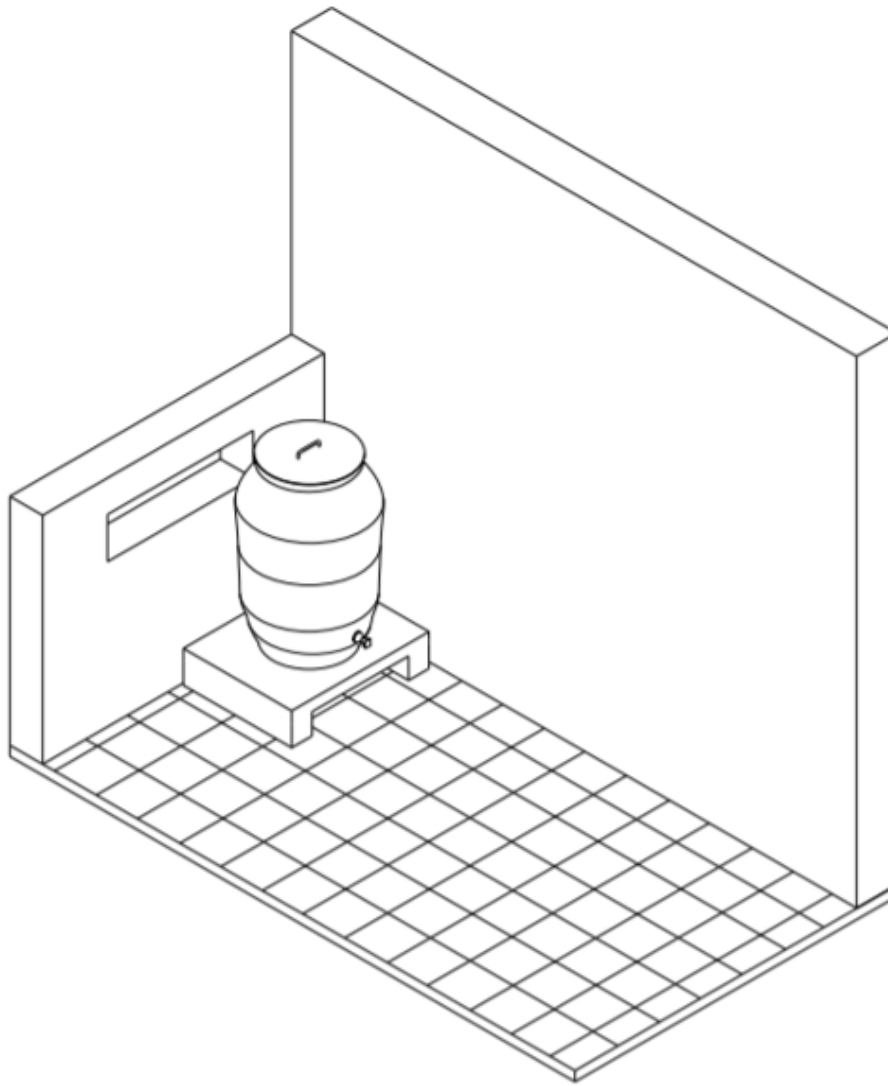


FIGURE 7.16 – Schéma d'un réservoir posé sur un blacon à Alger
Source : *Elaboration propre à partir d'une photo prise en mai 2019*

d'Alger par rapport à la disponibilité de l'eau au vu de l'existence de tampons, et une moindre note sur sa qualité, pour cause de stagnation de l'eau.

« Une fois que l'eau était reçue, on commençait à remplir les bidons, etc.. Tout ce qui était remplissable »

[habitant, Didouch Mourad]

Les réservoirs sont généralement des cylindres faits en plastique anti-UV, de qualité alimentaire, et qui peuvent se tenir verticalement ou horizontalement, en fonction de l'espace

disponible et de la préférence de l'utilisateur. Les tailles des réservoirs répertoriés par des fournisseurs sur *Oued Kniss* vont de 200 à 10000 L, et sont proposés à des prix entre 100 et 8000 DA.

En plus des citernes, d'autres « ustensiles » plus adaptables sont utilisés par les usagers, notamment les seaux, les jerricanes, les bidons, les bouteilles, et parfois même les baignoires et les éviers.

« Chacun chez soi, les gens avaient acheté des bidons qu'ils remplissaient, ils stockaient. Et la majorité des citoyens se sont adaptés en installant des citernes d'eau à la maison donc c'était devenu une mode, c'était rare de trouver une maison sans citerne d'eau donc c'était pratiquement tout le monde qui avait installé une citerne d'eau, il y avait différentes capacités c'était seulement le pouvoir d'achat de chacun. Donc ils installaient des citernes d'eau qui constituaient une sécurité de stockage, d'alimentation temporaire. Lorsqu'il y avait la coupure d'eau sur le réseau, les gens qui avaient la citerne avaient toujours de l'eau dans le robinet à partir de la citerne mais la durée était déterminée, ça ne pouvait pas durer trois jours. »

[habitant, Alger Centre]

7.3.1.2 Surpresseurs

L'installation des surpresseurs est le moyen principal pour pallier les problèmes de pression sur le réseau. Sur un territoire comme Alger ou Tipaza, ces problèmes sont inévitables, à moins de mettre en place une stratégie solide de gestion de la pression. Or le manque des ressources et la mise en place du rationnement compliquent cette procédure.

« Toutes les maisons étaient dotées de « saharij » [citernes] et de « midakhates » [surpresseurs]. L'eau n'arrivait pas avec suffisamment de « force » [pression], des surpresseurs c'était un grand projet : tout le quartier. On les entendait au niveau de tout le quartier »

[habitant, Ain Benian]

Certains des opérateurs interrogés ont déclaré que les surpresseurs avaient disparu dès que le H24 s'était établi à Alger. Pour eux, c'était le gage de la satisfaction des usagers par rapport à la qualité de service qu'ils délivraient.

« tu me distribues de l'eau convenablement et je l'enlève, mais sinon moi je le pose parce que c'est lui qui me permet de m'alimenter moi qui habite au 6ème étage ».

[Responsable de distribution d'eau à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

L'offre était pourtant toujours existante en 2019, avec comme destinataires les usagers domestiques, et un large éventail de choix d'équipements proposés (Tableau 7.2).

TABLE 7.2 – Exemples de caractéristiques de surpresseurs sur le marché algérien - Sources multiples (brochures et annonces sur Oued Kniss)

| N° | Dénomination | Marque | Débit max | Hauteur max | Puissance | Poids | Prix |
|---|---|----------|----------------------|-------------|-----------|--------|----------|
| 1 | Pressure Control | Optima | | | 1,1 kW | | 8000 DA |
| 2 | QB peripheral pump QB60 | Aquatex | 35 L/min | 30 m max | | | 4800 DA |
| 3 | Surpresseur Pentax PM 60 | Pentax | | | | | 5000 DA |
| 4 | XKM 50-1 | LEO | 25 L/min | 20 m max | 0,11 kW | 3,8 kg | 3000 DA |
| 5 Module deux/ trois pompes | SIBOost Smart FC 3HELIX V1603 (3 pompes) | WILO | 52 m ³ /h | 30 m | 2,2 KW | | |
| | CO-3HELIX V1603 3 pompes) | WILO | 52 m ³ /h | 30 m | 2,2 KW | | |
| | ALTI-NEXIS-V1605-3 (SURPRESSEUR BOOSTER) (3 pompes) | WILO | 54 m ³ /h | 48 m | | | |
| 6 | Pompe ESPA Série 3 Turbines | ESPA | 3000 L / h | 33 m | 0,37 KW | 9,6 kg | 17900 DA |
| 7 | Pompe PEDrollo 2 turbines | Pedrollo | 160 L/min | 68 à 32 m | 2,2 kW | 28 kg | 16500 DA |
| 8 | POMPE PÉRIPHÉRIQUE APm 37 | LEO | 40 L/min | 8m | 0,37 kW | | 5400 DA |
| 9 | Pentax PM 45 | Pentax | 40 L/min | 40m | 0,37 kW | 6 kg | 7300 DA |

7.3.1.3 Equipements non liés au réseau : Fontaines à eau et puits

a) Fontaines à bonbonne

Une offre de fontaines à bonbonne est existante sur *Oued Kniss*. Ces fontaines peuvent avoir une option chaud/froid, ou uniquement une option réfrigérante. Elles accueillent des

bonbonnes de 4 à 20 L, et coûtent entre 1500 et 2500 DA. Les bonbonnes présentes sur le marché ont majoritairement des capacités de 12, 18 ou 19 L. Les contenants de 5 et 10 L sont généralement des bidons d'eau.

b) *Puits domestiques*

Nous constatons en parcourant les annonces de ventes immobilières à Alger et Tipaza que plusieurs logements (principalement des maisons individuelles dans le cas d'Alger, et des fermes ou maisons traditionnelles dans le cas de Tipaza¹⁰⁹) disposent de puits domestiques. Ces logements occupent de grandes superficies (400 m² en moyenne, avec de grands jardins), et mentionnent la présence de citernes aussi.

7.3.1.4 Synthèse sur les équipements utilisés

Dans le cas d'Alger et Tipaza, nous retrouvons une multiplicité des usages de l'eau du réseau, et le recours à des sources alternatives selon ces différents usages. La figure suivante (Figure 7.17) illustre la répartition de la provenance de l'eau consommée par les répondants au questionnaire¹¹⁰. La quantification de la répartition n'est pas représentative mais met tout de même cette multiplicité en avant. L'offre du réseau, bien qu'étant prépondérante, n'est pas la seule source d'approvisionnement en eau, et sa part est encore moins importante à Tipaza (39 % contre 54 % à Alger).

En réponse à ces usages, nous constatons la présence de l'ensemble des équipements cartographiés dans la littérature sur l'approvisionnement en eau, à l'exception des équipements de traitement domestique (seules 4 personnes parmi les répondants ont indiqué recourir à la filtration de l'eau) et des installations pour la récupération des eaux de pluie. L'eau de pluie citée par les répondants (Tableau 7.1) est utilisée principalement pour de l'arrosage direct, sans équipements dédiés. Sa pratique n'est donc pas à la même échelle qu'en Inde par exemple. Le schéma esquissé dans la partie 1 (Figure 3.5), que nous avons complété par une source d'eau na-

109. mais sur les 45 logements répertoriés, nous avons relevé l'existence de puits pour 3 habitations en appartement, où le puits est probablement partagé.

110. Nous nous sommes basés sur la répartition suivante des usages pour les réseaux français : boisson (1 %), cuisine (6 %), vaisselle (1 %), hygiène et sanitaire (59 %), linge (12 %), ménage (7 %), arrosage (4 %), récréation et autres usages (1 %), source : Centre d'information des entreprises et services d'eau et d'assainissement (2001).

turelle et une borne fontaine, reste donc suffisamment exhaustif lorsqu'on se place à un niveau d'accessibilité individuelle.

L'approvisionnement, l'installation, et la maintenance de ces équipements nécessite le recours à des fournisseurs et des intervenants dédiés.

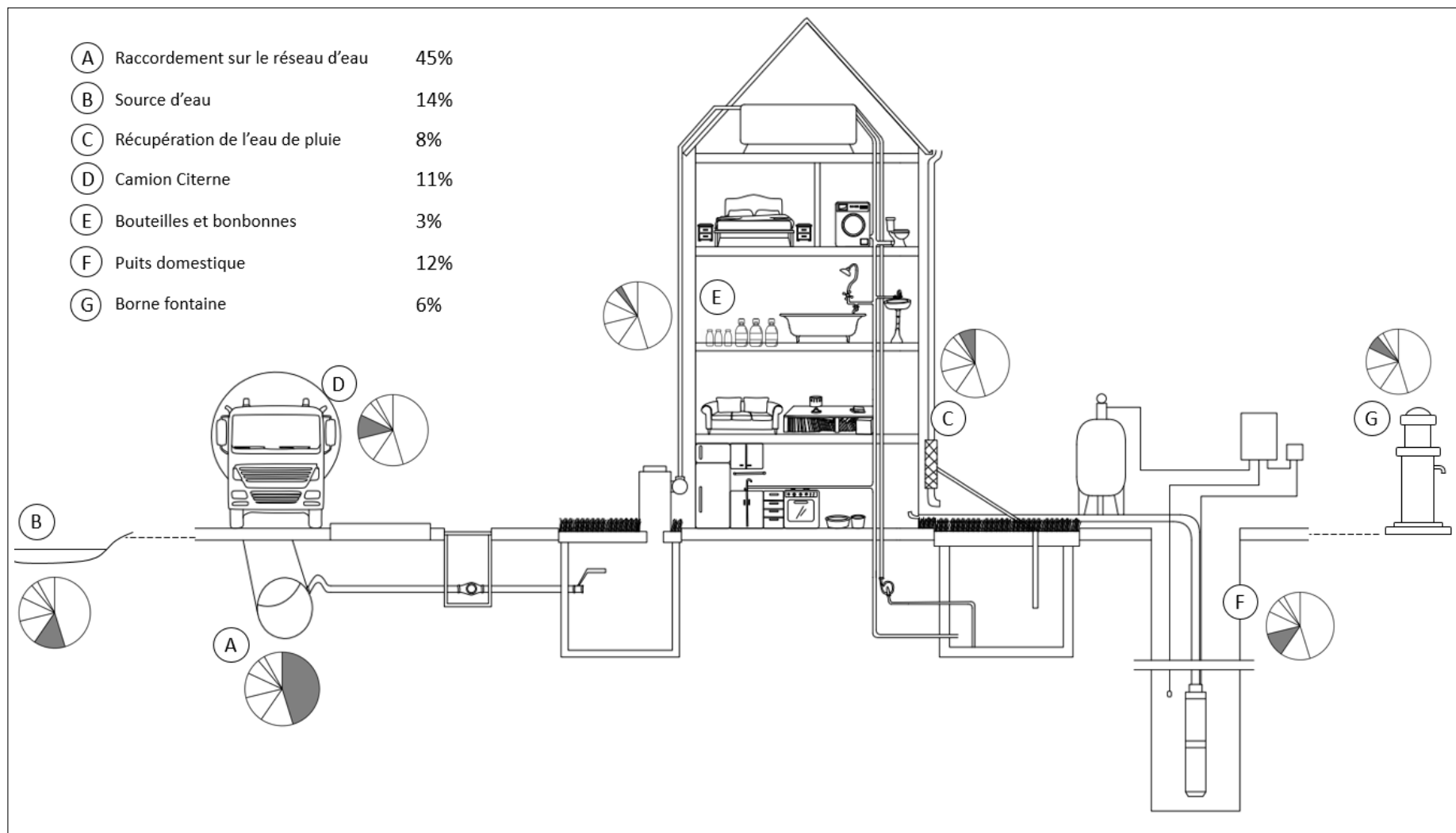


FIGURE 7.17 – Répartition des sources en eau pour les répondants au questionnaire (Alger et Tipaza)
 Source : Elaboration propre

7.3.2 Acteurs et intervenants

Dans un territoire en alimentation en eau en intermittence, l'accès de la population à l'eau en continu repose sur les services des intervenants qui répondent à la fourniture de ressources supplémentaires ou d'équipements et leur maintenance, et impactent l'offre du réseau. Cet impact peut être très direct sur le réseau lui-même, quand il s'agit de faire appel à des prestataires qui permettent de se connecter dessus.

Pour mieux comprendre ce rôle, nous nous sommes entretenus au téléphone, COVID obligeant, avec deux plombiers algérois. Et nous avons recueilli des informations sur d'autres prestataires de produits ou de service via la plateforme *Oued Kniss*. Nous présentons dans cette section les principales conclusions que nous avons pu en tirer.

7.3.2.1 Plombiers

Les deux plombiers interrogés¹¹¹ représentent deux générations de plombiers algérois. Le premier a plus de 20 ans d'expérience et a travaillé dans différentes wilayas (Alger, Semma, Tizi Ouzou, Reghaia) et le deuxième, plus jeune, avait 5 ans de carrière lors de l'entretien en mars 2020. Il exerçait à Alger, mais avait déjà travaillé hors wilaya.

L'évolution de l'activité de plomberie pendant les 30 dernières années a accompagné une évolution du rôle du gouvernement. Jusqu'à la fin des années 1990, le domaine était cadré par l'état, pour ensuite évoluer dans un marché plus libéral.

« En 1999 l'Etat avait le monopole sur les matériaux (galvanisé, cuivre...), et le seul décideur dans le marché. C'était l'Etat qui définissait les tâches des plombiers, projets et même les matériaux utilisés. Après les années 90 et surtout après la décennie noire, de nouveaux matériaux (multicouche, PEHD...) sont entrés dans le marché. » [Plombier 1].

L'évolution de l'approvisionnement en eau à Alger n'a pas révolutionnairement impacté la demande en systèmes alternatifs selon le plombier qui a vécu cette transition, mais on peut

111. Qui ont le même prénom, pour l'anecdote.

supposer que l'activité d'installation et d'entretien des surpresseurs et des systèmes de stockage ait pu être impactée « *Il y avait au début un système de distribution qui utilise des barrages et châteaux d'eau dans chaque commune, sans utilisation des pompes, après il y a des habitants qui sont allés vers l'utilisation des bâches d'eau (enterrées, installées par les propriétaires) dans les villas et les terrains agricoles. Les gens qui habitaient dans des immeubles n'avaient rien du tout* » [Plombier 1].

Après la période de transition, les interventions des plombiers se font à la demande des usagers, lorsqu'il y a un dysfonctionnement du réseau domestique ou pour l'installation et l'entretien des équipements qui peuvent se brancher dessus, et qui sont dans notre terrain principalement des équipements de stockage ou des surpresseurs.

a) ***Rôle des plombiers : vente, installation, et entretien des équipements***

L'intervention du plombier ne se réduit pas à l'installation de ces systèmes mais se prolonge pour leur entretien et maintenance. Selon la pression de l'eau, sa teneur en calcaire et la qualité du surpresseur, une citerne pourrait fonctionner sans maintenance entre 5 et 6 ans selon l'expérience des plombiers interrogés. Dans les quartiers les plus anciens, le travail de maintenance des plombiers est plus fréquent.

Sans contractualisation, les plombiers jouent également un rôle d'intermédiaire entre les usagers et les fournisseurs : « *la vente de la marchandise des fournisseurs dépend des plombiers, et non pas du consommateur final, ils remettent la marchandise aux plombiers qui s'occupent de l'utiliser/la vendre et récupèrent un pourcentage (parce que les plombiers assurent aussi une sorte de marketing).* » [Plombier 2].

b) ***Des équipements et coûts imposés par l'intermittence***

Bien que l'installation des systèmes de stockage existe vraisemblablement depuis longtemps, le choix d'un équipement dépend de la capacité financière des habitants et elle est incontournable dans certains programmes de logement « *parfois lorsqu'il y a une nouvelle cité, il n'y a rien qui est encore installé (eau, électricité, gaz), la première chose que tu fais c'est d'essayer d'avoir une citerne...* » [Plombier 2].

A cause de l'intermittence cependant, les usagers font face à des coûts supplémentaires liés aux systèmes de stockage : « *La bête à eau par exemple coûte environ 180000 DA. Le montage des petits surpresseurs c'est environ 5000 DA et les pompes environ 70000 DA.* » [Plombier 1]. Au coût d'achat et d'installation de matériel, s'ajoute le coût maintenance et de réparation des différents dysfonctionnements.

c) ***Pratiques nuisibles à l'opérateur : Branchements illégaux***

Les usagers préfèrent faire appel aux plombiers plutôt qu'à SEAAL pour se brancher sur le réseau et avoir un accès « gratuit » à l'eau. Cette pratique répandue chez les propriétaires de commerces ou magasins, peut être justifiée par les délais de création de nouveaux branchements parfois excessifs chez l'opérateur, et présente aussi des avantages économiques pour l'utilisateur, selon le témoignage du plombier expérimenté.

« *dans le cas d'un commerce par exemple, s'il veut créer un compte et appeler SEAAL, et que le réseau est loin de lui de 6m, ils lui factureront le travail sur tous les 6m (10000 DA/m)+1800 pour le compteur, c'est pour ça qu'ils préfèrent faire appel à des plombiers. Ils se disent que c'est mieux d'appeler un plombier, je lui creuse le trou, et il me fera le branchement (10000 DA, puis j'aurai de l'eau gratuitement à vie, volée au gouvernement) »* [Plombier 1].

Il est à noter que cette opération illicite est parfois suggérée et effectuée par des agents de l'opérateur qui agissent pour leur propre compte.

L'intermittence crée donc un marché parallèle où les plombiers génèrent une marge sur la vente de la plomberie et des équipements et sont rémunérés pour l'installation et la maintenance de systèmes de stockage, et sur les opérations illégales de branchement sur le réseau. Et cette offre est double, des plombiers indépendants et des agents de l'opérateur qui le font à son insu.

L'intermittence et les pratiques des usagers créent de ce fait un cercle vicieux où l'utilisateur cherche à pallier un besoin vital d'alimentation continue en eau en générant plus de contraintes sur un réseau déjà affaibli. Dans ce schéma, le rôle des plombiers est d'une part nécessaire pour assurer le fonctionnement des équipements d'adaptation à un réseau en intermittence et d'autre

part nuisible au développement du réseau car il n'est pas aligné avec les efforts de l'opérateur.

7.3.2.2 Conducteurs de camions citernes

Le cas des camions citernes est également caractérisé par une offre double. Des camions citernes de l'opérateur, officiels cette fois-ci, qui sont gérés par le centre de gestion des interventions, et des camions citernes indépendants. Nous faisons donc la distinction dans la suite entre ces deux types d'acteurs.

a) *Camions citernes de l'opérateur*

i. *Un usage complémentaire à l'offre du réseau, restreint par une offre réduite*

1. *Avant le H24 : Mesure réactive aux urgences et aux réclamations*

Avant l'arrivée de SEAAL, le réseau existant ne pouvait pas assurer l'alimentation en eau de la ville d'Alger. D'une part, il ne couvrait pas toute la ville qui s'élargissait et d'autre part il présentait des défaillances dans la zone du centre et des pertes significatives dans un contexte de pénurie en eau. Le recours aux camions citernes était nécessaire. Cependant, avec un parc de camions citernes réduit, l'alimentation ne répondait pas au besoin de la population selon une planification préalable mais réagissait aux urgences et aux réclamations.

« Dans le centre-ville d'Alger c'était difficile d'alimenter autrement que les quelques camions citernes qu'on a pour arriver à faire l'appoint sur l'alimentation livrée. Les quartiers qu'on ne touchait pas on les alimentait par camions-citernes, mais on n'avait pas une flotte de camions-citernes comme celle de Djeddah ou ailleurs, une centaine de camions-citernes, ça se comptait sur le bout des doigts. Il y avait une dizaine de camions-citernes qu'on distribuait toute la journée à gauche et à droite au besoin, quand les réclamations commençaient à se faire sentir et on calmait un peu les gens avec ça. »

[Responsable technique à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

2. Pendant le H24 : Gestion des coupures prolongées

Durant la période d'alimentation continue, l'opérateur avait recours aux camions citernes lorsqu'il y avait des coupures prolongées. En dehors des cas particuliers où des camions citernes étaient mobilisés pour répondre aux réclamations de certains usagers, ce moyen d'alimentation n'était pas initialement destiné aux usages domestiques.

« parfois il y avait des problèmes de coupures prolongées, on nous envoyait des camions citernes...les gens du quartier appellent »

[habitant, Didouch Mourad]

Certains usagers ne se considèrent pas destinataires de cette offre.

« les camions sont utilisés ponctuellement, et pas pour les habitants »

[habitant, El Harrach]

ii. Destinataires de l'approvisionnement par camion-citerne

« on assurait par exemple les universités, les hôpitaux, les cliniques où ils faisaient des dialyses par exemple, on faisait le maximum pour les alimenter en eau même en camion-citerne. Mais pour l'ensemble des clients on ne peut pas le faire avec les camions de citerne de SEAAL qui sont à Alger et à Tipaza. »

[Responsable des grands comptes à Alger, anciennement responsable d'exploitation à

Alger et à Tipaza, 21/04/2019]

Selon l'opérateur, le mode d'alimentation en camion-citerne ne peut pas être généralisé pour répondre aux besoins de la population ni pour remplacer l'offre supposée être garantie

par le réseau. C'est un mode réservé aux organismes de santé (hôpitaux, cliniques, centres de dialyse, etc.) et pour combler un besoin minimal dans les quartiers les plus denses en cas de coupures prolongées.

« si tu alimentes les gens en camions de citerne, si demain tu as besoin de ces camions-citernes sur Alger parce qu'il y a une casse conduite ce sera compliqué , donc on préfère qu'ils prennent de l'eau quotidiennement ou 3 fois par semaine plutôt que de leur envoyer des camions citernes »

[Responsable des grands comptes à Alger, anciennement responsable d'exploitation à Alger et à Tipaza, 21/04/2019]

« ce n'est pas systématique parce que le nombre de camions existants ne suffirait pas pour alimenter toute personne qui appelle à.... Il y avait des priorisations c'est à dire les hôpitaux des cliniques tout ça, c'était ça les priorités, ou bien les grandes cités où les populations sont grandes étaient favorisées également tout dépend...[...]

C'est les coupures programmées des travaux programmés, on utilise les camions citernes lors de ces coupures, c'est à dire nous savons que nous allons couper dans telle zone donc les VIP : des hôpitaux évidemment, parfois il y a certaines cités où la densité de la population est importante. Pour ces cités-là, on n'attend pas que les gens appellent pour envoyer les camions citernes, on les envoie systématiquement. Nous savons que même s'ils n'ont pas appelé, il y a des gens qui vont descendre pour remplir des bassins des bidons et tout ça. »

[Chef de centre Alger Centre et Agent terrain, ayant toujours travaillé au même centre avant l'arrivée de SEAAL, 25/04/2019]

Il est également intéressant de souligner que le choix politique ou de gestion est de réserver les camions citernes pour assurer une alimentation partielle à la capitale dans les cas

d'accidents ou de travaux plutôt que de mobiliser le parc réduit ailleurs. Ceci traduit le manque fondamental de moyens par rapport aux besoins réels de la population.

« les camions citernes déjà rien qu'à Alger s'il y a des grosses coupures et encore la difficulté à les mobiliser pour les mettre à disposition des clients, et généralement ils sont plus utilisés pour des clients plus sensibles comme les hôpitaux, les cliniques, tout ça les institutions militaires, mais sinon les clients grands publics, doivent prendre leur mal en patience. »

[Responsable CGI SEAAL, 23/04/2019]

iii. *Des camions citernes pour renforcer l'offre du réseau lors des périodes de pointe exceptionnelles*

Des périodes de fortes demandes en quantité d'eau absolue ou liées au déplacement de la pointe de consommation (sur la matinée de la fête de l'Aid El kebir ou en soirée lors de la rupture du jeûne pendant le mois de Ramadan), génèrent de grandes pressions sur le réseau, et nécessitent de renforcer son offre en termes de disponibilité de l'approvisionnement et de pression dans les points d'accès. Lorsque ce renforcement n'est pas suffisant, l'approvisionnement par camions citernes peut venir compléter cette offre.

« ça se décale pour le matin je crois et la nuit ils ferment ils suspendent la distribution pour remplir encore une fois des réservoirs et injecter tout le matin sur le réseau, mais il y a un programme spécial pour ramadan et je crois ils renforcent aussi toutes les camions-citernes nous-mêmes nous avons des camions-citernes. »

[Responsable communication à SEAAL, 24/04/2019]

iv. *Nombre mal maîtrisé*

Le recensement du nombre de camions citernes oscille entre 11 et 32 selon les différentes personnes interrogés. Le chef de centre Alger Ouest avait indiqué que le nombre de camions

était de 22 tandis qu'un expert de gestion patrimoniale de la SEAAL indiquait 30 camions de 6 m³. Ce même nombre a été réduit à 11 par un responsable SGI de SEAAL et augmenté à 32 par un responsable et agent de terrain. Ce parc de camions non maîtrisé n'offre dans le scénario le plus optimiste qu'un volume d'eau très minime de 192 m³ (32 camions x 6 m³). Cependant, cette offre ne dépend pas uniquement du matériel mais également des chauffeurs et leur disponibilité.

« même les camions on ne les maîtrise pas, on parle de 11 camions, mais aujourd'hui on en compte... Quand il y a une zone qui nous demande de l'eau on cherche une citerne, quand il n'y a pas de chauffeur, c'est les camions, quand y'a pas de camion, c'est le chauffeur. C'est le souci »

[Responsable lutte contre anomalie et fraudes, 23/04/2019]

Le volume d'eau pouvant être mobilisé pour subvenir aux besoins les plus urgents reste donc inconnu et minime.

« Il y en a une trentaine, maintenant chaque centre a un camion-citerne, il y a un camion qui est stationné là. Donc ce camion-là le centre l'utilise pour alimenter les gens en cas de coupure en cas de réclamation mais lorsqu'il y a des coupures où l'impact est important un camion-citerne ne suffit pas donc on informe, et on a le soutien des autres camions-citernes des autres centres. Il y en a une trentaine, le nombre exact est 32 je pense »

[Chef de centre Alger Centre et Agent terrain, ayant toujours travaillé au même centre avant l'arrivée de SEAAL, 25/04/2019]

« Les camions citernes sont utilisés lors d'incidents majeurs, pour alimenter principalement les hôpitaux et les écoles : le CGI [centre de gestion des interventions] dispose de 11 camions [...] L'état de contrainte de la distribution est établi chaque vendredi - Pas de CGI prévu à Tipaza »

[Responsable CGI SEAAL, 23/04/2019]

b) ***Camions citernes comme offre alternative***

1. *Avant le H24*

L'offre officielle d'alimentation en eau (réseau et camions de SEAAL) ne pouvant subvenir aux besoins de la population, les camions citernes privés se présentent comme une alternative. Cette dernière n'est pas structurée ou contrôlée. C'est un service offert par des particuliers qui parcourent les quartiers dans leurs camions avec un numéro de téléphone marqué à la peinture, que les habitants prennent l'initiative de contacter.

« C'est des indépendants, c'est pas géré par une société quelconque. C'étaient des particuliers qui circulaient au noir, c'était pas structuré »

[habitant, Quartier El Biar]

2. *Pendant le H24*

L'approvisionnement en eau en camions citernes est toujours d'actualité à Alger mais cette procédure est considérée tabou par les autorités.

« Ils achètent de l'eau [...] en citernes oui... [...] ça existe toujours dans l'Est. Je crois oui ça existe toujours dans l'Est c'est des citernes qu'ils remplissent d'eau et ils n'ont pas la certitude que c'est une eau potable on ne sait pas [...] Très cher 1200 dinars en citerne [...] personne ne veut soulever ce problème par ce que c'est politique, il ne faut pas dire que les habitants les Algériens achètent de l'eau, mais ici ils achètent de l'eau . »

[Responsable communication à SEAAL, 24/04/2019]

La multitude des offres de camions citernes sur *Oued Kniss* témoigne du besoin et du marché existant des camions citernes.

Ces offres dont le prix n'est pas annoncé mais reste à négocier reflètent le besoin et le problème d'achat de l'eau par les Algérois.

Livraison D'eau Potable

1 DA Négociable



| | |
|-------------|--|
| Numéro | 30241649 |
| Date | 07/02/2022 22:03:04 |
| Description | <p>-Livraison et transport d'eau potable à partir de 15 000 Litres . -Location (mise à disposition) camion citerne à eau potable avec chauffeur, de capacité 15 000 Litres et 22 000 Litres.</p> |

FIGURE 7.18 – Exemple d'offre de livraison d'eau potable à Alger-Dar El Beida (source : <https://www.ouedkniss.com/>)

i. Prix

« À Alger, l'eau potable est une denrée rare qui se vend aux camions citernes » C'était le titre d'un article de presse (Barlamane.com | 25 juin 2021) décrivant la pénurie d'eau à Alger et vente de l'eau aux camions citernes par les propriétaires de puits ou les communes comme un phénomène récurrent. Selon cet article, Il faut déboursier entre 25 dinars pour avoir 5 litres d'eau et 200 dinars pour avoir 40 litres d'eau. Le prix de l'eau peut atteindre les 1200 DA en citerne selon un responsable communication à la SEAAL.

« Le pire des scénarios : Des tracteurs qui circulaient avec des citernes, on les payait et ils venaient pour nous doter d'eau (ça coûtait assez cher, ça pouvait aller jusqu'à 500 - 600 dinars) => ils remplissaient des citernes externes (il y avait à l'époque,

des citernes en plastique, qui pouvaient contenir 100 à 200 litres) »

[habitant, Quartier El Biar]

Dans des périodes de pénurie d'eau, les prix augmentent et peu de marge de négociation demeure pour le grand public qui doit chercher à assurer un besoin vital.

ii. *Problème de qualité*

En plus du problème du prix déraisonnable, se pose un problème de la qualité de l'eau. La distribution de l'eau étant non structurée et non contrôlée, l'utilisateur ne peut pas faire confiance au chauffeur de camion et consommer cette eau comme une eau potable. C'est un problème majeur qui risque de se transformer facilement en catastrophe à cause de la sensibilité de la qualité de l'eau au processus de pompage, stockage et livraison et au risque de contamination.

« Des puits privés, ils pompaient ils vendaient de l'eau ils étaient là... ils stationnaient un peu partout, avec leurs tracteurs leur citerne derrière ils écrivaient le numéro de fil, les gens appelaient ou bien allaient chez eux, pour pouvoir remplir leur bâche ou leur citerne etc.

C'est pour ça que je t'ai dit que les gens ne consommaient pas cette eau [problème de qualité], mais ça coûtait les yeux de la tête, 1500 jusqu'à 2000 dinars la citerne, donc il y avait pas mal d'articles sur les journaux en disant qu'on est obligé d'acheter des citernes à 1500 dinars par ce qu'on n'était pas capable d'assurer les ressources »

[Responsable de distribution d'eau à Alger depuis 30 ans, 23/04/2019]

Les Algérois se retrouvent face à un marché non structuré pour la distribution de l'offre alternative qu'il payent cher par rapport à une eau du réseau dont ils se plaignent du prix, pourtant beaucoup plus abordable, sans avoir de garantie sur la qualité de cette offre alternative.

7.3.3 Mise en perspective : Cas de Annaba

7.3.3.1 Description de l'approvisionnement en eau

La wilaya de Annaba se situe au nord-est de l'Algérie, à 600 km d'Alger (Figure 7.19). Le réseau d'eau, contrairement à celui d'Alger et de Tipaza, n'est pas géré par SEAAL, mais directement par l'ADE. Il s'étend sur 1353 km et dessert une population de plus 700 000 habitants (2018¹¹²), sur 12 communes. La station de traitement de Chaiba est la principale infrastructure desservant Annaba *via* deux conduites d'adduction. Ces deux canalisations acheminent l'eau le long de leurs parcours respectifs vers différentes stations de pompage et réservoirs, à partir desquels l'eau est fournie aux services de distribution de la wilaya, qui alimentent les deux centres de la ville de Annaba : Annaba I et Annaba II, en plus du centre El Bouni. L'approvisionnement en eau à Annaba est majoritairement en intermittence, avec une estimation par l'opérateur de moins de 3 % de la population en H24 en 2019 (51 % au quotidien, 30 % 1 jour sur 2, et 16 % en un 1 jour sur 3 ou plus).

En 2019, la planification du programme de distribution se faisait quotidiennement à deux niveaux :

1. Sur le plan global du réseau : La direction d'exploitation transmet des consignes macroscopiques d'ouverture et de fermeture des vannes aux chefs de centres de

112. La population globale de la ville de Annaba est estimée à 257 359 habitants d'après le dernier recensement général de la population et de l'habitat, qui date de 2008. Au niveau des quartiers et des zones de desserte des centres de distribution de la ville de Annaba, aucune autre information sur l'évolution de la population n'est disponible aujourd'hui, mises à part les estimations suivantes faites par la direction d'exploitation de l'ADE lors de la mission de février 2019 :

- Centre Annaba I, qui gère la distribution de la partie Centrale et Est de Annaba (stations Santons et Casbah) : Population totale estimée à 180 000 habitants (dont la part desservie est estimée à 176 189 habitants).
- Centre Annaba II, qui gère la distribution de la zone Ouest (stations Sidi Achour, plaine Ouest, Oued Forcha, Zaafrania I, II et III) et littoral (stations Toche et Sidi Aissa) de Annaba et de la commune de Seraidi : Population desservie estimée à 187 500 habitants (dont 11 500 habitants à Seraidi).

Cette estimation ne s'accorde pas avec celle retranscrite dans le rapport de synthèse de l'ADE de juin 2018 (qui estime la population totale des deux centres à 292469 habitants (dont 8415 à Seraidi) . Il est à noter que si ces estimations sont correctes, la population aurait augmenté uniquement de 4 % en 12 ans (10 141 habitants). Cette tendance est réductrice par rapport à l'évolution démographique en Algérie sur la même période (21 %) selon les données de la banque mondiale.

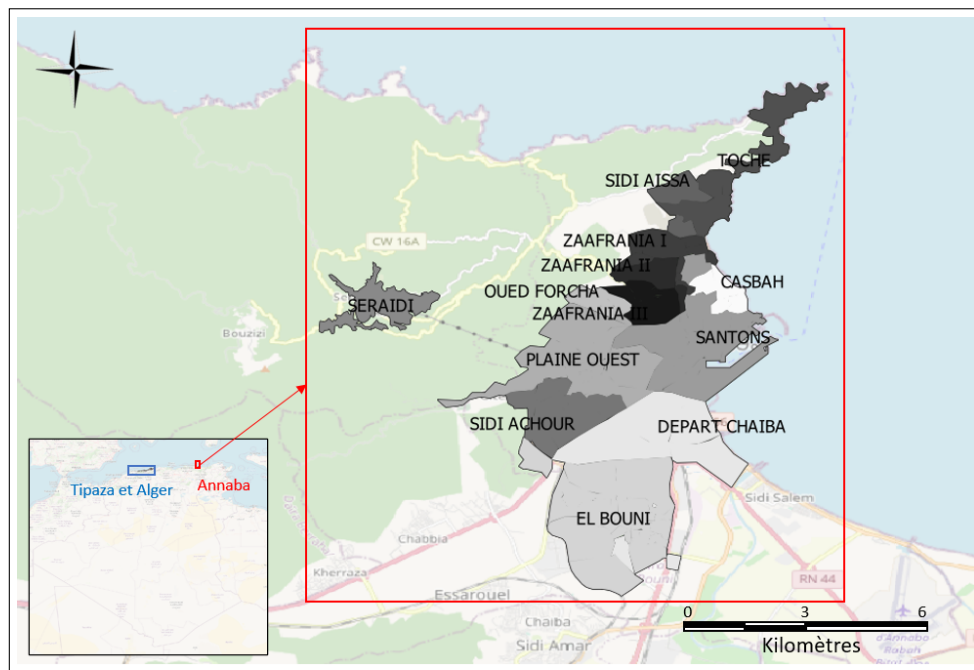


FIGURE 7.19 – Positionnement de la zone de desserte de Annaba et de ses stations
Source : *Elaboration propre*

distribution pour débiter ou arrêter l'alimentation d'une zone. Cette communication se fait principalement par téléphone, sans traçage systématique de la directive au niveau central.

2. Sur le plan des centres de distribution : l'alimentation se fait selon plusieurs schémas :
 - a. Des horaires de manœuvre usuels sont adoptés en fonction des niveaux des réservoirs de la station.
 - b. Si le centre se trouve à l'aval d'une station de pompage, l'ouverture/fermeture quotidienne des vannes d'alimentation est définie par les heures de pompage déclarées par la station amont. La communication entre les deux centres (amont et aval) se fait par téléphone également.
 - c. Si une consigne d'ouverture ou de fermeture exceptionnelle est donnée par la direction d'exploitation, cette consigne est prioritaire aux pratiques de manœuvre usuels.

Les horaires d'ouverture et de fermeture des vannes ainsi que ceux des mises en marche/arrêts des pompes sont généralement inscrits par les équipes de permanence des centres dans un registre (Figure 7.20), cette pratique n'est cependant pas adoptée

dans tous les centres (exp. Au niveau de la station Rizi Amor, l'information est principalement relayée entre le centre et la direction d'exploitation par téléphone). La capitalisation de l'information se fait donc uniquement en termes de dotation (estimée) par localité, et de fréquence d'alimentation.

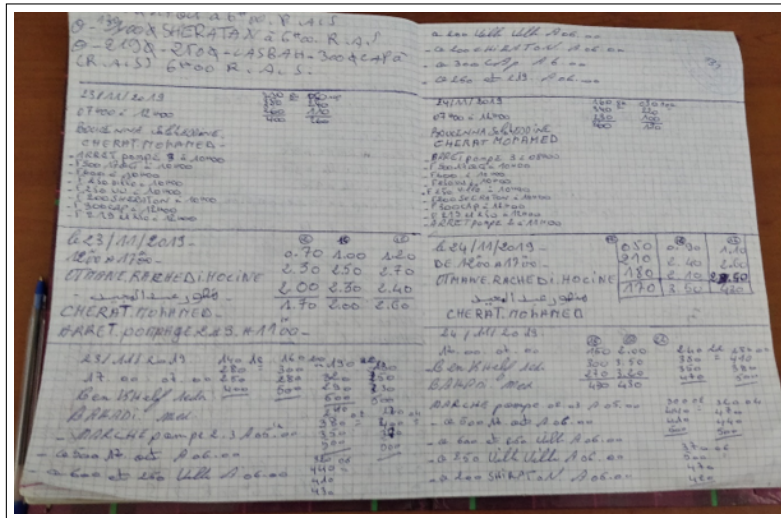


FIGURE 7.20 – Entrée de Registre à la Station des Santons les 24 et 25 novembre 2019
Source : Photo prise le 07/01/2020

L'information sur les fréquences et les durées d'alimentation communiquées par l'ADE dans ses rapports présente des incohérences sur plusieurs quartiers, lorsqu'on la compare à la fréquence estimée par certains habitants de ces quartiers. Pour reconstituer des fréquences plus fiables coté opérateur, nous avons interrogé lors de la mission terrain à An-naba des chefs et des agents de stations pour avoir une estimation des durées d'ouverture des vannes et de pompage, des stations qui alimentent principales zones de distribution (Figure 7.21). Cette fréquence constitue de ce fait pour les usagers une fréquence maximale d'approvisionnement.

L'ADE gère le réseau d'eau, mais dispose également d'une flotte de camions citernes qui sont déployés pour renforcer cette offre, principalement pour les quartiers aux fréquences d'approvisionnement les plus basses, et pour les consommateurs fragiles en cas de perturbation.

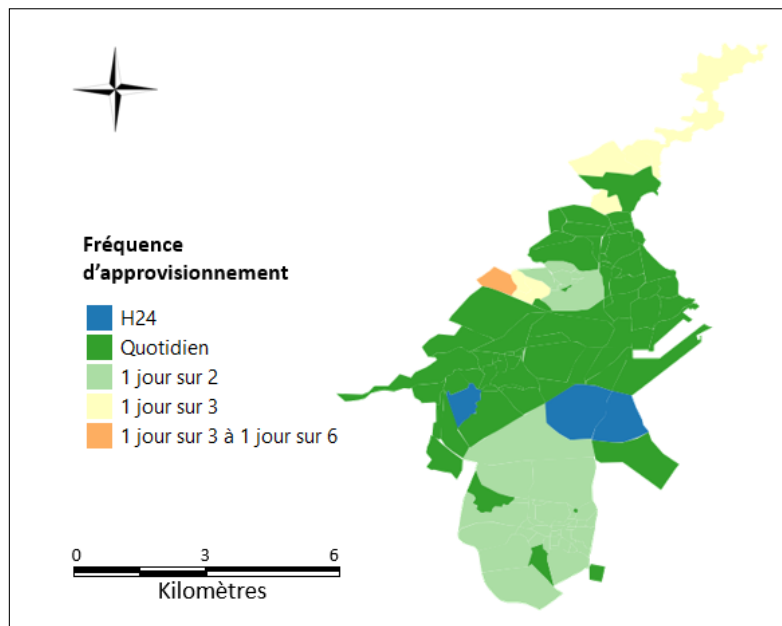


FIGURE 7.21 – *Fréquences de distribution en eau par sortie de stations selon le témoignage des chefs et agents de stations de Annaba*
Source : *Elaboration propre*

7.3.3.2 Mesures d'adaptation des usagers

On retrouve systématiquement l'usage des réservoirs avec les surpresseurs. Les façades des immeubles à Annaba affichent en grande majorité des réservoirs sur les balcons, d'une taille homogène par quartier. « À la maison nous avons un réservoir vertical de 1000 litres [...] la majorité de mes voisins ont le même [...] Ces réservoirs sont uniquement pour usages domestiques : la vaisselle, le ménage, se doucher... ». [habitant - Annaba] Les usages cités sont bien des usages domestiques, mais pas la boisson, qui est réservée à l'eau embouteillée. Le choix de la taille du réservoir est lié à la fréquence d'approvisionnement, avec pour principe une simulation domestique du H24.

« Vu que l'eau est disponible presque toute la semaine, notre réservoir est tout le temps rempli [...] le réservoir est lié directement à l'eau du réseau, puis les robinets sont liés au réservoir ». [habitant - Annaba]

Un système de branchement du réservoir sur le réseau, puis une liaison entre le réservoir et les robinets à l'intérieur du domicile sont généralement mis en place. La figure suivante (Figure 7.22) illustre ce système.

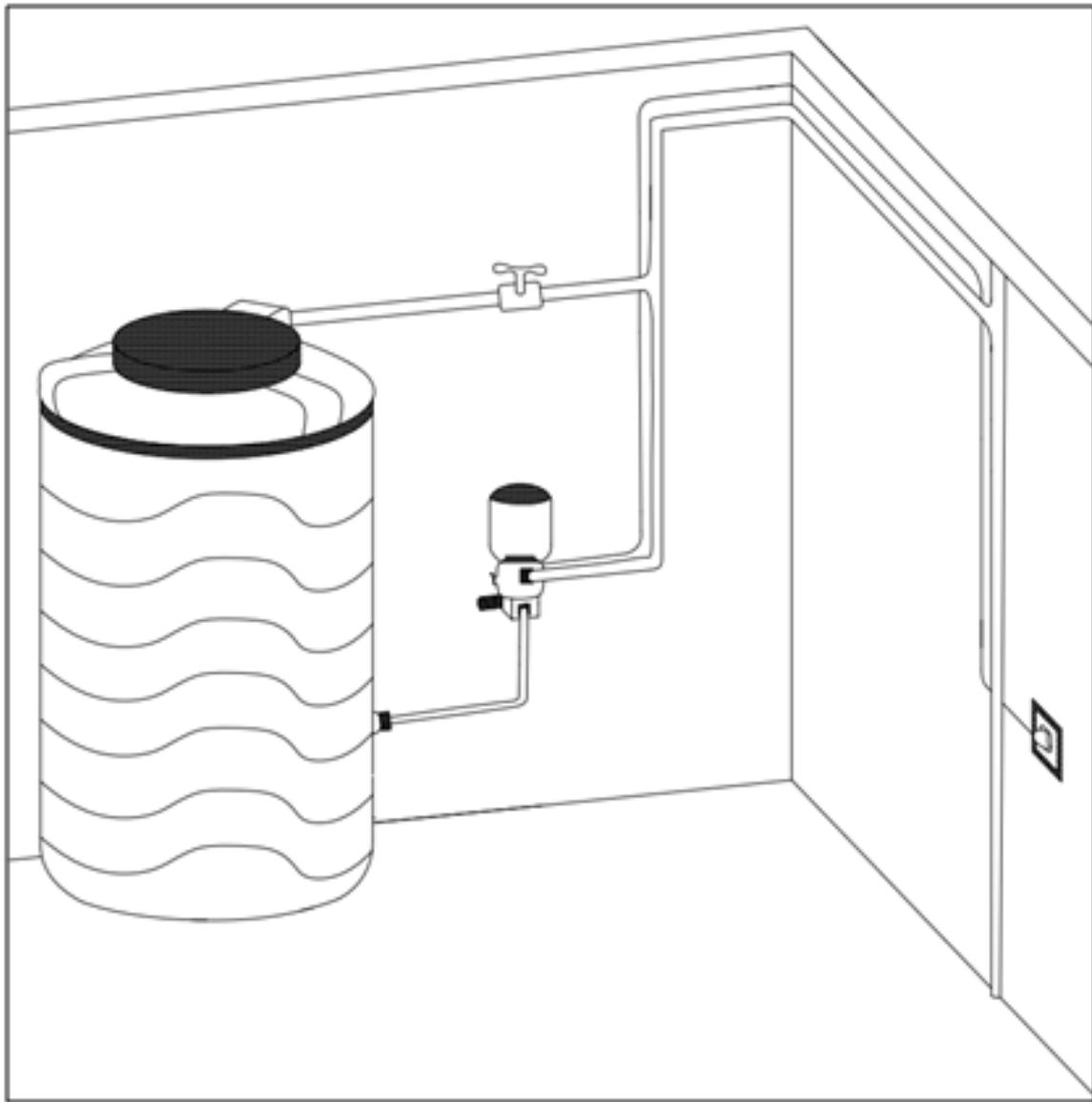


FIGURE 7.22 – Schéma d'un système de raccordement d'un réservoir et surpresseur au réseau domestique à Annaba
Source : *Elaboration propre*

« Les canalisations en haut assurent l'alimentation du réservoir par l'eau du réseau. Le robinet en haut c'est comme une sorte de vanne, un système de fermeture qui permet de bloquer l'eau une fois que le réservoir est rempli [...] les deux parties sont reliées via un tuyau qui est branché à un système de pompe domestique [...] Pour utiliser l'eau stockée dans le réservoir, un interrupteur actionnant un système hydroélectrique permet d'activer le moteur de la pompe pour que l'eau arrive à nos robinets ». [habitant - Annaba]

Cette configuration implique un robinet flotteur, un surpresseur, une vanne d'arrêt, et un interrupteur d'activation. Tous ces éléments doivent s'ajouter au coût du réservoir et de la main

d'oeuvre, pour évaluer le coût global de l'investissement en terme de la stratégie d'adaptation « stockage ».

« Pour le prix de notre réservoir c'est dans les 10000 à 11000 dinars Algérien [...] La pompe domestique c'est dans les 5 à 6 cent mille dinars algérien [...] La main d'oeuvre et l'installation c'est dans les 340000 dinars Algérien ».

On se retrouve avec un coût d'investissement de 850 à 950 mille DA, auquel s'ajoutent les frais de maintenance, et la consommation électrique.

Globalement, l'enquête à Annaba a été menée auprès de onze opérateurs de l'ADE, ainsi que deux habitants de la ville, dans le cadre d'une mission d'assistance technique. Cette enquête visait à apporter une mise en perspective des résultats de l'étude menée à Alger et Tipaza en examinant une situation où l'intermittence est plus sévère et où l'intervention de SEAAL et SUEZ se limite à du transfert de savoir-faire. Les résultats obtenus ont confirmé les conclusions de l'étude menée à Alger et Tipaza, notamment en ce qui concerne les stratégies d'adaptation des usagers.

7.4 Synthèse du chapitre 7

L'analyse de l'offre de service côté usager a permis de relever les éléments suivants :

- L'intermittence historique à Alger et actuelle à Tipaza a imposé un ajustement de l'usage de l'eau du réseau par les usagers, qui est en phase avec une adaptation des niveaux d'accès ;
- La perception par les usagers de la qualité du service de l'eau livrée au réseau n'est pas compatible avec l'évaluation technique réalisée par l'opérateur. Elle est tributaire en partie de l'évolution de l'exigence des usagers, avec l'avènement du H24 ;
- La réponse au besoin de l'utilisateur du service de l'eau par réseau évolue au sein d'un écosystème formel et informel, dont les acteurs façonnent l'offre de l'approvisionnement en eau ;
- Le service intrinsèque au régime est essentiellement coproduit, ce qui met en évidence la nécessité d'impliquer le tissu préexistant, dans la définition des lignes d'action à mettre en œuvre, qu'il s'agisse de l'évaluation et de l'amélioration de la qualité du service ou, en dernier ressort, des acteurs de la transition vers l'approvisionnement continu.

Lorsque l'opérateur intervient dans le cadre de sa mission « d'amélioration » de l'offre de distribution, il perturbe l'équilibre établi par ce tissu, et en engendre en réaction des processus contre-productifs : Exp. Refus de la population de l'idée du passage en H24, soudoiement des vanneurs, interdiction d'accès à des quartiers... etc

Ce constat est encore plus manifeste dans le cas de Annaba, où une partie de la mesure alternative - i.e la gestion de l'approvisionnement par camion-citerne – est intégrée à l'offre du gestionnaire, sans pour autant qu'un dialogue avec les autres intervenants soit déployé. Cette conclusion impose un élargissement du périmètre de toute analyse de l'intermittence en termes d'acteurs d'approvisionnement mais également sur les niveaux de considération de l'adéquation entre les objectifs contractuels et les résultats obtenus.

L'objectif d'atteinte du H24 peut être décalé par rapport au besoin selon la configuration de

la réalité des moyens financiers et temporels. Les objectifs pour l'amélioration du service doivent de ce fait être redéfinis, selon une analyse et une évaluation de l'existant, et de l'identification du tissu de gestion de l'approvisionnement sur le plan politique, territorial, et sociétal, avant de formuler le plan d'optimisation technique de l'approvisionnement par le gestionnaire.

La reformulation de l'atteinte du H24 peut être faite sous la forme du maintien sur un long terme, sur l'établissement d'un chemin menant à un H24 sécurisé et résilient, avec la définition et la priorisation d'objectifs d'amélioration intermédiaires contextualisés.

*“All models are wrong but
some are useful”*¹¹³

Box, 1979

Partie 3

Améliorer l’intermittence : Outils opérationnels pour l’amélioration du service

113. « Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles » Box, 1979

L'analyse des systèmes de gestion en intermittence permet de dégager l'existence d'un équilibre établi dans lequel s'inscrivent les procédés d'adaptation et la dynamique d'interaction de l'utilisateur avec les autres acteurs impliqués dans le renforcement, la transformation ou la diversification du service de l'eau.

L'opérateur est alors amené à intervenir au sein de ces dynamiques. Il prend un réseau en main dans le but de répondre à ses objectifs contractuels, qui se traduisent souvent par une « amélioration » de l'offre de distribution. Cette amélioration n'est pas forcément formulée pour une adaptation au besoin de l'utilisateur final. Il convient donc d'agir sur deux aspects.

D'un côté, l'intervention doit être échelonnée de manière qu'elle puisse être pratiquement perçue comme une amélioration du service par les usagers. Et de l'autre côté, toute action de l'opérateur est conditionnée par une insertion ou au moins une prise en compte des dynamiques préexistantes lors de la formulation de sa stratégie d'amélioration du service. En particulier, l'utilisateur doit être acteur dans la priorisation des dimensions à améliorer et des mesures d'insertion des solutions alternatives doivent être pensées.

Dans cette dernière partie, nous proposons des formulations de solutions pour l'amélioration de la qualité de service par l'opérateur, selon les dimensions que nous avons pu extraire du droit à l'eau dans la première partie (i.e. disponibilité, quantité, qualité, accessibilité physique, accessibilité économique et équité de distribution). Le schéma proposé se base sur l'amélioration de l'établissement et de la gestion des plannings de distribution de l'eau.

Ce choix a été motivé par l'impact multidimensionnel que cette stratégie permet d'avoir. Améliorer les plannings de distribution a pour but d'agir en premier lieu sur les quantités d'eau reçues par les usagers, à travers une meilleure distribution des volumes disponibles, ce qui permet par ailleurs de contribuer au dépassement de la tarification forfaitaire et de la réduction de la part d'acquisition de l'eau informelle. Améliorer les plannings permet également de maîtriser les périodes d'approvisionnement afin de garantir une desserte plus fréquente et une meilleure qualité de l'eau, au vu du contrôle des temps de séjour et durées de stagnation. Enfin, l'amélioration de la fiabilité du planning établi assure une meilleure prédictibilité de l'approvisionnement, et facilite son autonomie d'adaptation à l'offre du réseau. L'objectif est donc de

formuler un modèle d'optimisation du planning de distribution, qui prend en considération les priorisations des dimensions par les usagers.

La stratégie proposée s'assimile à un schéma de contrôle optimal, qui nécessite l'utilisation d'un modèle hydraulique adapté en tant que socle de toute amélioration, exploré dans le chapitre 8, avant d'y appliquer un modèle d'optimisation, que nous abordons dans le chapitre 9.

Le modèle hydraulique pour les systèmes d'approvisionnement en intermittence est caractérisé par une disponibilité lacunaire des données. Une topologie du réseau non connue ou des modèles existants erronés rendent l'analyse du réseau, sa simulation et son optimisation difficiles. Nous proposons donc une formulation dégradée de la modélisation, afin de simplifier les étapes de collecte et de complétion des données, et permettre d'établir une stratégie d'optimisation de la distribution, sur la base des données qu'on peut facilement récupérer. Ensuite, il est nécessaire de prendre en considération la particularité de l'écoulement physique dans le réseau.

La modélisation hydraulique classique des réseaux d'eau part d'une attribution de demandes aux nœuds, suivie par une résolution des équations de conservation de masse et d'énergie sur les conduites, les accessoires et les nœuds, pour calculer les débits d'écoulement et les pressions au niveau des points de sorties. On suppose usuellement que l'écoulement dans le réseau est régi par la demande à laquelle il répond.

Cette considération est erronée parce que la réponse à la demande en eau dépend de la pression qui existe au niveau du point de sortie, et non l'inverse. Si la pression est insuffisante, la demande ne peut pas être satisfaite, cette particularité est encore plus vraie dans des réseaux concernés par des coupures d'approvisionnement, imposées par l'alimentation en intermittence. La modélisation doit être celle d'une demande dépendante de la pression.

Pour ce qui est de la consommation, au vu des pratiques d'adaptation des usagers lors d'une alimentation en intermittence bien établie, on peut supposer que les profils de demandes sont calqués sur la disponibilité de la ressource (avec des systèmes de stockage correspondants), lorsque l'eau fournie est inférieure au besoin.

Lorsque l'eau fournie est supérieure au besoin, deux scénarios sont possibles :

1. L'eau fournie est supérieure au besoin dans tous les points de consommation du réseau, auquel cas les mesures de transition vers l'alimentation continue sont envisageables à travers l'allongement des heures d'approvisionnement, jusqu'à ce que l'équilibre [ressources-pertes]-besoin soit à nouveau déficitaire, et on retombe dans le premier cas de figure.
2. L'eau fournie est supérieure au besoin dans certains points du réseau, mais pas dans d'autres. Le rétablissement de l'équité de distribution permettrait une homogénéisation qui nous remet dans l'une des situations précédentes.

Une fois que le modèle hydraulique est stabilisé, l'étape suivante est celle de formuler l'optimisation des plannings. A cet effet, nous avons décomposé le besoin d'amélioration en plusieurs étapes, et proposé pour chacune d'elles, des solutions pratiques.

L'objectif est d'améliorer la desserte en eau, selon la définition de la qualité de service d'approvisionnement par l'utilisateur. Dans un objectif de parcimonie et pour être en adéquation avec la disponibilité des données, nous considérons l'échelle des zones de desserte délimitées par les sources d'alimentation, que nous définissons selon la réponse à la demande aux nœuds par chacune des sources considérée.

Au niveau des zones macroscopiques d'alimentation, une première étape de répartition de la ressource est basée sur l'optimisation des transferts hydriques entre les zones qui sont assimilées à des bassins versants. L'objectif est celui de définir un volume d'eau disponible par zone macroscopique de desserte, en fonction de la capacité de stockage et de la demande effective en eau (demande de la population – estimation du volume des pertes).

Une fois que cette répartition volumique est établie, l'étape suivante est d'établir une sectorisation homogène de la zone, en agissant sur les ouvertures/fermetures des vannes de sectionnement à l'intérieur de la zone de desserte considéré, avant de définir les fréquences d'approvisionnement correspondantes.

Enfin, la dernière étape est de vérifier la conformité des plannings de distribution opérationnels à ce qui a été planifié. Deux méthodes, une première basée sur une instrumentation du

réseau, et une seconde plus dégradée, sont proposées.

Chapitre 8

Modélisation de l'intermittence : Ligne de base des solutions d'amélioration

Afin de donner à l'opérateur les moyens techniques nécessaires pour améliorer le service d'approvisionnement en eau, une compréhension de la nature du régime est nécessaire. Dans le cas de la distribution d'eau, la modélisation de l'écoulement constitue un moyen de représentation permettant de simuler le comportement des réseaux, et de valider ou infirmer des procédés d'optimisation. Or les réseaux de distribution d'eau soumis à une alimentation intermittente sont complexes, mal décrits et souvent mal cartographiés. La question est donc d'établir dans quelle mesure on peut adapter la modélisation usuelle des réseaux d'eau à un approvisionnement en intermittence. L'usage premier du modèle est la description du système, de ses dysfonctionnements et de ses impacts. La difficulté de cette opération est principalement liée, comme nous l'avons constaté suite aux entretiens avec les opérateurs, aux données lacunaires et peu fiables que le réseau présente, et au manque d'adéquation entre le besoin opérationnel et les résultats offerts usuellement par les modèles et outils « classiques » de distribution d'eau. L'objectif de ce chapitre est de choisir un modèle de simulation hydraulique avec lequel nous alimenterons la stratégie d'amélioration de l'approvisionnement dans le cadre de l'intermittence.

8.1 Modélisation hydraulique des réseaux

8.1.1 Approche classique

8.1.1.1 Processus de modélisation

Un modèle est une représentation mathématique d'un système réel, pour reproduire la dynamique du système existant. La modélisation est généralement un processus itératif qui se nourrit des données d'évolution du système dont il essaie de simuler le comportement. Le schéma ci-dessous (Figure 8.1), inspiré de l'algorithme de modélisation proposé par Walski et al [Walski et al., 2003], permet d'identifier, après la définition de son objectif d'utilisation, les étapes principales d'une modélisation d'un réseau d'eau.

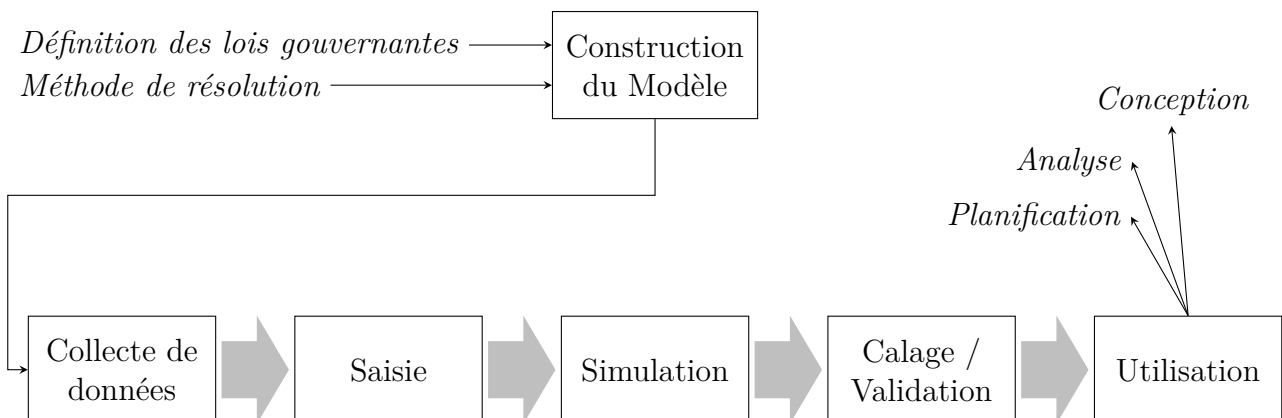


FIGURE 8.1 – Étapes de modélisation
Source : élaboration propre

La description mathématique de la modélisation d'un réseau d'eau est détaillée en Annexe 8, nous déclinons dans la suite les différentes étapes identifiées :

— Construction du modèle : Pour un réseau d'eau, les charges (ou pressions)¹¹⁴ aux noeuds

114. La charge hydraulique représente une hauteur de colonne d'eau et est définie par :

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z$$

Où $\frac{p}{\rho g}$ est la hauteur de pression, $\frac{V^2}{2g}$ la hauteur cinétique et z la cote sol.

Selon la configuration du réseau, la hauteur cinétique peut être négligeable devant les autres termes, ainsi la charge hydraulique, exprimée en mètre (m) s'assimile à la hauteur piézométrique principalement définie par la cote et la pression.

et les débits dans les conduites du réseau sont les variables d'état utilisées pour décrire son comportement [Vairavamoorthy, 1994], et sont les sorties que le modèle hydraulique permet de calculer, en se basant sur les équations qui décrivent les composants du réseau (relation entre débit et charge au passage d'un composant) et celles décrivant ses propriétés de connectivité : lois de conservation de masse (équation de continuité) et de conservation d'énergie (équation de perte de charge) ¹¹⁵. ¹¹⁶.

- Collecte et saisie des données : Les données d'entrée sont les composants du réseau, leurs caractéristiques structurelles et opérationnelles (consignes et contraintes), et les données de demande. Les principales composants d'un réseau de distribution d'eau potable comprennent, en plus des sources et des réservoirs de stockage et d'alimentation, des conduites auxquelles il faut ajouter des accessoires hydrauliques (vannes, pompes, systèmes de purge et régulateurs de pression) pour assurer la bonne circulation de l'eau. Ces composantes

115. Les lois qui définissent la connectivité du réseau sont [Mays, 1999] :

- Conservation de masse : Le taux de stockage dans un système est égal à la différence entre l'entrée et la sortie du système. Dans un système sans accumulation, et en l'absence de production/consommation de matière, le débit massique d'un fluide est conservé. Autrement, le terme source ou de consommation est ajouté à l'équation pour équilibrer le bilan.
La continuité de flux à chacun des nœuds i du réseau est exprimée comme suit :

$$\sum_{j \in J_i} Q_{ij} + C_i = 0$$

Où :

- Q_{ij} : débit dans l'élément hydraulique reliant les nœuds i et j
- C_i : consommation au nœud i
- J_i : tous les nœuds connectés au nœud i

- Conservation d'énergie :

Cette relation est dérivée du premier principe de la thermodynamique qui stipule que pour n'importe quel système, au cours d'une transformation, l'énergie n'est ni créée ni détruite, elle est convertie en travail ou en chaleur. L'énergie considérée est la somme de l'énergie potentielle, l'énergie cinétique, et l'énergie interne du système. Dans le cas des systèmes hydrauliques, cette dernière composante (interne) est négligée.

La différence d'énergie entre deux points est donc égale à la somme des pertes de frottement et des pertes singulières, et de l'énergie ajoutée au flux dans les composants entre ces points.

Plus particulièrement, au niveau d'une boucle fermée du réseau, la somme algébrique de toutes les pertes de charge est nulle :

$$\sum_{\forall i, j \in M_m} \delta_{ij}^m \Delta h_{ij} = 0$$

Où la somme englobe tous les éléments de la maille M_m ; Δh_{ij} est la perte de charge au niveau de l'élément entre les nœuds i et j et δ_{ij}^m est égale à 1 si l'écoulement est dans le sens de la maille et -1 sinon.

116. L'équation de transport des contaminants est également à considérer lorsque la qualité de l'eau du réseau est analysée. Nous ne considérons pas la modélisation de la qualité de l'eau dans le reste du document.

sont généralement représentées par des arcs (conduites et accessoires hydrauliques), et des noeuds (sources, éléments de stockage ou points de consommation).

— Simulation : La représentation du comportement du réseau d'eau potable nécessite une adéquation avec les objectifs à atteindre, notamment sur le plan temporel : A cet égard, il y a deux types de simulation : statique et dynamique [Walski et al., 2003].

i. *Simulation statique* :

Cette simulation permet de définir l'état du système en supposant que les demandes hydrauliques et les conditions aux limites ne changent pas avec le temps. C'est une résolution des équations caractéristiques du réseau pour atteindre une solution stable, pour des conditions aux limites fixées.

ii. *Simulation dynamique* :

Détermine le comportement quasi-dynamique d'un système sur une période donnée, en calculant l'état du système en tant qu'une série de simulations statiques dans lesquelles les demandes hydrauliques et les conditions aux limites changent en fonction du temps.

— Calage / Validation : Le calage consiste à déterminer les caractéristiques physiques et opérationnelles d'un système existant et à identifier les paramètres qui, une fois introduits dans le modèle numérique, donneront des résultats réalistes. C'est une étape itérative dans laquelle les paramètres du modèle sont ajustés progressivement jusqu'à ce que ses résultats soient en phase avec les observations réelles (mesures de pression ou de débit sur le réseau), ce qui permet de le valider. Le choix des paramètres à ajuster et des points de mesure à prendre est généralement une étape difficile et chronophage du processus de modélisation.

— Utilisation : La modélisation des réseaux d'eau est principalement utilisée pour :

— La conception du réseau : dimensionnement des canalisations ;

— L'analyse de l'approvisionnement : analyse des pressions du réseau, de la capacité de stockage, des débits d'incendie, de la qualité et de l'âge de l'eau, de la vulnérabilité,

ou l'analyse transitoire et l'identification des fuites ;

- La planification : du pompage ou des interventions d'urgence.

Les simulations issues des modèles hydrauliques du réseau sont également utilisées lors des processus d'optimisation opérationnelle de ces réseaux, dans le cadre d'un système de contrôle optimal. C'est cet usage qui nous intéresse.

8.1.1.2 Limites de la modélisation classique des réseaux d'eau

a) *La complexité de la modélisation des réseaux d'eau*

La modélisation des réseaux d'eau potable est complexe sur plusieurs aspects :

i. *La disponibilité des données*

La modélisation de l'approvisionnement en eau par réseau requiert des données d'entrée structurelles et opérationnelles. La première complexité est liée au fait qu'il s'agit d'infrastructures principalement enterrées. La représentation des composants non visibles du réseau est alors généralement lacunaire¹¹⁶ ou nécessite une instrumentation extensive. Dans certains réseaux, même les affleurants ne sont pas tous référencés correctement, et même lorsqu'un géoréférencement et une retranscription sur SIG sont disponibles, leur traduction dans un modèle hydraulique n'est pas toujours faite avec précision. Les données opérationnelles dépendent quand à elles de la centralisation de l'information de paramétrage des accessoires et composants hydrauliques du réseau, et les profils de demande des usagers sont généralement simplifiés par rapport à l'état réel des consommations.

ii. *La durée de simulation*

Le choix de la durée de simulation est tributaire de l'usage réservé au modèle du réseau. Les longues simulations dynamiques nécessitent plus de données d'entrée et

116. En France, ce n'est qu'en 2011 que le géoréférencement du patrimoine enterré est devenu obligatoire, suite à la parution du décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011, pour une application en 2019 pour les zones urbaines, et une extension sur le territoire national prévue pour 2026. [Décret disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr>]

un plus long temps de calcul. En particulier, lorsque le modèle hydraulique est couplé à une optimisation, la convergence du modèle d'optimisation prend plus de temps et des choix de simplification s'imposent parfois pour obtenir un résultat opérationnel.

iii. *La résolution hydraulique*

La simulation et l'analyse des systèmes de distribution d'eau comprend la détermination des débits et pressions ou charges hydrauliques dans un réseau. Les équations qui gouvernent les débits et les charges sont non linéaires, et souvent, un algorithme de résolution itératif de régression est utilisé, dans lequel un système d'équations linéarisées est résolu à chaque itération.

Ces méthodes de résolution nécessitent des temps de calcul longs qui s'allongent avec la complexité et l'échelle des réseaux et scénarios et leur stabilité de convergence. Elles sont également limitées par des conditions de débit et pression (ex : débits nuls) et nécessitent une compréhension descriptive des éléments du réseau. La compréhension des systèmes d'infrastructure complexes nécessite des méthodologies holistiques et réductionnistes. [Elhay and Simpson, 2011].

iv. *Le besoin d'expertise*

Le calage, l'usage et l'interprétation des résultats d'un modèle hydraulique nécessitent une expertise couplée à une connaissance du réseau qui n'est pas automatique chez tous les opérateurs et gestionnaires de réseaux d'eau potable. Un modèle non calé n'est généralement pas utile ou utilisable, et sans cette expertise, un modèle n'est pas autoporteur¹¹⁷.

b) *La représentativité du modèle*

La résolution hydraulique traditionnelle des modèles de réseaux d'eau est généralement

117. A Annaba par exemple, nous avons pu constater lors de la mission terrain de 2019 que l'unité en charge de la distribution regroupait des exploitants qui avaient une ample connaissance du réseau, et qui disposaient des compétences techniques nécessaires pour améliorer la distribution, mais ils n'étaient pas des modélisateurs ou simulateurs. Cette connaissance du réseau n'était pas systématiquement formalisée dans des outils numériques dédiés. Des bases de SIG, de modèle hydraulique et de schémas synoptiques avaient été entamées lors de la prise en main du réseau par Gelssenwasser 10 ans plus tôt. Toutefois, ces représentations n'étaient pas calées, à jour et n'étaient pas exploitables pour mener à bien les analyses hydrauliques globales indispensables pour suivre et maîtriser les flux de distribution.

qualifiée de « Demand-driven ». Des valeurs fixes sont assignées aux demandes nodales (en tant que conditions aux limites) et le problème consiste à trouver des débits de conduites et des charges aux nœuds qui sont hydrauliquement consistantes avec ces demandes [Batish, 2003]. La simulation dans des modèles classiques considère l'équation de continuité avec une demande au nœud comme donnée d'entrée de valeur indépendante du comportement du réseau. Elle tient compte uniquement des facteurs de pointes de débit basés sur les variations diurnes de la demande. Cette hypothèse ne tient pas compte de la relation entre la pression et le débit à un orifice [Wagner et al., 1988](Figure 8.2), et est une approximation valable uniquement dans les réseaux d'eau entièrement pressurisés.

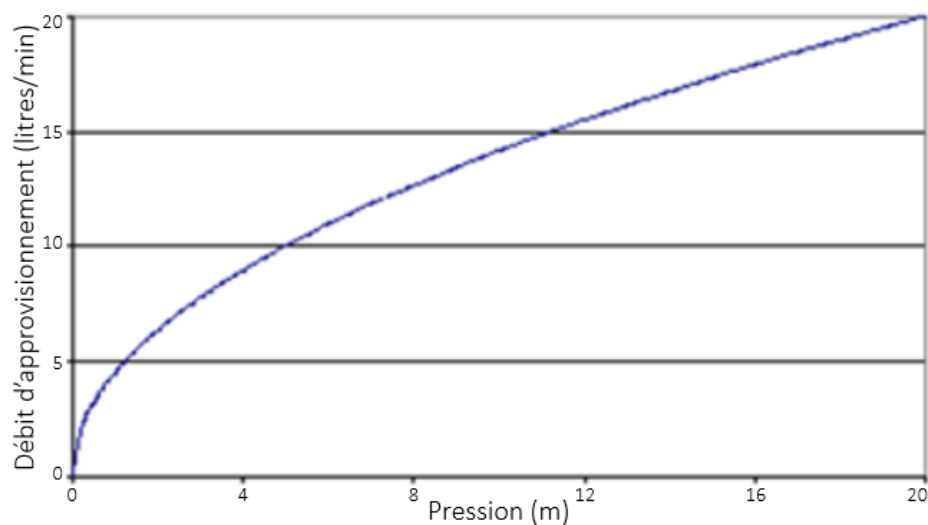


FIGURE 8.2 – Relation entre le débit d'eau et la pression au niveau d'un orifice [Wagner et al., 1988]

Les systèmes réels ne se comportent pas de cette manière. Au contraire, un réseau de distribution d'eau est plus justement considéré comme un système d'eau avec un set d'orifices de tailles variables qui sont connectés à différents éléments ouverts sur l'atmosphère. Ex : évier, réservoirs de stockage, citernes, cuvettes, etc. pour des orifices spécifiques, le débit émergent d'eux est dépendant de la pression maintenue dans le système [Wagner et al., 1988].

c) *Synthèse : Sur les limites de la modélisation*

Les deux paragraphes précédents permettent de relever les limites dans le cycle de vie du modèle « classique » d'approvisionnement en eau potable. Ces limites sont liées à la

complexité de la modélisation et à la représentativité de la formulation considérée :

D'un côté, l'approche « Demand-driven » est une simplification plutôt qu'une représentation exacte du comportement hydraulique du réseau, même à l'étape de formulation mathématique de la résolution du système hydraulique. La dépendance de la demande à la pression est plus juste, mais les lois qui gouvernent la relation débit/pression sont également des approximations, qui dépendent notamment de la nature de la consommation et des pertes en eau, même lorsque le réseau est entièrement pressurisé [Chang et al., 2021].

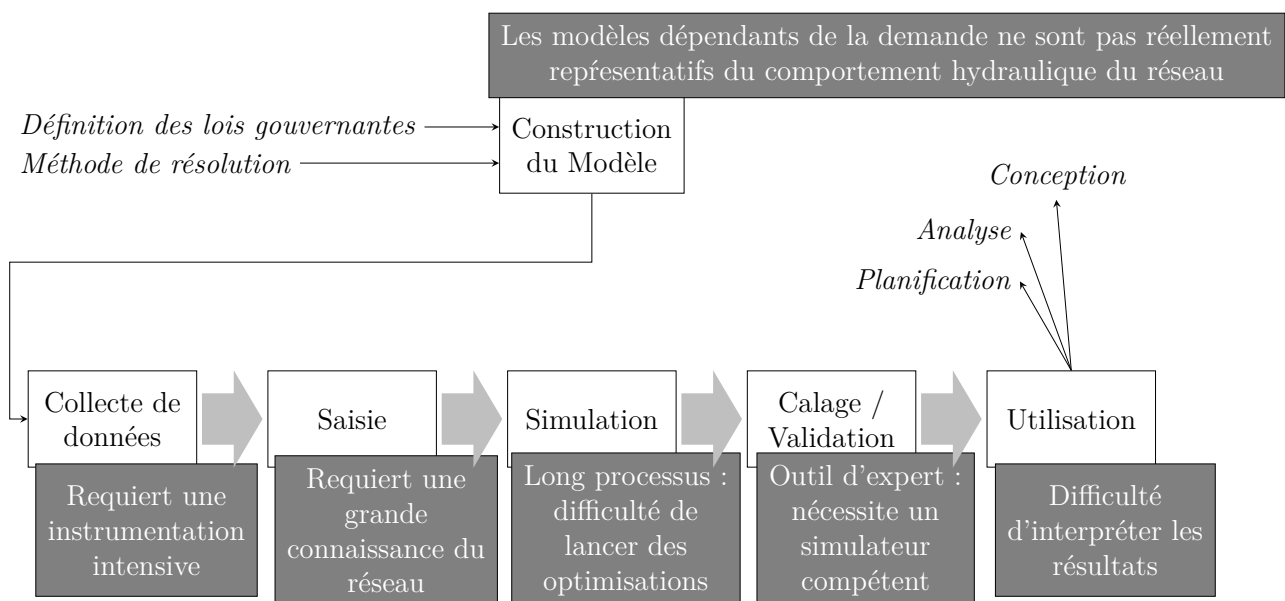


FIGURE 8.3 – *Limites et difficultés liées aux étapes de modélisation*

Source : élaboration propre

Pour ce qui est de la complexité de la modélisation, pour construire un modèle, on a besoin d'une description très complète du réseau et de ses éléments, puisque les équations hydrauliques sont appliquées à tous les éléments individuels du réseau. Si ces données ne sont pas disponibles, une instrumentation extensive est nécessaire. Même quand ces données existent, leur saisie peut s'avérer être une tâche ardue pour le simulateur. Ensuite, la nature non linéaire des équations de base associée au nombre important d'inconnues à considérer rend le processus de résolution des équations, ainsi que les optimisations à trouver, en cas de conception, très gourmand en ressources. Puis vient l'étape de calage du modèle et sa validation, qui en plus de nécessiter une instrumentation importante,

ne peut s’accomplir sans la présence d’un modélisateur compétent. Enfin, une fois que le modèle est réalisé et validé, certains opérateurs témoignent de difficultés à l’utiliser et à interpréter les résultats qu’il affiche.

Nous reprenons (Figure 8.3) le schéma proposé au début du chapitre en y ajoutant les limites relevées au niveau de chacune des étapes de modélisation considérées.

Il est à noter que ces limites concernent les modèles de simulation des réseaux d’eau potable en régime d’alimentation continu, d’autres limites pourront être relevées par la suite dans le cas de l’alimentation en intermittence.

8.1.2 Adaptation et alternatives de l’approche classique

Les limites identifiées plus haut ouvrent la porte à des nécessités et possibilités d’adaptation des modèles de réseaux d’eau potable :

- a. Besoin d’instrumentation extensive : Modèle nécessitant un minimum d’instrumentation ;
- b. Grande connaissance du réseau : Connaissance des éléments critiques incontournables du réseau ;
- c. Long processus et difficulté de lancer des optimisations : Trouver des solutions qui consomment moins de temps ;
- d. Nécessité d’intervention d’un simulateur compétent : Modèles pour non experts ;
- e. Difficulté d’interpréter les résultats : Choix « parcimonieux » des résultats qui représentent de l’intérêt opérationnel pour l’usage dédié au modèle (dans notre cas pour la stratégie d’amélioration du service).

Dans ce qui suit, nous exposerons des procédés existants d’adaptation des modèles hydrauliques des réseaux d’eau pour contourner ou résoudre certaines des limitations précitées, à savoir, la squelettisation des réseaux et les approches alternatives.

8.1.2.1 Simplification classique d'un modèle : processus de squelettisation

La squelettisation est le processus de sélection des parties du réseau hydraulique qui ont un impact significatif sur le comportement du système afin de les inclure dans le modèle. [Walski et al., 2003].

Essayer d'inclure chaque branchement de service individuel, chaque vanne, et chaque autre composant d'un large système dans un modèle peut être une tâche imposante sans systématiquement avoir un impact significatif sur les résultats du modèle. La capture de chaque élément du système résulte également dans un ensemble important de données, suffisamment pour faire de la gestion, l'utilisation et les tests sur le modèle des tâches écrasantes et facilement sujettes aux erreurs.

La squelettisation est une approche plus pratique à la modélisation qui permet au modélisateur de produire des résultats fiables et avérés sans faire des investissements non nécessaires en temps et en argent.

Les pratiques actuelles de simplification consistent principalement en [Harrouz et al., 2017]

- L'élimination des conduites de petits diamètres (de moins de 100 mm, ou même 125 mm) ;
- L'élimination des conduites courtes ;
- L'élimination des conduites antennes ;
- La fusion des arcs parallèles et l'agglomération des demandes aux nœuds après suppression des antennes qui les alimentent.

8.1.2.2 Approches alternatives

a) *Modèles basés sur la théorie des graphes*

Mathématiquement, n'importe quel réseau spatial peut être modélisé en tant qu'un graphe $G = G(N, E)$ où N est le groupe de nœuds et E le groupe de liens connectant les nœuds. Cette représentation décrit la topologie du réseau. Afin de représenter sa connectivité

également, les caractéristiques hydrauliques du réseau doivent être prises en compte. La modélisation de réseau doit se faire sous forme de graphe avec des liens établis selon des relations hydrauliques. Le clustering est un procédé de simplification du réseau en le subdivisant en plusieurs clusters ou cohortes. Il s'agit du partitionnement d'un set d'objets en des sous-ensemble aux propriétés similaires [Perelman and Ostfeld, 2011]. Les objets sont « similaires » dans un cluster donné, et « différents » des objets des différents clusters. Les clusters sont ensuite divisés en clusters forts et faibles pour simplifier le réseau.

Les chemins sont pondérés par les attributs hydrauliques des routes de distribution pour donner un sens physique aux mesures [Herrera et al., 2016].

b) ***Modèles basés sur l'intelligence artificielle : exp. Réseaux de neurones***

Les modèles de réseaux de neurones sont des constructions mathématiques qui imitent les capacités de reconnaissance et de généralisation des formes du cerveau humain et qui, lorsqu'ils sont correctement entraînés, sont capables d'apprendre des modèles sous-jacents à un ensemble donné de données et peuvent généraliser et fournir des renseignements exacts sur des données que le modèle n'avait pas vues auparavant [Lingireddy and Brion, 2005].

Malgré l'utilisation généralisée de la technologie du réseau neuronal artificiel dans plusieurs domaines du génie civil, la plupart des professionnels de l'approvisionnement en eau semblent très sceptiques à l'égard de cette méthodologie. Simultanément, toutefois, quelques chercheurs qui employaient cette technologie pour des applications d'approvisionnement en eau ont signalé des résultats qui étaient plus performants que les outils de modélisation statistique et mathématique.

Une grande partie du scepticisme semble provenir de l'idée que les réseaux de neurones sont des modèles de boîte noire qui ne donnent pas une idée suffisante de la manière dont ils capturent les relations fonctionnelles complexes. La performance de ces modèles (et des modèles basés sur l'intelligence artificielle en général), est dépendante de la quantité de données utilisées pour l'« entraînement » du modèle.

8.1.2.3 Limites de la simplification

La principale limite liée aux deux types de simplification plus haut réside dans la quantité conséquente des données d'entrée nécessaires au lancement du processus de simplification. En effet, la squelettisation commence par manipuler un réseau complet auquel elle enlève des éléments au fur et à mesure, en adaptant leurs caractéristiques pour prendre en compte cette opération de réduction. D'un autre côté, toutes les approches alternatives citées plus haut peuvent se passer de la connaissance du comportement hydraulique du réseau en tant que tel, mais requièrent un grand nombre de données afin de réaliser les analyses statistiques qui définissent les chemins à adopter.

La conception d'un modèle simplifié du réseau à partir d'un nombre minimal de données ne peut donc s'apparenter à aucune de ces méthodologies sans adaptation, or il s'agit, comme nous allons le voir dans le paragraphe suivant, d'une des principales caractéristiques des réseaux en condition d'intermittence.

8.2 Modélisation des réseaux d'eau en intermittence

8.2.1 La nécessité de modèles spécifiques

La modélisation des systèmes intermittents d'approvisionnement en eau est une tâche difficile parce que ces systèmes ne sont pas des réseaux de canalisations entièrement pressurisés, mais des réseaux à très basse pression avec des horaires d'alimentation en eau restreints et des milliers de raccordements clandestins sur le réseau (branchements illégaux), et des raccordements aux surpresseurs et réservoirs domestiques [Ingeduld et al., 2008].

La vidange et le remplissage alterné des canalisations d'eau rendent difficile l'application des modèles hydrauliques de distribution d'eau standard en raison des faibles pressions et des conduites sans eau.

Les propriétés spécifiques des modèles de réseaux d'eau potable sont déterminées par les

relations non linéaires de charge de leurs composants (dynamiques des canalisations, pompes, vannes et réservoirs...).

Dans ce qui suit, nous considérons les éléments de définition du modèle de réseau d'eau potable pour les réseaux classiques, et nous relevons les particularités des réseaux en intermittence.

8.2.1.1 Propriétés structurelles

La partie réseau, avant les points de sortie, garde la même topologie pour un système d'approvisionnement en intermittence que pour un système en alimentation continue, d'ailleurs la plupart des réseaux d'eau en approvisionnement intermittent ont été conçus pour une alimentation continue [Batish, 2003]¹¹⁸.

Au niveau des points de sortie du réseau on trouve généralement des réservoirs particuliers (de toit ou souterrains), et des surpresseurs. La densité de branchements est également généralement plus importante, au vu de la présence de branchements collectifs et de branchements illégaux.

8.2.1.2 Propriétés de connectivité

L'alimentation en intermittence est un régime qui ne répond généralement pas à toute la demande des usagers. Ces derniers consomment autant d'eau que la pression au niveau de leurs points de sortie permet d'extraire durant la durée d'alimentation à laquelle ils ont droit. Dans ce type de réseau, l'approximation en termes de fixation de la demande aux nœuds faite dans l'approche classique « Demand-driven » de modélisation n'est plus valable. La demande en eau n'est pas fondée sur les notions de variations diurnes de la demande, mais sur la quantité maximale d'eau qui peut être recueillie pendant les heures d'approvisionnement. Cela dépend

118. La principale différence dans la conception de certains réseaux en intermittence est un surdimensionnement des canalisations, afin qu'elles puissent transmettre un volume d'eau plus important sur une durée plus limitée, c'est le cas de réseau de Djeddah par exemple (Informations issues de l'entretien réalisé avec Didier Sinapah (mars 2017)).

uniquement des charges disponibles dans le réseau. La demande en eau est donc inconditionnellement dépendante de la pression et de la capacité de stockage à la sortie du réseau. Ceci implique la modification du terme en demande de l'équation de continuité du débit. Il faut également noter que la dépendance en pression concerne la modélisation des fuites aussi ¹¹⁹.

Ensuite, l'alimentation en intermittence implique que les tuyaux ne sont pas tout le temps remplis d'eau. Il faut attendre l'heure d'approvisionnement programmée par l'opérateur pour que ces tuyaux complètement ou partiellement vides par ailleurs soient remplis à nouveau. Ceci implique un processus de chargement (ou de remplissage) et de déchargement (ou de vidage) du réseau, qu'il faut prendre en compte dans la modélisation.

Cette intégration nécessite en théorie l'intégration de l'équation du moment d'impulsion et de l'équation de vitesse de la colonne d'eau pour générer les positions du front d'eau dans le réseau à tout moment [Macke and Batterman, 2001]. Selon les témoignages des opérateurs interviewés en première partie du document, il s'agit cependant d'une courte période (de 20 à 30 minutes environ), après la reprise de l'alimentation lorsque les tuyaux se remplissent d'un état presque vide à un état pressurisé complètement chargé.

8.2.2 Spécificités à prendre en compte

8.2.2.1 Dépendances à la pression

Comme cité auparavant, le modèle d'alimentation en intermittence se base sur des dépendances à la pression à deux niveaux :

a) *Demande des usagers*

La demande des usagers est dépendante de la pression, et cette dépendance est accentuée

119. Les fuites sont toujours dépendantes de la pression du réseau. La plupart des logiciels hydrauliques offrent la possibilité de simuler les fuites dans les systèmes de distribution d'eau à l'aide d'une fonction émettrice, qui modélise le débit de fuite comme une fonction puissance de la pression aux noeuds. Les pertes d'eau constituent souvent une composante importante de l'eau distribuée et il est donc important de modéliser son comportement aussi précisément que possible. Des études récentes ont montré que l'équation FAVAD (Fixed and Varied Area Discharges) fournit une description plus réaliste du comportement des fuites dans les matériaux élastiques que l'équation de puissance classique.

par la présence des réservoirs de stockage.

L'offre intermittente produit un profil de demande fondamentalement différent de celui de l'offre continue. Il n'y a pas de modèle de demande spécifique : les réservoirs de stockage des clients se remplissent chaque fois que les systèmes fournissent de l'eau, jusqu'à ce qu'ils soient pleins et que la vanne à flotteur se ferme (ou que les robinets soient fermés à la main, beaucoup plus rarement, dans des configuration où l'intermittence est ponctuelle). Ingeduld et al (2006) ont exprimé la réponse à la demande des réseaux en intermittence selon les règles suivantes (Table 8.1) :

TABLE 8.1 – *Exemple de formulation d'une demande dépendante de la pression [Ingeduld et al., 2008] :*

| Condition sur la pression | Demande (débit) |
|-------------------------------|--|
| $p_i < p_{min,i}$ | $q_i = 0$ |
| $p_i > p_{max,i}$ | $q_i = q_{max,i}$ |
| $p_{min,i} < p_i < p_{max,i}$ | $q_i = f(p)(*) \Rightarrow$ La demande modifiée au niveau d'un nœud est calculée à partir de l'équation suivante : <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> $q_i = q_{max} \sqrt{\frac{p_i - p_{min}}{p_{max} - p_{min}}} \quad (3)$ </div> |

Où :

- p_i : pression à un nœud i
- p_{min} : pression minimale requise au niveau d'un nœud i
- p_{max} : pression maximale à un nœud i (définie comme pression au-dessus de la hauteur du domaine)
- q_i : demande à un nœud i
- q_{max} : demande spécifiée (demandée) par l'utilisateur à un nœud i

b) **Les fuites**

Les fuites sont dépendantes de la pression, surtout si l'eau est distribuée en intermittence. En effet, dans les périodes où le système est vide, il n'y a aucune fuite. Dans les modèles hydrauliques traditionnels, les fuites sont distribuées de la même manière que la demande, en général comme un facteur qui augmente toutes les demandes aux nœuds. Cependant,

cette hypothèse pourrait ne pas être vraie pour tous les réseaux d'eau. Une mise en œuvre plus souple des fuites est donc souhaitable.

L'équation suivante décrit la décharge au niveau d'un orifice [Conejos et al., 2017] :

$$q_i = K_i \cdot (p_i - p_0)^\beta \quad (4)$$

Où :

- p_i : pression en amont de l'orifice
- p_0 : pression en aval de l'orifice
- β : a une valeur de 0,5 selon la théorie et l'expérience de laboratoire
- K_i : coefficient d'orifice

8.2.2.2 Réservoirs domestiques

Les usagers utilisent les réservoirs domestiques pour recueillir le plus d'eau possible pendant les heures d'approvisionnement limitées. Le débit d'entrée dans le réservoir est basé sur les conditions de pression du réseau et il est égal à la quantité maximale d'eau qui peut être recueillie pendant les heures d'alimentation. [Ingeduld et al., 2008]

a) *Tailles des réservoirs*

La taille des réservoirs dépend de la disponibilité du réseau jusqu'au niveau de raccordement individuel :

- Si les informations sur les différents raccordements domestiques sont disponibles, chaque réservoir du modèle doit représenter un réservoir de stockage domestique réel, avec sa véritable taille.
- Dans le cas où nous n'avons pas le niveau de détail permettant d'aller jusqu'aux connexions individuelles, un réservoir équivalent peut être généré au niveau de la jonction disponible. Une conduite équivalente reliant le réservoir à la jonction doit

être créée. La capacité volumique de ce réservoir est théoriquement la somme des capacités des réservoirs des clients dans la zone d'influence du réservoir. Cette information est cependant généralement non disponible et est difficilement récupérable. Une estimation de la capacité de stockage peut alors se baser sur les résultats d'un sondage auprès de la population, et une généralisation en fonction du nombre de personnes par foyer et des seuils de volumes définis par le commerce.

b) *Taux de remplissage*

Les taux de remplissage des réservoirs dépendent principalement de la perte de charge sur la conduite qui relie le réservoir au réseau. Si on utilise des réservoirs aux diamètres généralisés, il est nécessaire de définir la longueur de la conduite équivalente en fonction de la taille estimée du réservoir.

8.2.3 Processus de mise en charge et autres phénomènes hydrauliques

En plus de la forte dépendance de la demande à la pression et aux réservoirs domestiques, les conditions hydrauliques d'un réseau intermittent reposent sur deux phases transitoires : le remplissage et la vidange du réseau ;

Dans la première phase, les volumes d'eau entrant dans le réseau ne parviennent pas à tous les usagers en même temps, avec des inconvénients évidents pour les usagers éloignés des nœuds d'alimentation. Cette caractéristique de ce régime accentue l'inéquité de répartition de l'eau dans le réseau. D'un autre côté, ces périodes transitoires représentent un écoulement air/liquide qui engendre des dysfonctionnements tels que l'emprisonnement des bulles d'air dans les conduites.

8.2.3.1 Approches de modélisation

De Marchis et Al (2009) ont analysé le processus de remplissage du réseau au moyen de la méthode des caractéristiques (MOC), à partir de l'état du réseau vide jusqu'à la pression en régime permanent. La méthode numérique a reposé sur des hypothèses simplifiées :

- La pression d'air sur la face avant de l'eau est toujours égale à la pression atmosphérique (cette hypothèse est assurée par la présence d'une vanne d'entrée/sortie d'air et de bouches d'aération)
- Le front d'eau coïncide toujours avec les sections transversales des conduites.
- La résistance peut être calculée avec la relation classique valable pour les écoulements en régime permanent.

L'approche MOC transformant les équations aux dérivées partielles de moment en équations différentielles ordinaires couplées aux hypothèses ci-dessus a permis de résoudre le transitoire de remplissage par la moyenne des équations de compatibilité [De Marchis et al., 2010].

Des approches plus sophistiquées [Vairavamoorthy et al., 2001] et un modèle de charge du réseau avant l'écoulement sous pression pourraient donner de meilleurs résultats, elles ont notamment été mises en pratique sous la forme d'un solveur hydraulique.

Ce solveur a pour objectif de prédire l'heure à laquelle les différents utilisateurs recevront l'eau après la reprise de l'approvisionnement et met en évidence le décalage temporel ressenti par les utilisateurs finaux du réseau. Malheureusement, il n'est pas disponible dans le domaine public et il n'a pas été largement utilisé ni mis en œuvre.

8.2.3.2 Périmètre de modélisation de l'intermittence

En pratique, la mise en charge des réseaux ne dure qu'une courte durée en début d'alimentation pour le remplissage du réseau et un modèle hydraulique standard comme EPANET peut très bien être utilisé tant que la dépendance à la pression est intégrée pour la période de

post-remplissage, pour autant que les données nécessaires soient disponibles [Rossman, 2002]. Cette modélisation sera traitée dans le paragraphe suivant.

Pour ce qui est des pics de pression dus à la libération d'air, cet événement produit une onde de pression similaire à celle produite par l'accélération rapide du liquide due à la fermeture des vannes (coup de bélier) [Ormsbee, 2006].

Il n'est pas économique de modéliser ces conditions dans les réseaux d'alimentation intermittents et les efforts devraient plutôt être dirigés vers le déploiement d'un nombre optimal de purges afin de minimiser cet effet.

Pour le réseau, il est recommandé d'effectuer une analyse complète afin de fournir des purges d'air de manière optimale, mais la modélisation du phénomène d'emprisonnement des bulles d'air en soi n'a pas d'intérêt si on considère le temps de calcul qu'elle nécessite.

8.2.4 Revue bibliographique des modélisations de la période post-remplissage

La plupart des modélisation des réseaux en intermittence qu'on retrouve dans la littérature concernent le processus de chargement [Lieb et al., 2016] de Marchis et al (2010), Carbera-Béjar et Tzatchkev, 2009), en utilisant des méthodes statistiques pour estimer le front de l'écoulement ou en adaptant des outils de modélisation des écoulements à surface libre moyennant la fente de Preissmann pour simuler un remplissage quasi-total des conduites. . . etc.

D'autres auteurs comme Vairavamoorthy, Battermann et Macke, Mohapatra et Batish ont tout de même traité les problématiques liées à la modélisation de la période post-remplissage en prenant en compte les particularités de demande qui la caractérisent.

[Vairavamoorthy et al., 2001], en l'occurrence, a élaboré quatre composantes pour modéliser ce type de régime, à savoir :

- a. La construction d'un modèle de la demande : ce modèle utilise la théorie des files d'attente et le routage des réservoirs pour prévoir le profil de la demande des usagers

- b. L'établissement d'un modèle de réseau secondaire
- c. Le modèle de remplissage du réseau
- d. Un programme d'analyse de réseau modifié

Bien que cette approche soit très sophistiquée et peut donner de bons résultats, comme nous l'avons indiqué plus haut, elle nécessite un logiciel spécialisé dont l'accès n'est pas ouvert au public.

D'autres approches sont basées sur le principe du remplacement de la demande par des réservoirs de stockage [Macke and Batterman, 2001], ce qui permet de réaliser un modèle de demande dépendant de la pression ; les logiciels EPANET et des SIG comme ArcView ont été utilisés à cette fin. Le même critère a été utilisé pour la simulation des fuites, en considérant un réservoir de stockage supplémentaire.

Mohapatra et al. (2014) utilisent des réservoirs artificiels aux points de demande pour simuler la surconsommation. Le raccordement du réseau à ces réservoirs se fait par un tuyau équivalent, qui remplace les tuyaux qui relient les maisons au nœud ; ce tuyau comprend un clapet anti-retour qui ne permet pas la réinjection de l'eau dans le réservoir en cas de basse pression. Le diamètre équivalent du tuyau est calculé à l'aide de l'équation proposée par Walski et al. (2003) pour le processus de squelettisation afin d'enlever les conduites parallèles :

$$D_r = \left(\frac{L_r^{0.54}}{C_r} \cdot \sum \frac{C_i D_i^{2.63}}{L_i^{0.54}} \right)^{0.38} \quad (5)$$

Où :

- D_r : diamètre de la conduite équivalente
- L_r : longueur de la conduite équivalente
- C_r : coefficient de rugosité de Hazen-Williams de la conduite équivalente
- D_i : diamètre de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur
- L_i : longueur de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur

- C_i : coefficient de rugosité de Hazen-Williams de la conduite individuelle raccordée à l'utilisateur.

L'un des inconvénients du processus proposé est sa mise en œuvre difficile dans les grands réseaux.

D'un autre côté, [Batish, 2003] a élaboré une approche de conception de nouveaux réseaux en intermittence en proposant la méthodologie suivante :

- Concevoir un réseau par une analyse conventionnelle basée sur des demandes fixes ;
- Analyser ce réseau en plaçant des réservoirs au niveau des nœuds pour simuler la dépendance à la pression ;
- Calculer les pressions obtenues suite à ces changements ;
- Optimiser les diamètres des canalisations et les placements des vannes afin de corriger les valeurs de pression obtenues.

Enfin, En 2019, Taylor et *al.* ont proposé une méthode de modélisation macroscopique de l'intermittence. Cette méthode se place à un niveau de description du fonctionnement agrégé du système et apporte une réponse par un modèle simplifié à la complexité liée à la difficulté de collecte de données. Le modèle a pris en compte l'interaction entre la satisfaction de la demande des usagers (par réseau), la disponibilité de la source d'eau et les pertes. Il s'est traduit par une équation basée sur le volume d'eau fourni au réseau qui considère une fuite unique comme la somme du volume fourni aux usagers et du volume perdu en raison de la fuite [Taylor et al., 2019].

L'étude menée par Taylor et *al.* a permis d'identifier un point optimal entre une réponse à la demande satisfaite ou non satisfaite dans le cadre de l'intermittence. Cette approche étant agrégée à un niveau global, les limites du modèle de Taylor et *al.* sont liées à la représentativité de ces systèmes, notamment l'absence de topologie du réseau et de variation spatiale de la pression. Ces limitations peuvent affecter d'autres paramètres du système qui dépendent de la pression, tels que les caractéristiques uniques des usagers individuels (ou des agglomérations

plus fines), la transition progressive de la demande insatisfaite à la demande satisfaite, et le processus de remplissage du réseau.

Ci-dessous un tableau récapitulatif des modèles proposés au delà de la période de remplissage ou de vidange, avec les outils utilisés et l'objectif de modélisation :

TABLE 8.2 – *Modélisation de l'intermittence dans la littérature*

| Auteurs | Outils | Objectif |
|----------------------|---|---|
| Ingeduld et al | EPANET et SIG pour l'implémentation automatique des réservoir | Réhabilitation du réseau, planification, et conversion en alimentation continue |
| Vairavamoorthy et al | Outil spécialisé | Conception des réseaux en intermittence |
| Batish | EPANET | |
| Battermann et Macke | EPANET et ArcView | Réduction des pertes en eau en intermittence |
| Mohapatra et al | EPANET | Diagnostic du réseau |
| Taylor et al | EPANET (pour la comparaison avec les résultats de modélisation détaillée) | Compréhension du fonctionnement du système |

8.3 Méthode de modélisation proposée

8.3.1 Objectif

L'objectif de la modélisation est de représenter de manière simplifiée le comportement hydraulique du réseau en intermittence, en utilisant les données qui sont disponibles dans le réseau d'un côté, et en tenant compte de l'indisponibilité de certaines données et de la possibilité de collecter des données supplémentaires.

8.3.2 Cadre de modélisation

Comme nous avons pu le constater auparavant, l'approche classique de modélisation ne se prête pas aux conditions d'intermittence, à cinq niveaux :

- Le processus de remplissage et de vidange de conduite et les aléas causés par la nature de l'écoulement bi-phasique qui les caractérise ;
- La durée de simulation de l'écoulement sous pression ;
- La dépendance de la demande et des fuites à la pression ;
- La dynamique des réservoirs domestiques ;
- Le peu de données disponibles.

a- Remplissage et vidange :

Compte tenu de leur courte durée de déploiement, on ne tient pas compte des procédés de remplissage et de vidange dans la modélisation mais nous privilégions une installation optimisée des vannes avec soupapes d'étranglement (purgés) à la place.

b- Durée de simulation :

Ce point peut facilement être résolu en modifiant la durée totale de la simulation dynamique de 24h à la durée de desserte.

c- Dépendance à la pression et dynamique des réservoirs domestiques :

Nous regroupons ces deux points dans un volet parce que comme nous l'avons vu en littérature, la réponse à la dépendance à la pression est souvent modélisée par le placement de réservoirs au niveau des jonctions de consommation.

Mais la dépendance à la pression influe également les processus de linéarisation, puisque ça implique un changement de l'équation de continuité, en modifiant son terme de consommation.

d- Manque de données :

Les réseaux en intermittence sont généralement caractéristiques de pays en voie de développement qui ont peu de moyen à dédier à la connaissance de leur réseau et son instrumentalisation. D'où le besoin de pouvoir réaliser une simulation minimale de l'écoulement avec les données disponibles et potentiellement quelques données supplémentaires récoltées sur le terrain.

Les procédés de simplification vus plus haut ne répondent pas à ce besoin puisqu'ils nécessitent des données initiales en grand nombre, un autre procédé de simplification est donc à édifier. Nous faisons dans la suite le choix de nous placer dans un modèle de « mass balance » pour lequel nous estimons le minimum de données nécessaires.

8.3.3 Méthode proposée

Nous démarrons la modélisation en considérant un modèle du réseau défini par les zones de consommation en tant que nœuds et des arcs hydrauliques équivalents qui les lient entre elles.

Le réseau garde alors la même allure topologique sommaire, mais avec beaucoup moins d'éléments que lors d'une modélisation exhaustive de ses éléments hydrauliques.

La consommation au niveau de ces zones peut être modélisée par des réservoirs dont les équations caractéristiques vont dépendre des usagers de cette zone.

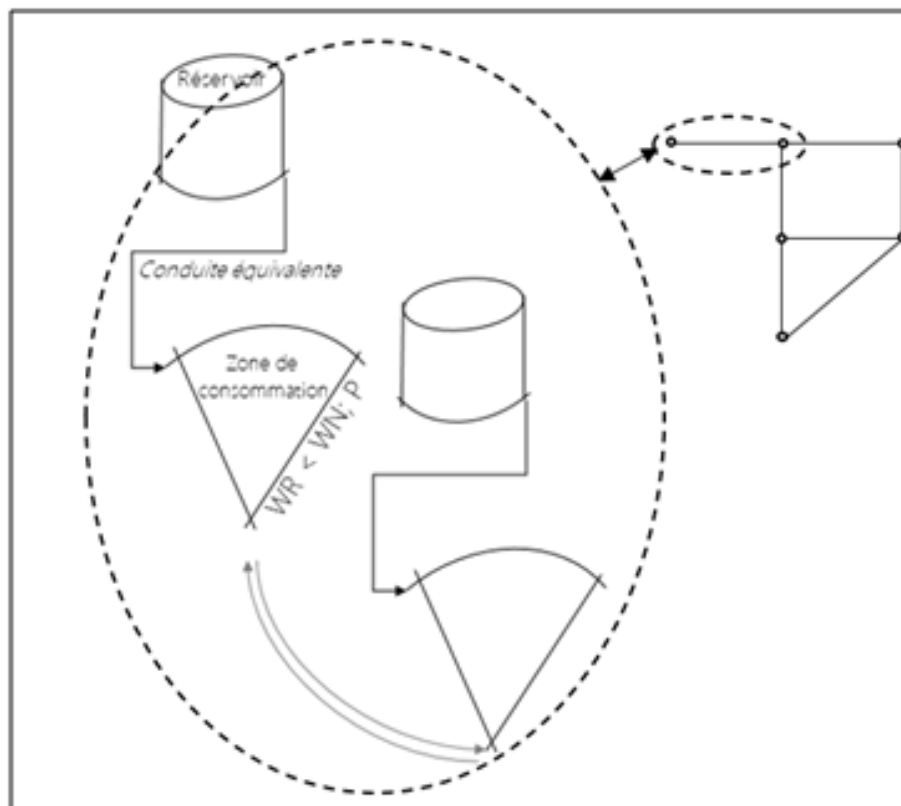


FIGURE 8.4 – Schéma conceptuel du principe de modélisation
Source : élaboration propre

Si nous reprenons les étapes de construction du modèle mathématique tel que définies plus haut :

- Les variables d'état à considérer sont toujours les pressions et débits ;
- Les nouveaux éléments du réseau étant les zones de consommation et les liens équivalents, une adaptation des équations caractéristiques est nécessaire. Cette adaptation doit tenir compte des réservoirs domestiques et des régimes de consommation ;
- Les équations réseau doivent tenir compte de la dépendance à la pression de la demande et des pertes ;
- La méthode de résolution doit prendre en compte le terme en pression dans la formulation de ses fonctions objectif, les méthodes de linéarisation existantes peuvent prendre en compte cette modification.

a) *Dépendance à la pression*

A partir de l'équation de décharge au niveau d'un orifice (Équation 4), en fonction de l'orifice considéré, les valeurs de β et de K_i peuvent être adaptées. Dans le cas d'une fuite par exemple, les expériences au laboratoire fixent la valeur de β à 0,5 [Martínez Alzamora et al., 1999].

Dans le cas de la demande, une adaptation de l'équation peut également être considérée, et les paramètres adaptés, mais il faut également tenir compte des types de régimes de consommation considérés, cette opération peut être facilitée par la catégorisation des types d'intermittence selon le point de vue de l'utilisateur. Des profils de consommation sont à définir selon les capacités des réservoirs domestiques et dépendamment de la disponibilité, l'accessibilité et la quantité d'eau à récupérer.

Typiquement, dans un réseau d'eau affamé (quantité d'eau disponible inférieure à la demande), si les capacités de leurs réservoirs le permettent, les usagers auront tendance à ouvrir leurs robinets pour récupérer de l'eau pendant toute la période de la desserte, alors que dans le cas de réseau non affamés, les robinets flotteurs arrêteront le tirage d'eau une fois la capacité de stockage atteinte.

De la même manière, si l'accès à l'eau est collectif, le tirage sur le réseau est conditionné par le nombre de usagers du secteur d'influence de la source de distribution, de la capacité de leurs moyens de transport d'eau et de l'étendue de la zone d'influence et donc la distance qu'ils ont à parcourir pour accéder à l'eau.

Ces classifications pourront permettre une formulation conditionnée de la fonction de demande associée à chaque zone de consommation.

b) *Simplification*

La simplification des réseaux d'eau en intermittence en zones de consommation se base sur la création d'éléments qui ont un comportement équivalent à un ensemble d'éléments physiques du réseau.

Avant de déterminer la méthode de simplification, il est nécessaire de commencer par identifier le minimum de données dont on a besoin pour faire tourner un modèle qui peut répondre à l'objectif que nous nous sommes définis. Pour ce faire, nous utilisons une méthode de régression statistique.

L'utilisation de la régression progressive se fait par élimination rétroactive et nous permet à partir d'un jeu de données complet, d'éliminer des données au fur et à mesure en estimant l'incertitude allée à chaque étape du processus d'élimination.

Ainsi, pour déterminer ce minimum à ne pas dépasser, on peut procéder de la manière suivante :

- Prendre un modèle déjà existant et dont les résultats sont fiables
- Enlever au fur et à mesure des éléments jugés insignifiants et regarder leur impact sur l'incertitude de certains paramètres.
- Arrivés à un seuil d'incertitude, on garde les éléments indispensables pour que le modèle garde un sens.

Si cette opération est faite sur plusieurs réseaux typiques qui peuvent être en alimentation continue, on peut en extraire des ensembles de données qu'il est indispensable

d'obtenir, par type de réseau, une fois ces données définies, les comportements des zones de consommation peuvent être extraits de fonctions inverses aux équations utilisées pour l'adaptation des éléments lors de l'élimination.

8.3.4 Application

a) *Analyse de l'existant sur un réseau pratique : inadéquation de la modélisation classique*

Un modèle a été fourni pour le réseau de distribution d'eau de la ville de Annaba (Algérie) à l'aide du logiciel EPANET. Ce modèle (Figure 8.5) a été construit par Gelsenwasser en 2010 dans le cadre de l'assistance et du conseil à l'Autorité algérienne de l'eau pour la rénovation du réseau de distribution d'eau.

Le modèle se compose des éléments suivants :

TABLE 8.3 – *Eléments du réseau : structure du modèle de distribution de Annaba (2010)*

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Nombre de nœuds 3851 | Nombre de réservoirs 3 |
| Nombre de Tanks 42 | Nombre de conduites 2734 |
| Nombre de pompes 40 | Nombre de vannes 1571 |

La pression inégalement répartie géographiquement au sein du réseau est clairement illustrée par la gamme d'indicateurs de couleur dans le déroulement du modèle. Les couleurs bleues indiquent une faible pression, dans la plupart des cas, cette pression est insuffisante pour distribuer l'eau pendant une longue durée. Les couleurs jaune et rouge indiquent des pressions plus élevées et plus adéquates.

La figure (Figure 8.6) montre un détail d'une station de pompage avec une indication de couleur supplémentaire pour le débit dans les éléments (par exemple les tuyaux et les pompes) exprimé en mètres cubes par heure. Le modèle prédit clairement des débits élevés avant et après l'infrastructure de pompage - comme l'indiquent les lignes colorées en rouge. Les lignes vertes et bleues à proximité indiquent des débits beaucoup plus faibles dans les segments de tuyaux qui ne sont pas influencés par les pompes de cette station de pompage.

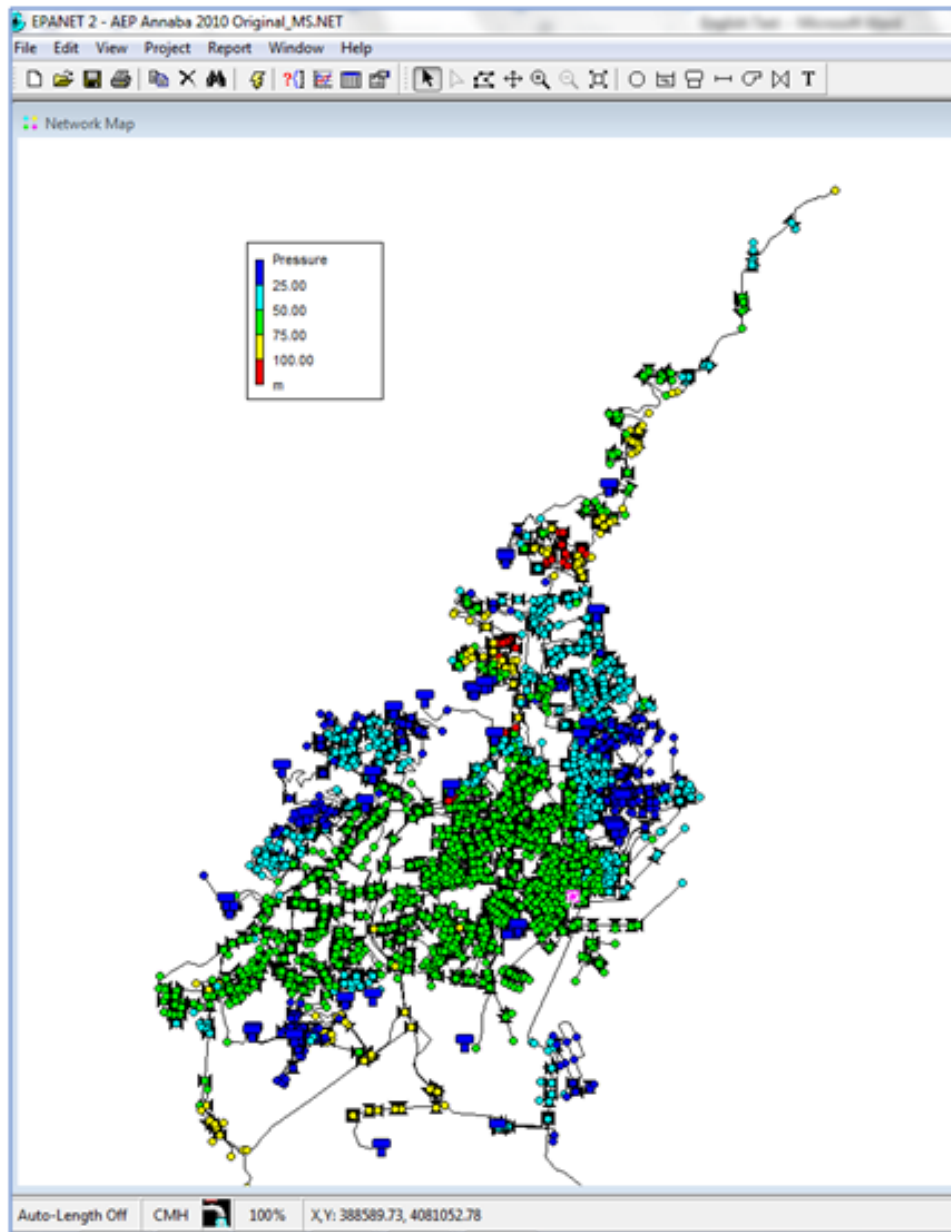


FIGURE 8.5 – *Modèle hydraulique DDM de Annaba*

L'analyse hydraulique dans EPANET se fait par des simulations. Dans un premier temps, cela est fait pour une seule période. Une deuxième option consiste à exécuter le modèle sur une longue période en utilisant des modèles de demande, qui font varier les demandes aux nœuds de manière périodique au cours d'une journée.

Lors de l'analyse hydraulique du modèle construit pour Annaba, de nombreux messages d'avertissement apparaissent. Ils sont dus à des pressions négatives sur les nœuds et provoquent par conséquent l'arrêt des pompes, car trop peu d'eau leur parvient. La solution est d'adopter la dépendance à la pression.

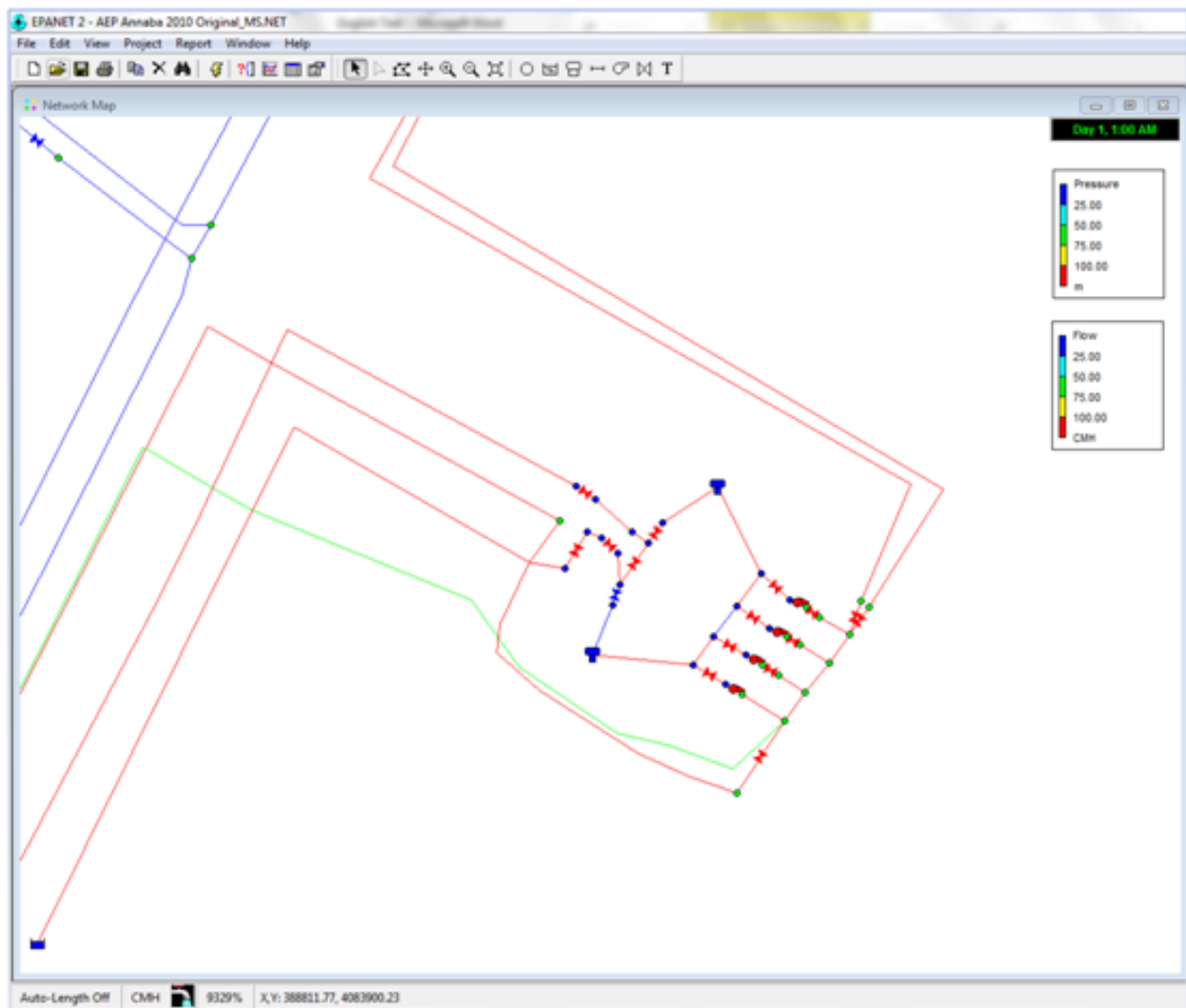


FIGURE 8.6 – *Modèle hydraulique de la station des Santons à Annaba*
 Source : élaboration propre

b) *Échelle du réseau : Synoptique dynamique*

Dans le cas du réseau de Annaba, pendant la mission d'assistance technique, une modélisation complète n'était pas possible, au vu du manque de données de pertes, de consommation et de répartition patrimoniale, et de la nécessité d'une étape de calage (le modèle établi par Gelsenwasser en 2010 n'était pas calé sur des mesures terrain de Annaba, mais sur un calage de rugosité au niveau de la wilaya voisine d'El Tarf).

Malgré cet handicap, qui est par ailleurs très emblématique de l'état des données dans le cas de réseaux en intermittence, une étape de mise à jour du synoptique global du réseau (principaux points d'approvisionnement) et une reconstitution des données de population

ont permis de construire une base de représentation des flux de consommation dans le réseau.

Un outil a été conçu, avec l'aide du département d'exploitation, à partir de ces données pour le calcul des bilans volumiques pour le diagnostic de l'équilibre offre/demande et la mise en route de simulations de nouvelles répartitions (Mode d'emploi en Annexe 9).

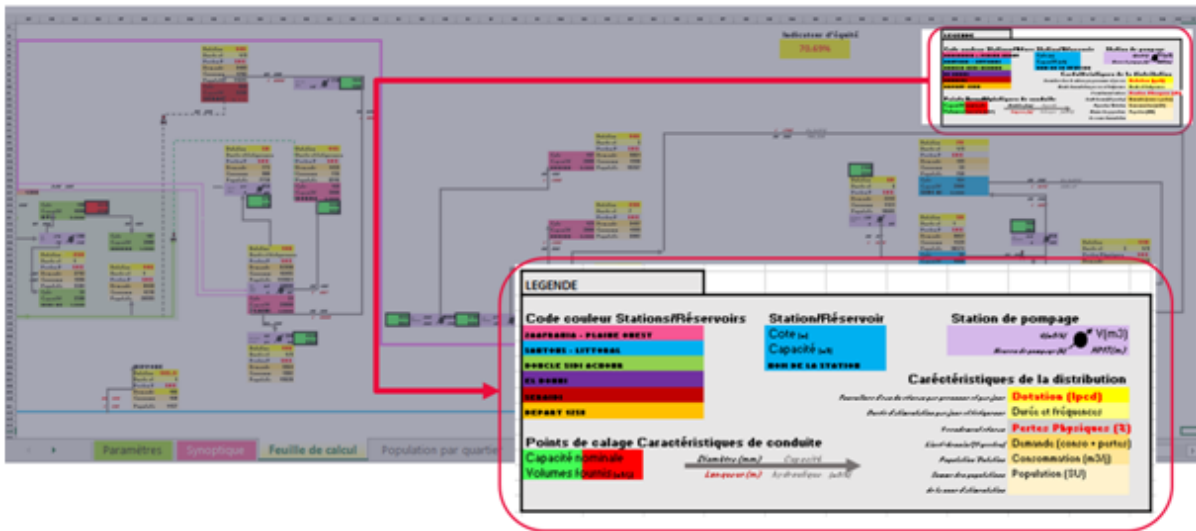


FIGURE 8.7 – Feuille de calcul du synoptique dynamique du réseau

La feuille de calcul de l'outil reprend les caractéristiques des ouvrages (réservoirs (capacités et côtes), stations de pompages (durées et débits), vannes (état), et conduites (longueurs et diamètres)), et établit des liens hydrauliques entre ces éléments selon la configuration du réseau lors de la mission terrain. Ces éléments constituent les données « minimales » à assembler lors de la construction du modèle macroscopique.

Ces liens permettent, au niveau de chaque zone de distribution d'estimer la consommation et la demande à partir d'un calage itératif de ces données. Ce calage est établi en équilibrant les données d'offre et de demande.

Données de demande :

La population est définie sur la base de calculs de reconstitution de données à partir des consommations aux noeuds du modèle de 2010, auxquelles des évolutions tendanciennes ont été appliquées, et affectée à chaque zone de consommation, la consommation est ensuite calculée

sur la base d'une première estimation de la dotation unitaire, initialement supposée identique sur tout le réseau (145 LPCD), puis la demande est calculée en prenant en considération les pertes sur le réseau, selon la formule :

$$Demande(m^3/jour) = \frac{Consommation(m^3/jour)}{1 - Pertes(\%)} \quad (6)$$

Pour notre calcul de base, nous avons considéré des pertes de 50% sur la ville de Annaba, et une estimation de 40% sur la commune d'El Bouni¹²⁰, ces valeurs sont paramétrables en fonction du caractère plus ou moins fuyard des différentes zones de distribution.

Données d'offre :

L'offre est déduite à partir d'un calcul des éléments limitants le débit d'arrivée à la zone d'alimentation, à savoir : Les volumes disponibles à l'entrée de la zone, les débits et durées de pompage et la capacité de transfert des conduites à l'amont de la zone.

La capacité de transfert d'une conduite est le débit maximal qui peut y véhiculer, en prenant en considération les pertes de charges qui s'y produisent.

Les pertes de charge linéaires sont calculées par itérations moyennant la formule de Colebrook-White dans le cas d'un écoulement turbulent, (si l'écoulement est laminaire, la formule de Poiseuille est adoptée à la place $\lambda = 64/Re$) :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,7D} \right) \quad (7)$$

Où :

- λ est le coefficient de pertes de charge linéaires dans la conduite
- D est le diamètre de la conduite

120. Ces estimations sont issues des résultats d'une analyse compréhensive des eaux non facturées qui a été menée par ailleurs sur le même réseau.

- Re est le nombre de Reynolds $Re = \frac{Vd}{\nu}$ (v est la vitesse dans la canalisation, et ν la viscosité cinématique (m^2/s), le nombre de Reynolds est recalculé lui-même par itérations en fonction de l'estimation du débit dans la conduite)

Nous considérons une valeur de la viscosité cinématique de $1.01 \cdot 10^{-6} m^2/s$ qui est valable pour une eau à $10^\circ C$.

- ϵ est la rugosité de la conduite en m

Comme pour le modèle hydraulique de 2010, les valeurs considérées pour la rugosité ont été déterminées en utilisant les données d'une campagne de mesure dans le système d'adduction de la Wilaya El Tarf en décembre 2009 ¹²¹, qui a lié la rugosité uniquement au diamètre des conduites, et non pas à leur matériau.

TABLE 8.4 – Valeurs de la Rugosité en fonction du diamètre de la conduite

| Paramètre | Limite sup | Valeur | Unité |
|--|------------|--------|-------|
| Rugosité moyenne | MOYEN SUP | 0.001 | m |
| Rugosité petits diamètres (D<250 mm) | PETIT | 0.002 | m |
| Rugosité diamètres moyens (D :250 mm-600mm) | MOYEN INF | 0.0015 | m |
| Rugosité grands diamètres (D :930 mm-1500mm) | GROS | 0.0005 | m |

La valeur de la capacité de transfert de la conduite est ensuite déduite de l'équation suivante.

$$Q = \pi \sqrt{\frac{H}{L} \times \frac{8gD^5}{\lambda}} \quad (8)$$

Où :

- H est la différence de cote entre le réservoir à l'amont et le réservoir à l'aval
- L est la longueur de la conduite
- g est l'accélération de la pesanteur (prise égale à $9.81 m/s^2=9.81N/kg$)

Il est à noter que les valeurs de viscosité cinématique et de rugosité peuvent être ajustées par l'utilisateur de l'outil dans l'onglet « Paramètres ». et que le calcul des pertes de charges

¹²¹. Source : Rapport Modélisation Hydraulique des ACL de la Wilaya d'Annaba (Juin 2011, GELSEN-WASSER)

singulières est simplifié à un ratio des pertes de charges linéaires, également paramétrable au niveau de l'outil (la valeur de test prise égale à 10%).

Calage :

Une fois que ces éléments d'offre et de demande sont estimés, il reste à vérifier l'équilibre entre ces estimations au niveau de chaque zone d'alimentation.

Cette opération se fait en comparant la demande avec le minimum de l'offre disponible (volumes potentiellement mobilisés grâce aux débits et durées de pompage, limités par la capacité de transfert de la canalisation).

La demande est ensuite ajustée (en adaptant la valeur de la dotation individuelle), pour avoir des valeurs qui sont cohérentes avec les volumes fournis. Il s'agit de l'opération de calage de l'outil. Elle permet d'obtenir une estimation de la répartition des dotations, qui est cohérente avec l'offre disponible.

| | | |
|-------------------------------|------|------------|
| Points de calage | 2160 | |
| Capacité nominale | 2242 | |
| Volumes fournis (m3/j) | | |
| Dotation | | 60 |
| Durée et fréquences | | 6 |
| Pertes Physiques | | 50% |
| Demande | | 2242 |
| Consommation | | 1121 |
| Population | | 18685 |
| SdP Maison | 120 | |
| COOP | 6 | 50 |

FIGURE 8.8 – Points de calage dans la feuille de calcul

Il est à noter que la comparaison se fait sur la base du débit journalier (qui est obtenu en multipliant le débit horaire par les heures d'alimentation par jour. Si l'alimentation ne se fait pas quotidiennement, la base de comparaison reste la journée, et les heures d'alimentation sont estimées en équivalent par jour. Exp. Une desserte de 8 heures, 1 jour sur 2 est considérée comme équivalente à une alimentation quotidienne de 4 heures.

Une fois que tous les points de calage sont au vert, on peut considérer que la répartition des

dotations est assez représentative.

Cet outil permet de faire un bilan des volumes de desserte et de maîtriser les flux au niveau de tout le réseau de Annaba, en tenant compte des liens hydrauliques et des dissipations énergétiques sur le réseau.

Avoir un outil dynamique paramétrable présente plusieurs avantages comme :

- La possibilité d'y apporter des précisions au fur et à mesure que des données terrains sont disponibles (exp. volumes issus du macro-comptage, campagnes terrain pour estimer la rugosité, actualisation des données de population grâce à un recensement...).
- La facilité de faire tourner des simulations en fonction des scénarios de distribution envisagés, afin de choisir la meilleure alternative, et d'optimiser le programme de distribution.

Afin d'orienter l'optimisation de manière quantifiée, des indicateurs de suivi et d'évaluation du programme de distribution sont nécessaires.

a. *Indicateur de suivi du programme de distribution :*

L'amélioration d'un programme de distribution au stade de la planification peut se faire de différentes manières, telles que l'augmentation de la fréquence d'alimentation, et le rallongement des durées de desserte. Ces solutions nécessitent néanmoins des apports supplémentaires en eau (au niveau de la production/ achat d'eau, ou grâce à la réduction des pertes physiques sur le réseau).

b. *Équité de distribution :*

Une possibilité d'amélioration à iso-moyens consiste à améliorer l'équité de distribution. Cet objectif peut être atteint grâce à l'implémentation d'un modèle d'optimisation de la desserte, que nous proposons dans le chapitre suivant.

En termes d'indicateur de suivi, dans une version dégradée, nous avons considéré la mise en place dans l'outil de planification, d'un calcul d'un indicateur qui renseigne sur l'équité de la desserte entre les différentes zones de distribution du réseau. Dans ce premier exercice,

il s'agit d'une adaptation du coefficient ou indice de GINI, qui est l'indicateur statistique le plus populaire pour mesurer l'inégalité [Sitthiyot and Holasut, 2020].

Ce coefficient, qui mesure le niveau d'inégalité de la distribution d'une variable dans la population, est généralement utilisé pour mesurer les inégalités de revenus dans un pays. Il varie de 0 à 1, où 0 signifie une égalité parfaite et 1, qui ne peut être atteint, signifierait une inégalité parfaite (une personne ayant tous les revenus, tandis que le reste de la population n'a aucun revenu).

Dans notre cas, nous considérons les dotations individuelles à la place des revenus, et les zones de distribution (pondérées par leur population), au lieu des individus. Pour notre indicateur d'équité de desserte en eau, nous considérons (1-l'équivalent de l'index de GINI), parce que ce qu'on veut suivre est l'évolution de l'équité, et non pas celle de l'inéquité de répartition.

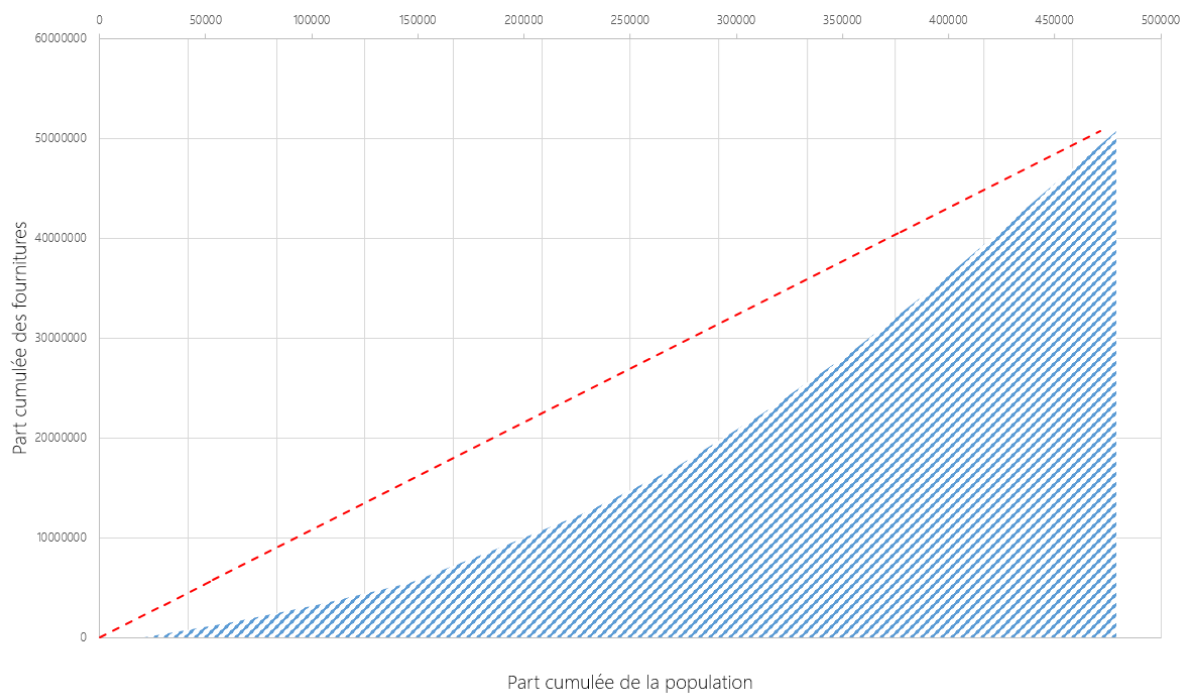


FIGURE 8.9 – *Exemple de Courbe de Lorenz*

Ce coefficient est défini comme le double de l'aire comprise entre la courbe de la distribution des dotations (délimitation de la surface hachurée) et la courbe de Lorenz associée à une situation théorique totalement égalitaire (en rouge) dans laquelle tous les individus, et donc toutes les zones d'alimentation, auraient exactement la même dotation

individuelle (Figure 8.9).

L'exercice appliqué à Annaba permet d'identifier le grand écart entre la répartition en l'état et la courbe théorique d'équité parfaite (l'aire entre les deux courbes est importante, et correspond à 70.69% de la superficie du triangle complet) (Figure 8.10). Ce qui se traduit par une grande marge de manoeuvre pour l'amélioration de l'équité de distribution par l'opérateur, par rapport à une situation initiale très déséquilibrée.

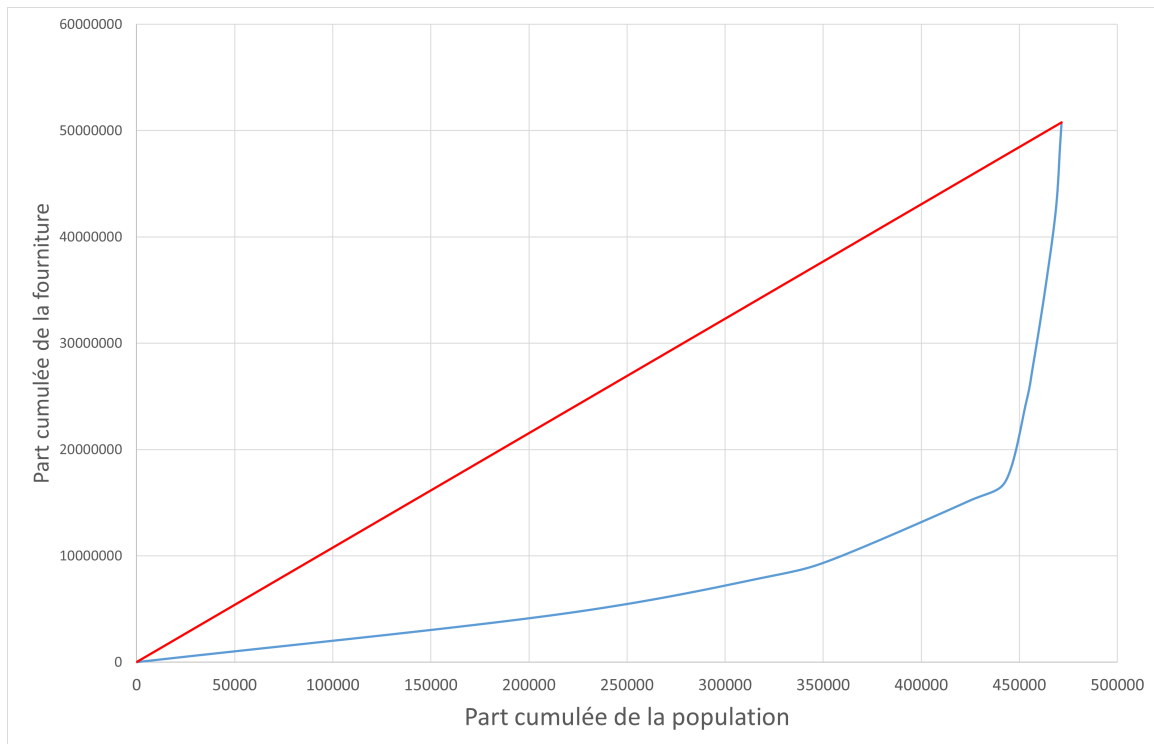


FIGURE 8.10 – *Courbes de Lorenz pour la répartition de la population de Annaba (situation décrite début 2020)*

Une représentation de l'équité de distribution peut également être perçue graphiquement, en représentant la dotation par zone, l'objectif étant d'avoir un programme qui permet la meilleure homogénéisation.

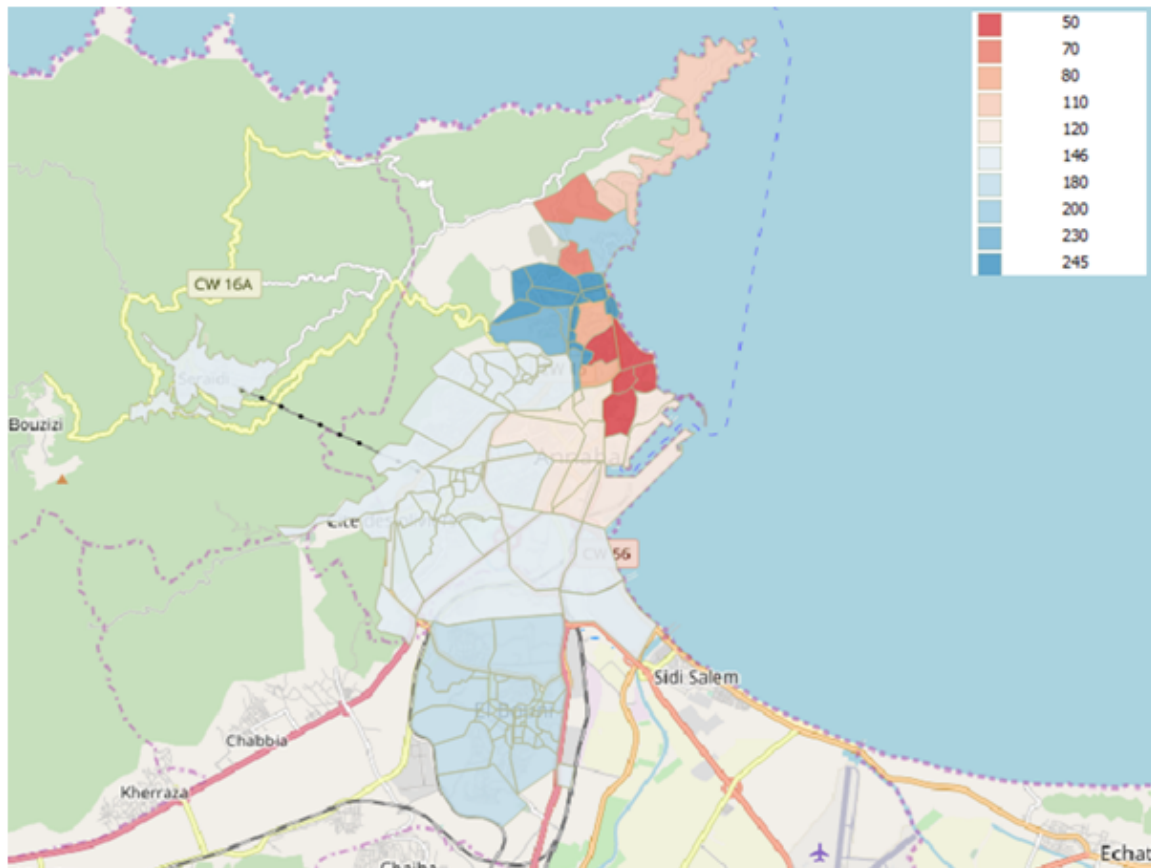


FIGURE 8.11 – Répartition de la dotation en eau par quartier de Annaba
Source : élaboration propre

8.4 Synthèse du chapitre 8

Afin de concevoir des moyens d'amélioration pour les systèmes de gestion d'eau en intermittence, nous avons adopté une perspective opérateur-centrique. Étant donné l'absence d'outils opérationnels dédiés à la gestion de l'intermittence dans la littérature et sur le marché, l'opérateur doit développer des solutions et des techniques d'optimisation de sa stratégie de gestion de l'intermittence pour qu'elles s'intègrent efficacement dans l'écosystème dans lequel il intervient. L'objectif est de concevoir des solutions pratiques pour améliorer les performances du système et garantir une qualité de service optimale pour les usagers. Dans ce contexte, l'implémentation d'un système de contrôle optimal se présente comme solution, en particulier pour les réseaux d'eau potable en raison de leur complexité croissante et de leur fonctionnement contraint, dans le cas de l'intermittence.

Ces systèmes s'appuient sur trois modèles sous-jacents :

1. Le modèle hydraulique : Ce modèle a pour objectif de décrire le fonctionnement de l'approvisionnement en eau du réseau en utilisant des modèles parcimonieux pour représenter le système et ses dysfonctionnements. Les réseaux de distribution d'eau en intermittence sont complexes, peu et souvent mal décrits. Nous avons défini les caractéristiques d'une modélisation hydraulique adaptée à ces réseaux, et évalué deux procédés de modélisation hydraulique (Mass Balance et modélisation hydraulique simplifiée) pour identifier les échelles spatiotemporelles les plus pertinentes.
2. Le modèle de prévision de la demande : Ce modèle permet de prévoir les besoins en eau du réseau en fonction des habitudes de consommation, nous l'avons intégré dans les paramètres de calage du modèle hydraulique.
3. Le modèle d'optimisation : Ce modèle utilise les données des deux modèles précédents pour optimiser les opérations de gestion du réseau en proposant des solutions pour maximiser l'efficacité et la qualité du service tout en minimisant les perturbations du système. Nous avons proposé l'équité de la distribution comme objectif d'optimisation. Cet aspect sera détaillé dans le prochain chapitre.

Au niveau de la modélisation hydraulique, nous avons choisi d'adopter, pour l'étape finale d'optimisation, une approche qui relie le besoin en eau aux points de sortie du réseau à la charge hydraulique disponible, plutôt que de le baser sur la demande, et de collecter les données minimales qu'il est nécessaire d'identifier sur le réseau pour que le système soit utilisable et qu'il ait son utilité. Cette approche permet de mieux prendre en compte les modes d'alimentation côté usager qui sont imposés par ce régime, et d'identifier les constituants d'un modèle de gestion du réseau par rapport aux finalités qui lui sont pertinentes.

Chapitre 9

Solutions pour l'amélioration du service :

Proposition d'outils opérationnels

Les échanges entretenus avec les exploitants en parties 1 et 2 ont permis de mettre en exergue l'absence d'outils opérationnels dédiés à la gestion de l'intermittence dans la littérature et sur le marché. De ce fait, il est utile de concevoir des solutions pratiques pour améliorer la performance du réseau, et garantir une qualité de service optimisée à l'utilisateur. Les réseaux d'eau potable sont des systèmes à la complexité croissante, qui est encore plus importante dans le cas d'un approvisionnement en intermittence, dont le fonctionnement est lié à plusieurs aléas, et soumis à un certain nombre de déficiences, relatives à la ressource, aux infrastructures ou à la gestion du système. Une réponse à cette complexité, comme nous l'avons souligné dans le chapitre précédent, est l'implémentation d'un système de contrôle optimal, qui allie des solutions d'optimisation opérationnelles sur la base d'une modélisation hydraulique adaptée.

Nous présentons dans ce chapitre des solutions d'amélioration du service qui s'inscrivent dans ce schéma et qui ont été développées dans le cadre de ce travail de thèse, ainsi que la démarche globale d'optimisation du service par l'opérateur dans laquelle ils s'inscrivent.

9.1 Présentation de la démarche globale

9.1.1 Etat de l'art d'amélioration de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence

La littérature disponible sur les stratégies d'amélioration de l'approvisionnement en eau dans des conditions d'intermittence est limitée. Comme indiqué précédemment, la majorité des études, des réglementations et des stratégies opérationnelles existantes se concentre sur la transition vers un approvisionnement continu [Ercumen et al., 2015, Hastak et al., 2017, Thawkar and Hailkar, 2017, Lingireddy and Bhatt, 2017, Charalambous and Laspidou, 2017b, Ray et al., 2018, Ilaya-Ayza et al., 2018, El Achi and Rouse, 2020, den Dekker, 2020].

Toutefois, lorsqu'on considère les moyens d'améliorer le service indépendamment de l'objectif de continuité, le critère le plus souvent cité dans les quelques travaux publiés au cours de la dernière décennie est l'équité de la distribution¹²² par le biais de processus d'optimisation.

On peut voir un exemple précurseur de cela dans le travail de Vairavamoorthy et al. qui présente un cadre de modélisation agrémenté par une optimisation du placement des vannes réductrices de pression [Vairavamoorthy, 1994, Vairavamoorthy and Ali, 2000, Vairavamoorthy et al., 2001, Vairavamoorthy and Elango, 2002], aussi connu sous le nom de système de contrôle optimal. Celui-ci, comme pour sa méthodologie de modélisation évoquée dans le chapitre précédent, n'est cependant pas explicité et nécessite un logiciel spécialisé qui n'est pas librement accessible.

Sur les méthodes d'optimisation dont la formulation est disponible, les solutions proposées impliquent généralement des changements dans la conception du système, comme le redimensionnement des canalisations [Nyahora et al., 2020], ou la modification de la taille et l'emplacement des réservoirs à la source [Effah et al., 2013] ou chez les usagers [Gottipati and Nanduri,

122. La définition de l'équité de distribution, comme nous allons le détailler par la suite, n'est cependant pas standardisée. Plusieurs indicateurs sont utilisés en fonction de la définition de l'objectif d'équité par les travaux et auteurs.

2014]. Elles sont de ce fait coûteuses et peu pratiques à mettre en œuvre.

La seule stratégie d'optimisation opérationnelle du service dans le cadre de l'intermittence, qui présente des solutions pratiques sans imposer de changements de design, est celle proposée par Ilaya-Ayza, dans ses travaux de sectorisation et d'optimisation des plannings de distribution pour les réseaux en intermittence [Ilaya-Ayza, 2014, Ilaya-Ayza, 2016, Ilaya-Ayza et al., 2017b]. Cette stratégie est cependant conçue sur la base d'une source unique, et ne tient pas compte du système plus large dans lequel l'approvisionnement en eau fonctionne, et de l'impact et des interactions de l'offre de l'opérateur avec d'autres acteurs et dynamiques.

9.1.2 Choix des volets d'amélioration

L'objectif est d'améliorer la desserte en eau selon la définition de la qualité de service d'approvisionnement par l'utilisateur. Dans cette optique, nous formulons une proposition d'approche d'amélioration opérationnelle de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence, avec l'objectif d'assurer l'équité¹²³ de distribution de la ressource disponible entre les différents usagers.

L'échelle considérée, au vu de la parcimonie du modèle de simulation n'est pas celle de l'utilisateur, il s'agit de celle des zones de desserte délimitées par les sources d'alimentation.

Cette opération a nécessité la formulation, l'adaptation et le couplage de plusieurs modèles, après une étape initiale d'estimation de l'offre et de la demande en eau du réseau. Ces étapes se déclinent comme suit :

1. Une délimitation des zones d'influence des sources d'eau du réseau, selon un critère de répartition uniforme de la pression, par le déploiement d'une analyse du graphe représentatif du réseau pour délimiter des zones macroscopiques d'approvisionnement permettant de garantir la meilleure pression au niveau de chaque noeud du réseau.

123. Nous entendons par équité de distribution une répartition de l'offre du réseau qui permette de s'inscrire dans l'offre globale en eau, dans l'objectif de la compléter et permettre à tous les usagers de disposer de la même quantité d'eau à une fréquence comparable. Une offre équitable dans ce sens pousserait l'opérateur à fournir plus d'eau aux usagers ayant peu ou pas d'alternatives à leur disposition.

2. Un équilibrage des volumes d'eau disponibles au niveau des zones macroscopiques d'approvisionnement. Cet équilibrage se fait selon une première étape de répartition de la ressource qui s'est basée sur l'optimisation des transferts d'eau entre ces différentes zones selon deux algorithmes évolutionnaires (*Particle Swarm Optimization : PSO*, et un *algorithme génétique*). L'objectif étant d'allouer à chaque zone un volume d'eau correspondant, en fonction de sa capacité de stockage et de la demande effective en eau au sein du périmètre qu'elle couvre. Cette répartition prend en considération la réponse à la demande par les mesures alternatives dans la définition d'une fonction-objectif d'équilibre des ressources (coefficient d'uniformité adapté), qui fait intervenir les acteurs impliqués dans l'approvisionnement alternatif.
3. Une fois que cette répartition volumique a été établie, l'étape suivante a consisté à proposer une sectorisation homogène de la zone macroscopique, en agissant sur les ouvertures/fermetures des vannes de sectionnement au sein de la zone. Cette étape permet de définir des sous-secteurs et les durées d'approvisionnement qui leur correspondent. Le planning de distribution se base ensuite sur ces durées et sur des critères opérationnels.

Après cette optimisation qui constitue, comme nous allons le déduire dans la suite, un moyen d'action pour l'amélioration de la majorité des dimensions identifiées dans l'outil d'évaluation de la qualité de service développé dans la partie 1 (i.e. toutes les dimensions exceptée la prédictibilité), d'autres outils sont proposés pour la vérification de la conformité opérationnelle des actions terrains, afin d'atteindre pratiquement les objectifs d'optimisation formulés.

9.1.3 Stratégie adoptée

La figure suivante (Figure 9.1) schématise les étapes de la méthode d'amélioration de l'intermittence développée, le bloc en pointillés (impact sur l'attente et moyens d'adaptation des usagers) est une perspective de développement que nous discuterons dans le chapitre de conclusion. La section suivante de ce chapitre traitera une étape par sous-section :

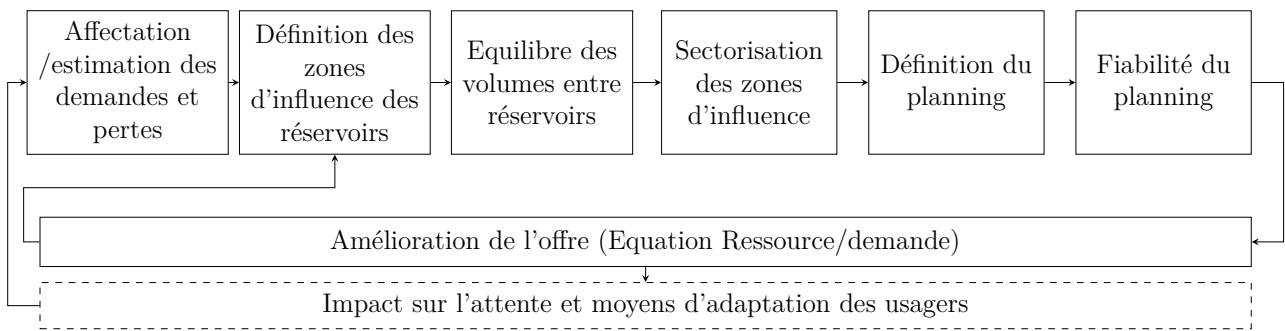


FIGURE 9.1 – *Étapes du processus proposé pour l'amélioration de la qualité de service dans le cadre de l'intermittence*

Source : élaboration propre

9.2 Méthodes, spécifications ou algorithmes développés par étape

9.2.1 Affectation/estimation des demandes et pertes

Cette première étape consiste en une étude classique de « Master Balance », généralement réalisée dans les études usuelles de schémas directeurs de distribution d'eau potable. L'objectif est l'estimation des besoins et des ressources, pour évaluer l'adéquation de leur disponibilité, et potentiellement chercher d'autres ressources si nécessaire. Dans un réseau en intermittence, il est nécessaire d'estimer les ressources alternatives également, pour répondre à la demande des usagers dans le cadre du système d'approvisionnement dans lequel ils s'inscrivent.

Dans ce sens, nous proposons de dénombrer et quantifier les ressources disponibles selon les principales catégories d'acheminement de la ressource : Camions citernes, sources indépendantes, et bornes fontaines, pour effectuer des projections de masse. Cette étape ne nécessite pas forcément un développement dédié. Il suffit d'organiser une campagne d'inspection, permettant d'estimer les volumes couverts par les sources alternatives, et d'en déduire un coefficient de couverture réseau en conséquence. Lors du début de notre travail de thèse, nous avons toutefois développé un outil de support, qui est plus considéré comme une aide à la saisie et à la visualisation des ces répartitions volumiques, avant la prise de décision sur la présence et l'homogénéité de la ressource. Cet outil, dont la capture de la table de saisie est illustrée dans

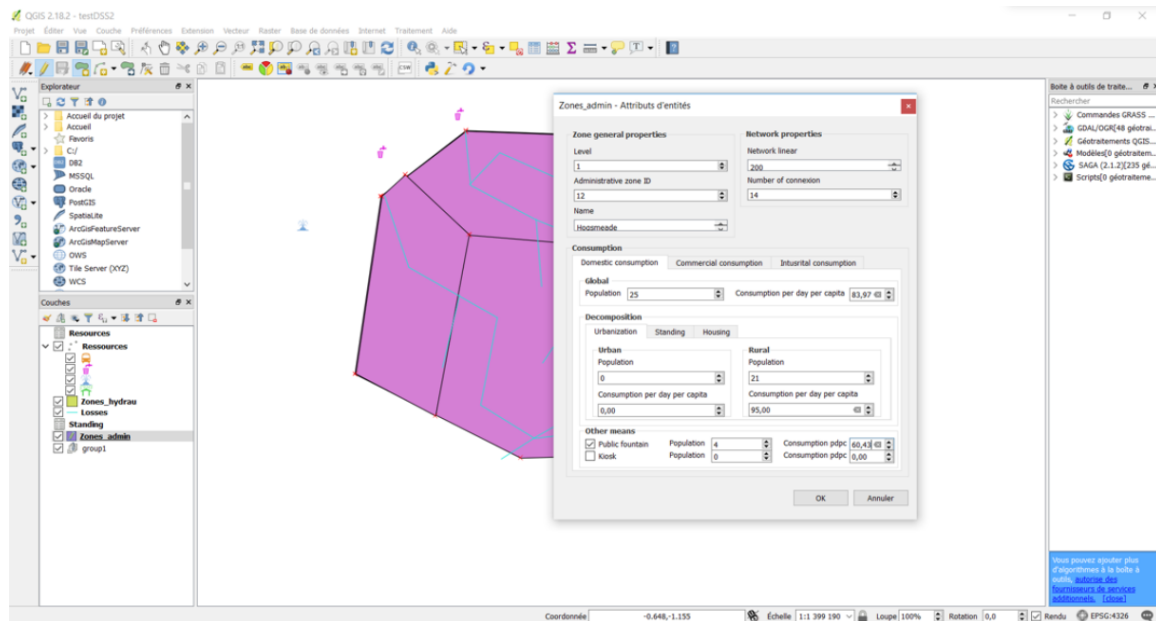


FIGURE 9.2 – Saisie des données sur l'extension QGIS de configuration de l'équilibre besoin ressources

Source : élaboration propre

la Figure 9.2, a été développé en tant qu'extension du SIG du réseau, pour une utilisation plus schématique que quantitative. La description de cette extension, de la méthodologie adaptée, et des spécifications de l'outil, est détaillée en Annexe 10.

9.2.2 Définition des Zones d'influence des réservoirs

Une fois que les volumes d'eau à livrer par le réseau, son rendement, et les demandes sont fixés, l'étape suivante est de définir l'ensemble des nœuds effectivement desservis par une source. Il s'agit d'une étape nécessaire à notre démarche, qui permet de faciliter l'optimisation de la répartition hydraulique des ressources par la suite. L'objectif est d'affecter chaque nœud du réseau à une source qui lui permet d'avoir, au sein de sa zone, une pression adéquate. La démarche développée se base sur la subdivision du réseau hydraulique en plusieurs zones telles que l'approvisionnement des nœuds de chacune de ces zones est majoritairement influencé par une source dominante. Cette répartition permettra par la suite (dans l'étape suivante) de définir les transferts nécessaires entre chacune des zones afin d'équilibrer l'approvisionnement en eau de l'ensemble des nœuds en fonction de leur demande.

Nous présentons dans la suite l'algorithme que nous avons construit afin de définir les zones d'influence des sources dans un réseau, suivi des résultats de son implémentation sur un réseau simplifié de la littérature.

9.2.2.1 Algorithme

Soit $G = V \times E$ un graphe représentant un réseau hydraulique, où V représente l'ensemble des nœuds du réseau v_i et E représente l'ensemble des arcs de liaison entre les nœuds.

$\forall V' \subset V$, on note $G|V'$ le sous-graphe de G induit par les nœuds de V' .

$$G|V' = V' \times \{(v'_1, v'_2) | v'_1, v'_2 \in V' \text{ et } (v'_1, v'_2) \in E\} \quad (9)$$

Soit n_s le nombre de sources présentes dans le réseau et n le nombre de nœuds dans le réseau.

Pour chaque source S_i , notons G_i le sous graphe de G où seulement la source S_i est active.

$$G_i = G \left\{ V - \cup_{j \neq i} \{S_j\} \right\} \quad (10)$$

Pour chaque nœud v dans $V - \cup_{1 \leq i \leq n_s} \{S_i\}$ (l'ensemble des nœuds du réseau qui ne sont pas des sources), notons $p_i(v)$, la pression du nœud v dans G_i quand seulement S_i est active.

Pour chaque source S_i , on définit sa zone d'influence Z_i telle que :

$$Z_i = \{v \in V | \forall x, y \in Z_i \ x \rightarrow_{G|Z_i} y \text{ et } p_i(v) \geq P_{seuil}\} \quad (11)$$

Autrement dit $G|Z_i$ est un sous graphe connexe de G , où la pression de chaque nœud de Z_i dépasse le seuil prédéfini P_{seuil} quand seulement la source S_i est active.

Pour définir les zones d'influence Z_i pour chaque source S_i , on commence par exécuter une simulation hydraulique de 24h, selon un modèle dépendant de la pression, en enlevant du réseau

toutes les sources sauf S_i et en notant pour chaque nœud, les pressions obtenues.

Pour chaque source S_i , on note $p_{moy}(S_i)$ la pression moyenne des nœuds de G quand seulement S_i est active¹²⁴.

$$p_{moy}(S_i) = \frac{\sum_{v \in V} p_i(v)}{\#V} \quad (12)$$

Sans perte de généralité, quitte à réordonner les sources, on suppose que :

$$(p_{moy}(S_i))_{1 \leq i \leq n_s} \text{ est une suite croissante.}$$

On fixe $P_{seuil} = \min(p_n(v))_{v \in V}$ la pression minimale des nœuds quand seulement la source dominante S_n est active.

Soit $A = V$, l'ensemble des nœuds en attente d'être attribués à une zone d'influence.

Initialement chaque zone Z_i est vide. (13)

A chaque itération :

Pour chaque $a \in A$

— Soit $S_{cand}(a)$ l'ensemble des sources candidates qui peuvent accueillir a dans leur zone d'influence définie par :

$$S_{cand}(a) = \{S_i | p_i(a) \geq P_{seuil}\} \quad (14)$$

— $\forall S \in S_{cand}(a)$, soit $cand_{proche}(a)$, la source la plus proche de a en termes de nombre de liaisons.

$$Z_{cand_proche(a)} \leftarrow a \text{ (Operation d'ajout de } a \text{ dans } Z_{cand_proche(a)})$$

$$A \leftarrow A - a \text{ (Operation de retrait de } a \text{ de l'ensemble } A)$$

124. $\#V$ désigne le cardinal de V , qui correspond au nombre d'éléments de V , i.e le nombre de nœuds de G quand seulement S_i est active.

Si A est non vide ou $\exists 1 \leq i \leq n$, Z_i est non connexe :

- $P_{seuil} = P_{pas}$ (Constante prédéfinie)
- Recommencer depuis (13)

La Figure 9.3 illustre le schéma bloc de l'algorithme développé.

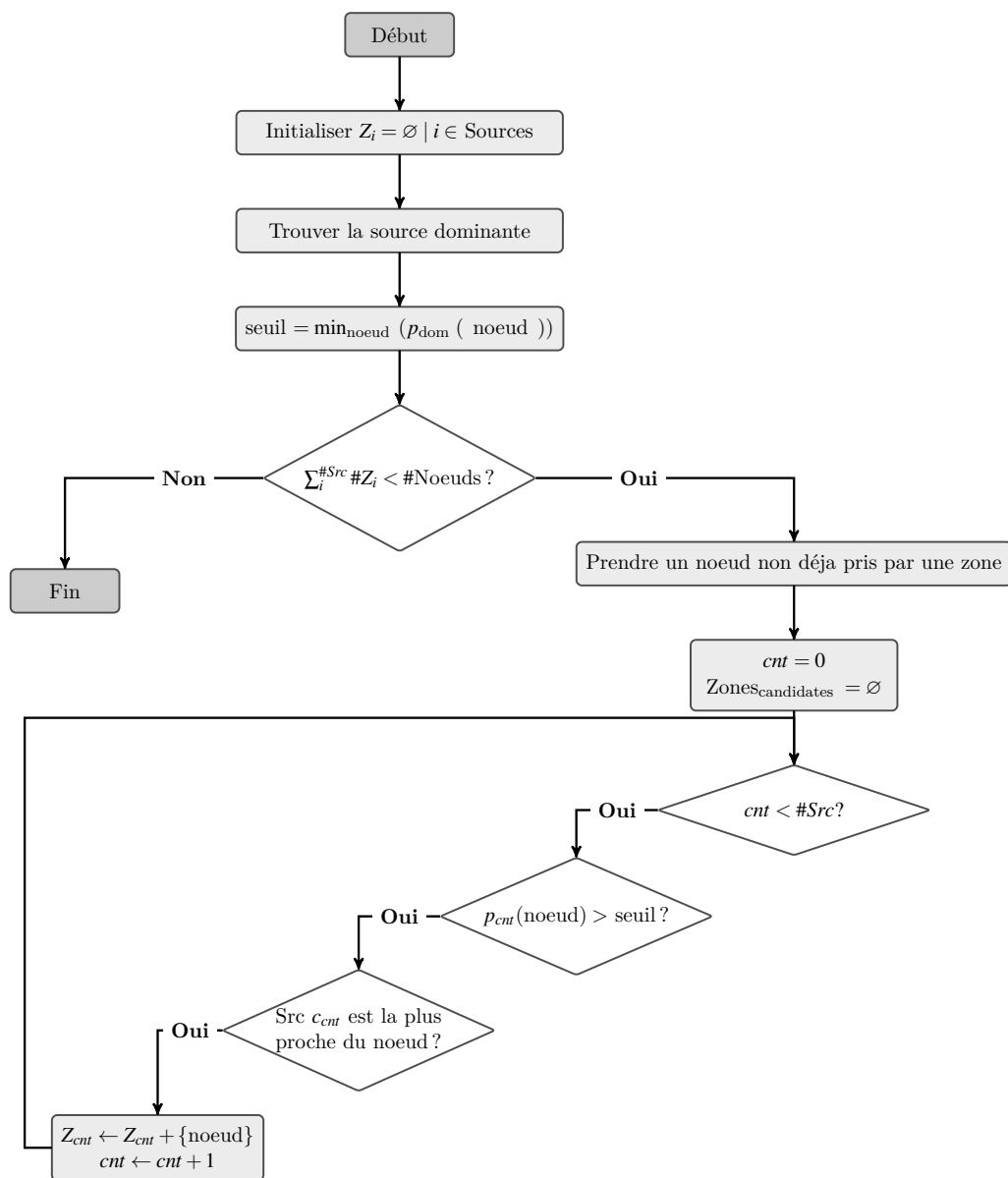


FIGURE 9.3 – logigramme zones d'influence
Source : élaboration propre

9.2.2.2 Simulation

En utilisant une modélisation dépendante de la pression basée sur le moteur de calcul d'EPANET¹²⁵, nous avons testé notre algorithme sur un réseau de la littérature (Net3, que nous avons adapté, en enlevant les sources infinies, afin de créer une situation de manque). Ce réseau comporte 3 sources, 92 nœuds et 116 conduites. Le résultat obtenu suite aux simulations réalisées dans le cadre de notre algorithme permet de définir pour chacune des 3 sources une zone déterminée par une pression moyenne plus avantageuse pour les nœuds rattachés à la source en question, nous marquons chacune des zones obtenues d'une couleur différente; zone 1 en noir, zone 2 en vert et zone 3 en bleu (Figure 9.4).

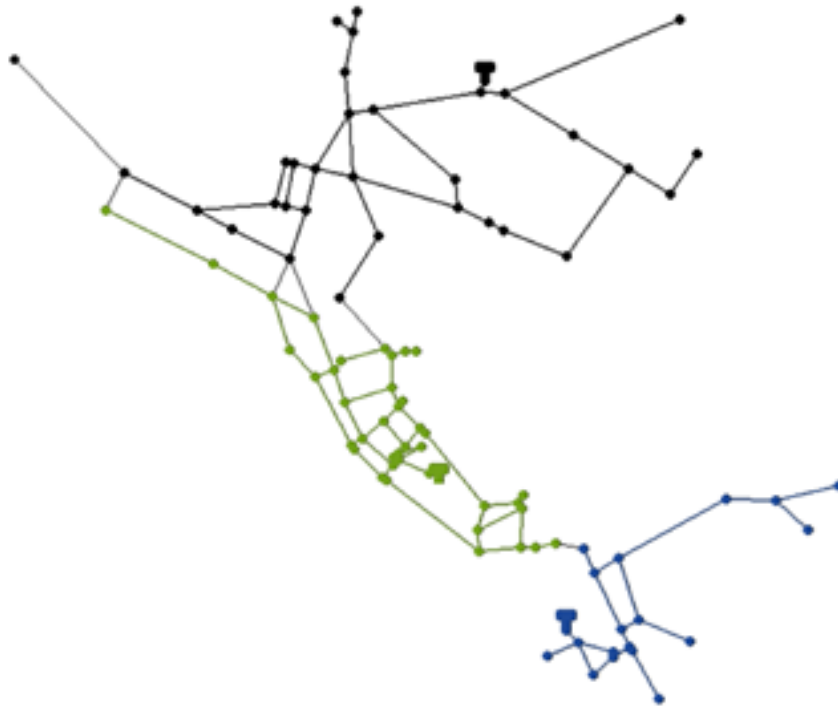


FIGURE 9.4 – Réseau réparti en zones d'influence
Source : élaboration propre

Cette répartition en zones nécessiterait opérationnellement l'installation de 5 vannes sur le

125. Nous utilisons ici une simulation par appel à Epanettools, développé par Assela Pathirana, (disponible sur <https://pypi.org/project/EPANETTOOLS/>) qui prend en compte depuis la version 0.5.0.1 le moteur epanet-emitter permettant une analyse dépendante de la pression (<http://assela.pathirana.net/EPANET-Emitter>). Dans une approche frugale de la modélisation, cette simulation est possible si les nœuds simulés sont représentatifs de l'échelle d'information que nous sommes capable d'obtenir. Dans le cas de Annaba par exemple, l'information disponible était au niveau du quartier, un nœud représenterait alors un quartier, dans lequel on rapatrie une demande équivalente volumiquement correspondante à celle de tous les habitants du quartier.

réseau (Figure 9.6).

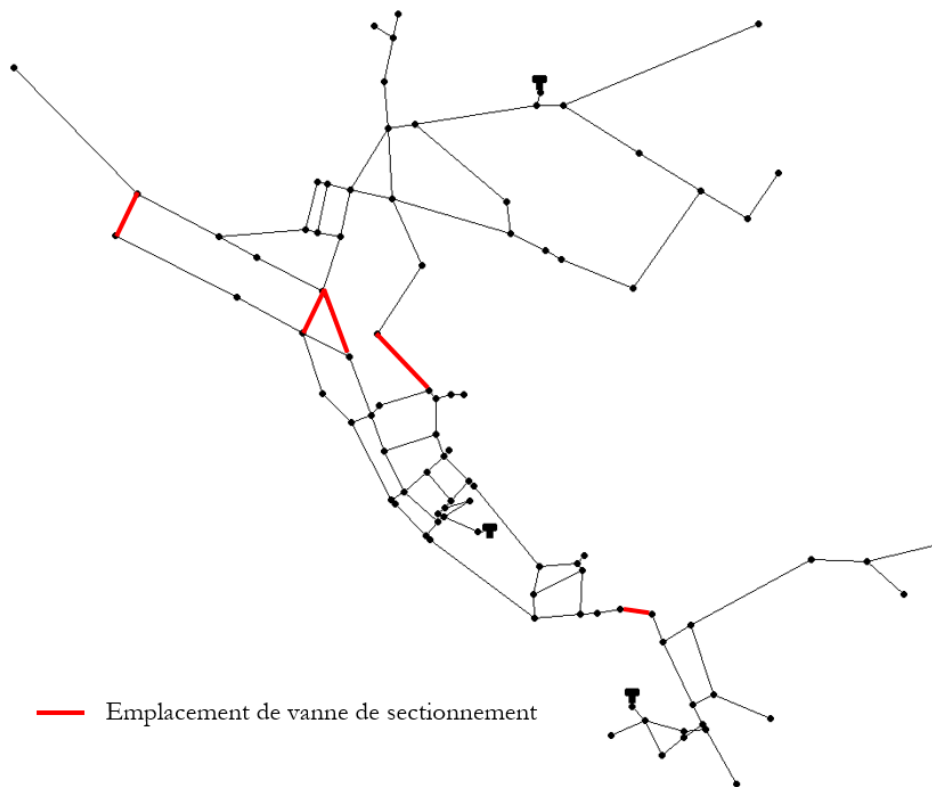


FIGURE 9.5 – Réseau réparti en zones d'influence
Source : élaboration propre

Les pressions aux zones obtenues sont significativement plus importantes pour tous les noeuds de chacune des zones (Figure 9.6).

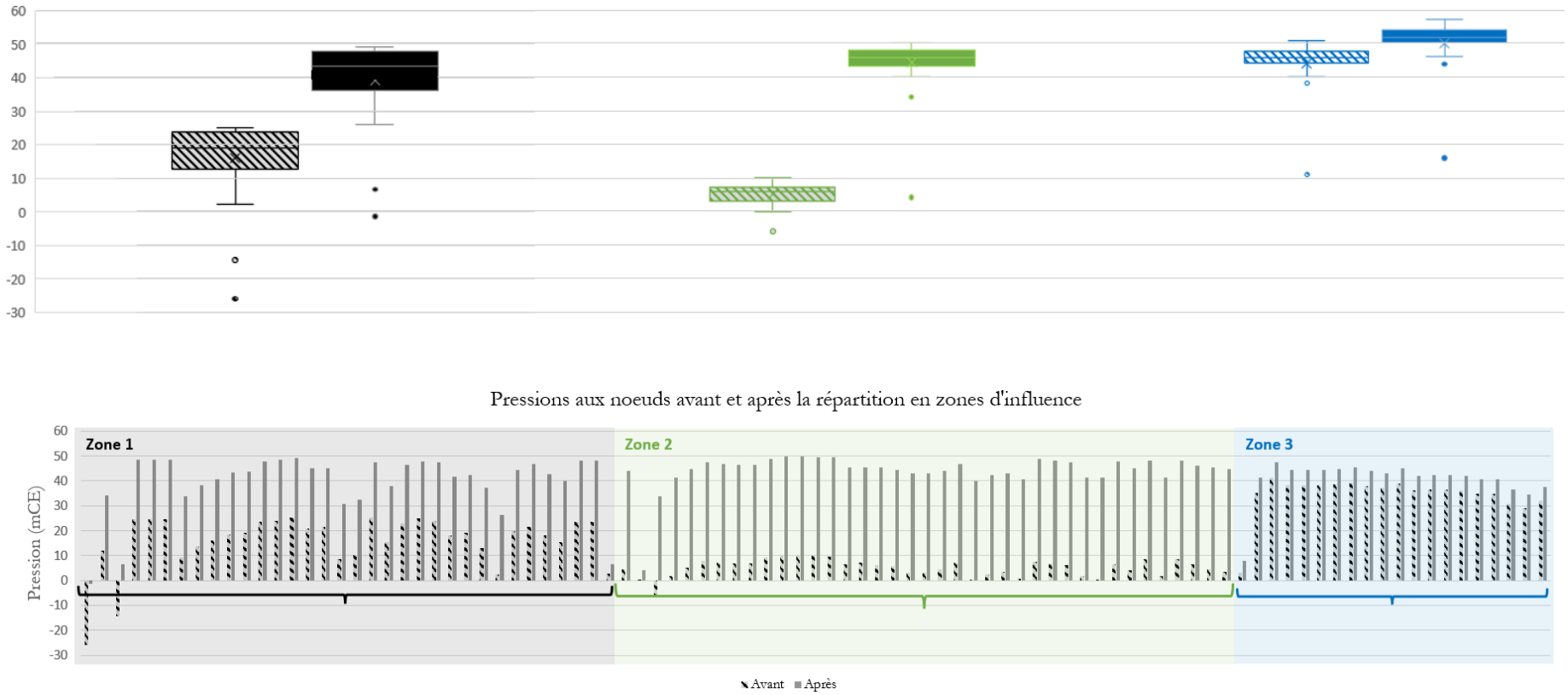


FIGURE 9.6 – Evolution de la pression aux noeuds dans les 3 zones d'influence définies par simulation
 Source : élaboration propre

9.2.3 Transferts volumiques : Equilibrage des volumes entre les réservoirs

L'étape précédente a permis de définir des zones d'influence des sources, qui garantissent la meilleure pression aux noeuds affectés à chaque zone. Une fois que cette affectation est terminée, nous évaluons les quantités d'eau reçues par les usagers dans ces zones. Si la situation apparaît globalement déséquilibrée, nous prévoyons des transferts d'eau entre les réservoirs-sources, pour chacune des zones. Nous détaillons dans la suite la méthode proposée pour optimiser cette opération d'équilibrage.

Nous considérons un réseau d'alimentation en eau donné et un pas temporel égal à une journée $\Delta T = 24h$.

Soient S_i les n Sources qui alimentent ce réseau, avec chacune une capacité d'alimentation journalière C_i ¹²⁶.

$$C_i = \min(Q_{journalier,S_i} \times 24h, V_{Stockage,S_i}) \quad (15)$$

Soit $VLAR$ ¹²⁷ le volume global livré au réseau

$$VLAR = \sum_{i=1}^n C_i \quad (16)$$

Soit Z_i la zone du réseau alimentée par la source S_i . Nous supposons, en première étape de notre analyse volumique, que les zones Z_i sont hydrauliquement étanches¹²⁸. L'objectif dans la suite est de pouvoir réaliser des transferts d'eau entre ces zones, pour équilibrer les quantités journalières attribuées aux usagers.

La demande en eau effective D_i de la zone Z_i est la somme des demandes individuelles des

126. Nous considérons que la capacité journalière de la source se rapporte au minimum entre le débit journalier sur 24h ($Q_{journalier,S_i}$), et le volume de stockage du réservoir ($V_{Stockage,S_i}$). Ces deux valeurs se rapportent à un volume journalier. Nous assimilons dans la suite du manuscrit les débits journaliers à des volumes (en multipliant par le pas de 24h)

127. $VLAR$ est la notation usuelle utilisée dans les rapports aux délégataires produits chaque année par les opérateurs, pour signifier les volumes livrés au réseau. Nous gardons cette notation pour la cohérence.

128. L'étanchéité est ici assurée par l'installation des vannes de section aux emplacements définis par l'étape précédente. Le transfert ultérieur se fera en ouvrant ces vannes.

p_i usagers de la zone $\sum_{j=1}^{p_i} d_{j,i}$ à laquelle on ajoute le volume des pertes en eau de la zone : $V_{pertes,i} = (1 - \eta_i) \times C_i$, avec η_i le rendement réseau de Z_i .

$$D_i = \sum_{j=1}^{p_i} d_{j,i} + (1 - \eta_i) \times C_i \quad (17)$$

— Si $VLAR \geq \sum_{i=1}^n D_i$ ($\sum_{i=1}^n \eta_i C_i \geq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{p_i} d_{j,i}$) :

La ressource disponible est supérieure à la demande effective. Deux cas de figures se présentent :

- a. Si pour toutes les zones $Z_{i \in [1,n]}$: $\eta_i C_i \geq \sum_{j=1}^{p_i} d_{j,i}$. Alors les zones d'alimentation n'ont pas de problème de ressources. Une alimentation H24 est quantitativement possible.
- b. Sinon, le réseau peut être alimenté en approvisionnement continu si les transferts sont correctement établis entre les différentes zones, pour répartir équitablement la ressource entre l'ensemble des zones Z_i . (Ce cas se rapporte dans sa résolution à la situation décrite dans la suite, en prenant $\delta_{j,i} = 0$)

— Sinon ($VLAR < \sum_{i=1}^n D_i$) : Cas général de l'alimentation en intermittence à pénurie de ressource.

Dans le dernier cas de figure, nous avons moins de ressources que la demande effective globale, l'objectif est alors de répartir équitablement la ressource disponible entre l'ensemble des zones Z_i , en répondant au maximum à la demande effective.

La réponse à la demande effective d'une zone Z_i sera à hauteur d'un pourcentage $\alpha_i \in [0, 1]$, qu'on appellera ratio d'approvisionnement de la zone Z_i , et qui est le rapport entre la quantité d'eau livrée et la demande au nœud.

Afin de tenir compte des moyens d'acquisition alternatifs de la ressource, nous considérons un coefficient $\delta_{j,i} \in [0, 1]$ de taux de réponse à la demande $d_{j,i}$ par moyen alternatif pour un usager donné. La part de réponse à la demande $d_{j,i}$ par réseau est donc $1 - \delta_{j,i}$.

Le ratio d'approvisionnement de la zone Z_i est

$$\alpha_i = \frac{\eta_i C_i}{\sum_{j=1}^{p_i} (1 - \delta_{j,i}) d_{j,i}} \quad (18)$$

L'objectif d'équité de distribution est d'avoir une répartition équitable des ratios d'approvisionnements des usagers dans le réseau.

9.2.3.1 Objectif d'optimisation : équité de distribution

On considère le coefficient d'uniformité défini par Gottipati et Nanduri [Gottipati and Nanduri, 2014] :

$$UC = 1 - \frac{ADEV}{ASR} \quad (19)$$

Ce coefficient est défini pour estimer l'uniformité de réponse à la demande au niveau de tous les nœuds d'un réseau d'eau. En intégrant notre définition de la demande en eau effective (équation 17) à α_i (équation 18), nous incluons la réponse à la demande par mesures alternatives dans la définition du coefficient d'uniformité. Ce coefficient d'uniformité UC adapté, est ce qu'on prendra à maximiser comme fonction objectif dans la formulation de notre problème d'optimisation.

Avec :

$$\begin{aligned} ASR &= \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \\ DEV_i &= \alpha_i - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \\ ADEV &= \frac{\sum_{i=1}^n DEV_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \end{aligned} \quad (20)$$

Où :

— ASR : La moyenne des ratios d'approvisionnement de tous les nœuds du réseau.

— ADEV : La moyenne des déviations des ratios d’approvisionnements de chaque nœud par rapport au ASR.

Dans notre cas, nous assimilons une zone de consommation Z_i à un ensemble de nœuds.

La moyenne de ces ratios doit être pondérée par la population p_i alimentée au niveau de la zone Z_i .

$$\begin{aligned} ASR &= \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \\ DEV_i &= \alpha_i - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \\ ADEV &= \frac{\sum_{i=1}^n DEV_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \end{aligned} \quad (21)$$

Si la demande est exactement satisfaite à toutes les zones, alors les ratios d’approvisionnement seront de 1, et le coefficient d’uniformité également : $UC = 1$.

Dans notre configuration à pénurie de ressource, cette éventualité est écartée, à moins d’agir sur les ressources C_i , le rendement du réseau η_i , ou la part d’approvisionnement par moyens alternatifs $\delta_{j,i}$.

Lorsque ces éléments sont constants, la solution proposée est d’organiser des transferts de volumes d’eau entre les sources S_i , avec l’objectif de maximiser UC , en tenant compte des contraintes suivantes :

9.2.3.2 Contraintes d’optimisation

- a. *Contrainte sur l’alimentation de tous les usagers d’une zone d’approvisionnement :*

$$C_i^{min} \leq C_i \leq V_{Stockage, S_i} \quad (22)$$

C_i^{min} : est la quantité d’eau minimale nécessaire pour assurer un approvisionnement en eau (pression minimale) au niveau du point hydraulique le plus défavorable de la zone Z_i .

$$C_i^{min} = p_i \times lpcd_{min} \quad (23)$$

Où $lpcd_{min}$ est un seuil à définir ¹²⁹.

$V_{Stockage,S_i}$: est la capacité de stockage de la source S_i .

b. **Contrainte de la capacité de transfert :**

Pour une source donnée S_i , la contrainte sur le transfert d'eau entre S_i et S_j est la suivante :

$$0 \leq |T_{i,j}| \leq Q_{i,j}^{max} \quad (24)$$

La quantité d'eau transportée d'une source S_i à une source S_j est inférieure ou égale au débit journalier maximal transportable par la conduite de transfert équivalente entre ces sources.

Soit $Q_{i,j}$ le débit transitant par la conduite de transfert équivalente entre les sources S_i et S_j (on suppose ici que le transfert se fait de S_i à S_j). La perte de charge au niveau de la conduite est définie par l'approximation faite sur la base de la formule de Darcy-Weisbach / Hazen-Williams pour l'estimation des pertes de charges linéaires (on néglige les pertes de charges singulières au vu de la longueur des conduites et on considère le régime d'écoulement comme étant turbulent rugueux, ce qui est caractéristique des écoulements industriels.) :

$$J = \frac{8\lambda L_{eq}}{\pi^2 g D_{eq}^5} Q_{i,j}^2 \quad (25)$$

$$Q_{i,j} = 0.849 C A R_h^{0.63} \frac{J^{0.54}}{L_{eq}^{0.54}} \sim 0.0866 \pi C \frac{D_{eq}^{2.63}}{L_{eq}^{0.54}} J^{0.54}$$

129. Cette valeur est généralement fixée par la réglementation. En Inde par exemple, la consommation unitaire cible par habitant est fixée par le CPHEEO (*Central Public Health and Environmental Engineering Organisation*) à 135 litre par personne par jour (135 lpcd). Cette valeur est généralement reprise dans les clauses contractuelles de l'approvisionnement en eau entre opérateur et délégataire en Inde.

Cette perte de charge ne doit pas dépasser la différence de charge (de cote) entre la source S_i et la source S_j : $J \leq \Delta H_{i,j} = |H_i - H_j|$

D'où la condition sur le débit de transfert entre les deux sources :

$$Q_{i,j} \leq \sqrt{\frac{\Delta H_{i,j} \pi^2 g D_{eq}^5}{8 \lambda L_{eq}}} \text{ ou } Q_{i,j} \leq 0.0866 \pi C \frac{D_{eq}^{2.63}}{L_{eq}^{0.54}} J^{0.54} \quad (26)$$

$$Q_{i,j}^{max} = \sqrt{\frac{\Delta H_{i,j} \pi^2 g D_{eq}^5}{8 \lambda L_{eq}}} \text{ ou } Q_{i,j}^{max} = 0.0866 \pi C \frac{D_{eq}^{2.63}}{L_{eq}^{0.54}} J^{0.54}$$

Lorsqu'aucune possibilité de transfert n'est possible entre deux sources, $Q_{i,j}^{max} = T_{i,j} = 0$

c. *Contrainte sur la conservation de la masse :*

Nous partons d'une hypothèse à iso-ressources sans pertes, tous les transferts qui se font à partir d'une source ne peuvent donc pas dépasser la capacité maximale de cette ressource.

$$C_i^{max} = C_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n T_{i,j} (T_{i,j} \geq 0) \quad (27)$$

C_i^{max} : est la quantité d'eau détenue par la source S_i lorsqu'aucun transfert d'eau n'en sort. La conservation de la masse implique également qu'un volume sortant d'une source S_i pour alimenter une source S_j , est le même transfert entrant de S_j en provenance de S_i .

$$T_{i,j} = -T_{j,i} \quad (28)$$

9.2.3.3 Formulation du problème

L'allocation des ressources par transferts hydriques entre les sources/zones d'alimentation est un problème d'optimisation sous contraintes, avec :

— Fonction objectif : maximiser $UC = 1 - \frac{ADEV}{ASR}$

— Sous les contraintes :

- $C_i^{min} \leq C_i \leq V_{Stockage, S_i}$
- $0 \leq |T_{i,j}| \leq Q_{i,j}^{max}$
- $C_i^{max} = C_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n T_{i,j} (T_{i,j} \geq 0)$
- $T_{i,j} = -T_{j,i}$

Reformulation :

Maximiser : $UC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |a_i b_i C_i - b_i \sum_{i=1}^n a_i b_i C_i|}{\sum_{i=1}^n a_i b_i C_i}$ (avec $a_i = \frac{\eta_i}{\sum_{j=1}^n (1 - \delta_{j,i}) d_{j,i}}$ et $b_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$, constantes)

Sous les contraintes :

$$\begin{cases} 0 \leq \sum_{j=1 | j \neq i}^n T_{ij}(t) \leq C_i^{max} - C_i^{min} \\ 0 \leq T_{ij}(t) \leq Q_{i,j}^{max} \\ C_i^{max} = C_i(t) + \sum_{j=1 | j \neq i}^n T_{ij}(t) \end{cases}$$

Initialisation : à $t=0$, $C_i(0) = C_i^{max}$ et $\sum_{j=1 | j \neq i}^n T_{ij}(0) = 0$

Itération : $C_i(t+1) = C_i(t) + \sum_{j=1 | j \neq i}^n T_{ji}(t+1) - T_{ij}(t+1)$



$(n-1)^2$ variables de décision T_{ij}

Pour vérifier la contrainte d'égalité, on prend pour chaque i , un réservoir S_k tel que $Q_{i,k}^{max} \neq 0$, et l'optimisation est effectuée sur les restes des j , alors que :

$$T_{ik}(t) = C_i^{max} - C_i(t) - \sum_{j=1 | j \neq i, k}^n T_{ij}(t) \quad (29)$$

On réduit le problème à $(n-2)^2$ variables de décision. Les données nécessaires pour lancer cette optimisation sont celles citées dans le tableau suivant (Table 9.1).

TABLE 9.1 – Liste des données nécessaires pour la formulation du problème

| Elément du réseau | Données nécessaires |
|---|--|
|  | Capacité d'alimentation journalière : $C_i = \min(Q_{journalier, S_i}, V_{Stockage, S_i})$ Cote/charge : H_i |
|  | Population : p_i Demandes individuelles : $d_{j,i}$ Rendement : η_i Coefficient de réponse à la demande par moyens alternatifs : $\delta_{(j,i)}$ Dotation individuelle minimale : $lpcd_{min}$ |
| Conduite Equivalente | Diamètre équivalent : D_{eq} Longueur équivalente : L_{eq} Rugosité équivalente : ϵ_{eq} ou coefficient de Hazen-Williams équivalent : C |

9.2.3.4 Optimisation

Le problème étudié peut être assimilé à un problème d'allocation de ressources, où on essaie d'équilibrer l'approvisionnement en eau pour chaque nœud du réseau en fonction de sa demande. Il s'inscrit dans le cadre de problèmes d'optimisation non linéaire discrète, où on doit trouver une configuration optimale de chaque nœud et arc du réseau. Une configuration du réseau comprend à la fois une répartition des nœuds en zones d'influence, un transfert d'eau entre les zones ainsi qu'une sectorisation de chaque zone en secteurs isolés par des vannes permettant l'allocation de la ressource. Cependant, le nombre de possibilités croît de manière exponentielle en fonction de la taille du réseau et un algorithme d'optimisation rapide et efficace est nécessaire.

Ainsi, une méthode exacte qui explore le domaine de recherche de manière exhaustive est inappropriée. Nous avons donc opté pour des méthodes approchées qui trouvent des solutions suboptimales mais qui garantissent un temps d'exécution raisonnable.

Parmi ces méthodes, on peut citer trois grandes familles d'approches : l'optimisation adaptative, l'optimisation évolutionnaire et l'optimisation à base d'essaims.

L'optimisation adaptative est basée sur la définition d'une stratégie pour améliorer à chaque itération la solution courante en cherchant dans son voisinage une meilleure solution selon des règles prédéfinies. Parmi ces méthodes, on peut citer les méthodes à base de gradient ou celles

à base de programmation dynamique. Ayant des bases théoriques solides, cette catégorie d'approche garantit la convergence vers une solution optimale. Cependant, elle dépend fortement des conditions initiales et du pas de recherche, ce qui peut mener à un blocage au voisinage d'un optimum local.

Les algorithmes d'optimisation évolutionnaires quant à eux, s'inspirent de la façon dont les systèmes vivants arrivent à résoudre des problèmes complexes en se basant sur le principe de « survie du plus fort ». En d'autres termes plusieurs solutions candidates sont maintenues au fil des itérations, celles qui démontrent une meilleure performance persistent, tandis que celles ayant une performance médiocre périssent, remplacées par d'autres qui héritent de propriétés de la population survivante. Ce processus d'évolution de population est maintenu jusqu'à l'obtention d'une solution satisfaisante. Les approches évolutionnaires ont montré un grand succès dans la résolution des problèmes complexes dans diverses applications telles que les prises de décision économiques, la conception de réseau de transport optimal ou la mise en œuvre d'une stratégie énergétique efficace dans un réseau électrique. Leur succès est généralement dû à leur grande flexibilité sans imposer aucune contrainte sur le problème concerné.

Finalement, l'optimisation à base d'essaims de particules essaie d'imiter la capacité des êtres vivants à résoudre des problèmes complexes qui ne peuvent être résolus individuellement, mais qui deviennent plus faciles en exploitant le travail collectif du groupe. Particulièrement, ces algorithmes ont initialement trouvé leurs sources d'inspiration chez les familles d'insectes, démontrant une intelligence collective fascinante basée sur la coordination d'actions individuelles très simples. Comme résultat, les fourmis peuvent transporter des proies qui dépassent de loin la capacité d'une seule fourmi [Kube and Bonabeau, 2000], les guêpes combinent leurs efforts pour réguler la température de leur nid [Höcherl et al., 2016] et les termites construisent des architectures complexes en unissant leurs forces [Korb, 2010]. Plusieurs chercheurs ont ainsi essayé d'imiter l'intelligence collective de ces sociétés afin de résoudre des problèmes divers. Ceci a donné naissance à plusieurs algorithmes s'inspirant de la nature tels que colonie d'abeilles artificielles, colonie de fourmis artificielles ou essaims de particules.

Pour notre choix d'algorithme d'optimisation, nous avons opté pour l'analyse de deux mé-

thodes, l'une évolutionnaire et l'autre basée sur l'essaim de particules. Nous avons exclu les méthodes adaptatives vu leur tendance à se confiner au voisinage d'optimums locaux.

Dans la suite du chapitre, nous présentons les algorithmes développés à base d'essaim de particules (PSO) et méthodes évolutionnaires (algorithme génétique) pour la résolution de nos problèmes d'allocation.

a. Optimisation par algorithme PSO

PSO est un algorithme évolutionnaire qui s'inspire du comportement de groupes d'animaux pour effectuer des tâches de manière optimale, tel que trouver le chemin le plus court pour atteindre une destination, ou décider du site disposant des ressources de plus haute valeur énergétique.

PSO est basé sur l'évolution d'une population de particules qui, initialisée de manière aléatoire dans le domaine de recherche, essaie au long des itérations, de mettre à jour la population en fonction des résultats de recherche des populations précédentes, afin de trouver des valeurs plus optimales.

Contrairement aux algorithmes génétiques, classiquement utilisés dans différents problèmes d'optimisation, PSO est un algorithme basé sur des mémoires et communications entre particules. Chaque particule mémorise son optimum local qu'elle a trouvé dans une itération précédente et les particules communiquent entre elles les différents optimums qu'elles ont trouvés. Ainsi, chaque particule a une idée de l'optimum global trouvé jusqu'à présent.

L'étape qui suit consiste à diriger la particule vers une direction qui l'oriente à la fois à proximité de son optimum local et de l'optimum global, sans trop dévier de sa vitesse intrinsèque.

Chaque fois qu'une particule trouve un nouvel optimum local, ou global, elle modifie la direction de son vecteur de déplacement afin de chercher à proximité de ses nouveaux optimums.

Parmi les avantages de PSO par rapport à d'autres algorithmes d'optimisation, on peut citer sa rapidité de convergence ainsi que le peu de paramètres à ajuster.

Dans de nombreuses expériences, PSO a démontré sa capacité à trouver un optimum très proche de l'optimum réel, ce qui a motivé notre choix pour cette méthode d'optimisation.

i. *Implémentation*

Soit $R = V \times E$ un réseau hydraulique comportant n sources S_i avec V les nœuds du réseaux et E ses arcs.

Pour chacune de ces sources, nous notons Z_i , la zone du réseau effectivement alimentée par la source S_i (pratiquement, si nous sommes sur une application de la stratégie globale, Z_i serait la zone d'influence de S_i définie par notre premier algorithme).

Dans le cas où une alimentation H24 est impossible, nous cherchons à déterminer les différents transferts entre sources afin de répartir équitablement la ressource entre l'ensemble des zones Z_i . On notera par la suite $T_{i \rightarrow j}$ un transfert allant de la source S_i vers la source S_j .

Nous cherchons à maximiser le coefficient d'uniformité adapté UC défini auparavant, dans le domaine de recherche $T_{i \rightarrow j} \leq Q_{ij,max}$, où $Q_{ij,max}$ est le volume maximal qu'on peut transférer de la source S_i vers la source S_j .

Pour ce faire, on initialise aléatoirement m particules. Chaque particule est représentée sous la forme d'une matrice $(T_{i \rightarrow j})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n}$ qui représente des transferts à effectuer de chaque source S_i vers chaque source S_j .

Pour chaque matrice de transferts, nous calculons le coefficient d'uniformité UC obtenu si on applique les transferts prescrits par la particule.

Chaque particule k mémorise son propre maximum (plus précisément les transferts qui ont abouti à un UC maximum) qu'elle a trouvé dans les itérations précédentes qu'on note T_k^{max} , ainsi que les transferts qui ont donné lieu à un UC maximum global

trouvé par une particule quelconque parmi celles de l'essaim, qu'on notera T^{max} .

A chaque itération i , toute particule k se trouve dans une position T_k^i représentant les derniers transferts entre sources qu'elle vient de tester.

D'une itération $i - 1$ vers l'itération suivante i , chaque particule se déplace d'une position T_k^{i-1} vers une position T_k^i qu'on désignera par vecteur de déplacement intrinsèque.

$$v_i^{intr}(k) = v_{i-1 \rightarrow i}(k) = T_k^i - T_k^{i-1} \quad (30)$$

On définit aussi le vecteur déplacement vers l'optimum local $v_{i \rightarrow loc}(k)$ et vecteur déplacement vers optimum global $v_{i \rightarrow max}(k)$

$$v_{i \rightarrow loc}(k) = T_k^{max} - T_k^i \quad (31)$$

$$v_{i \rightarrow max}(k) = T^{max} - T_k^i \quad (32)$$

Notre algorithme d'optimisation PSO, repose sur la définition d'une façon de se déplacer dans le domaine de recherche afin d'améliorer nos chances de trouver un meilleur optimum.

Pour ce faire nous redirigeons à chaque itération le vecteur de déplacement de chaque particule pour qu'elle puisse chercher à proximité de l'optimum global, ainsi que son optimum local et essayer de garder sa vitesse précédente pour éviter de se bloquer dans le cas d'un optimum local.

Notre équation de mise à jour du vecteur de déplacement de chaque particule est donc comme suit :

$$v_{i \rightarrow i+1}(k) = \alpha \cdot v_i^{intr}(k) + \beta \cdot v_{i \rightarrow loc}(k) + \gamma \cdot v_{i \rightarrow max}(k) \quad (33)$$

Avec α , β et γ des constantes pour équilibrer la recherche.

Comme L'équation 33 est non bornée, nous adoptons une méthode de régularisation pour empêcher le vecteur de déplacement de sortir du domaine de recherche. Pour ce faire, nous n'appliquons le vecteur vitesse que si la position où la particule va atterrir est dans le domaine de recherche.

Dans le cas contraire, nous inversons le vecteur vitesse et son amplitude est divisée par deux.

Et si au bout de 20 itérations, aucun nouvel optimum global n'est observé, nous repositionnons de manière aléatoire chaque particule dans le domaine de recherche et nous divisons par deux les coefficients β et γ (l'idée derrière cette régularisation est qu'en minimisant les poids des optimums locaux et globaux, les particules ont moins de chance de se trouver emprisonnées dans une région restreinte autour de ces optimums).

Au bout de 100 itérations, si aucun nouvel optimum global n'est observé, chaque particule est repositionnée de façon aléatoire dans le domaine de recherche et réinitialisée avec un nouveau vecteur vitesse intrinsèque. Il est à noter que les optimums locaux et globaux sont gardés en mémoire, et que cette régularisation n'a pour objectif que de minimiser l'impact d'une mauvaise initialisation.

La Figure 9.7 représente le schéma bloc de l'algorithme PSO.

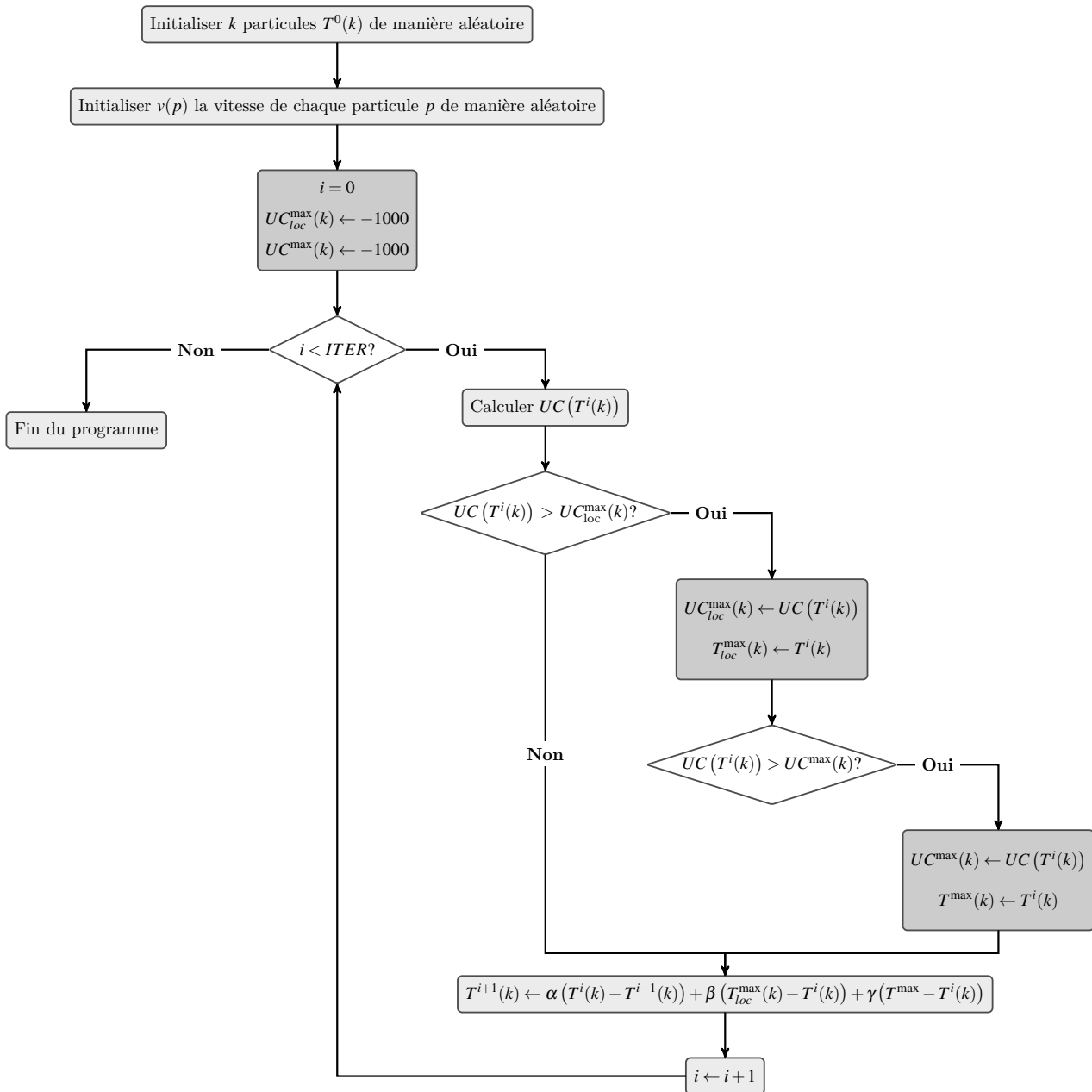


FIGURE 9.7 – Logigramme Optimisation PSO
Source : élaboration propre

ii. Simulation

Nous avons testé notre algorithme sur un ensemble de 100 expériences sur le même réseau précédent, en variant pour chaque expérience les capacités minimales et maximales de chaque source, ainsi que les paramètres a et b nécessaires au calcul de UC . (Rappel : $a = (a_i)$ et $b = (b_i)$ avec $a_i = \frac{\eta_i}{\sum_{j=1}^n (1 - \delta_{j,i}) d_{j,i}}$ et $b_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$ et i est le numéro de la zone d'influence). Ces valeurs dépendent de la répartition de la population (p_i), du rendement du réseau (η_i) et de la réponse à la demande par moyens alternatifs

($\delta_{j,i}$). Des exemples de résultats d'optimisation pour différentes valeurs de δ pour les trois zones sont présentés en Annexe 11).

Le tableau ci-dessous résume l'intervalle utilisé pour configurer ces paramètres :

TABLE 9.2 – *Intervalle d'initialisation des paramètres*

| Paramètre | Valeur minimale | Valeur maximale |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| Capacité minimale (m^3) | 0 | 10 |
| Capacité maximale (m^3) | 20 | 40 |
| a_i | 0.2 | 1 |
| b_i | 0.2 | 1 |

Dans chaque expérience nous utilisons une population de 100 particules qui effectue une recherche sur 1000 itérations.

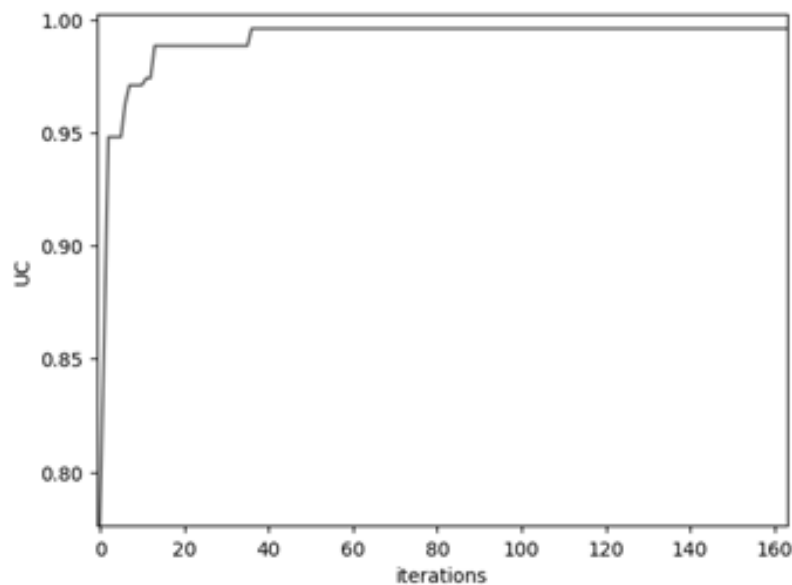


FIGURE 9.8 – *Résultat d'une expérience PSO*
Source : élaboration propre

La Figure 9.8 représente l'évolution de recherche des 100 particules dans l'une des expériences.

Nous remarquons la rapidité de convergence de notre algorithme. Après seulement 40 itérations, il a atteint un optimum de 98%.

Nous avons également calculé la moyenne des optimums trouvés par itération sur les 100 expériences effectuées (Figure 9.9)

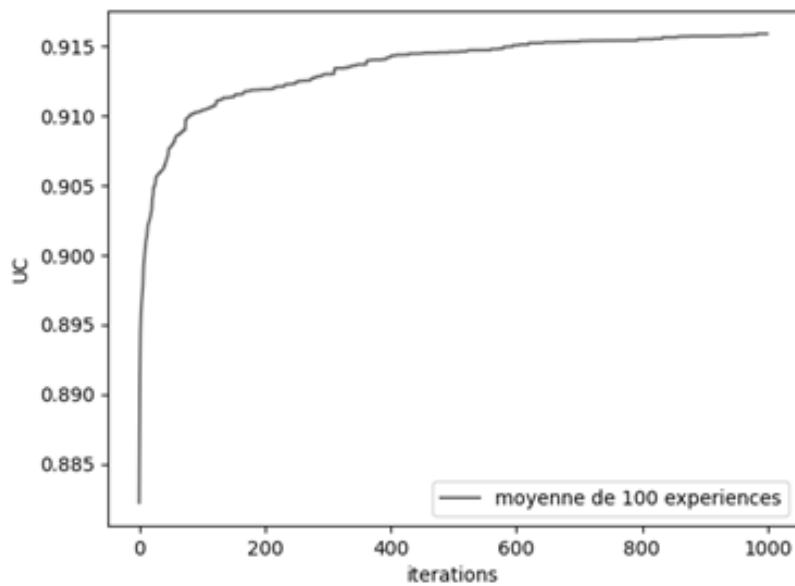


FIGURE 9.9 – *Moyenne de UC sur 100 expériences de l’algorithme PSO*
Source : élaboration propre

Nous observons qu’en moyenne notre algorithme atteint une performance entre 88% et 91%.

Et pour avoir une idée plus claire sur le nombre d’expériences qui ont abouti à de bons résultats, nous avons tracé un histogramme qui visualise le nombre d’expériences qui ont atteint un optimum dans un intervalle donné (Figure 9.10).

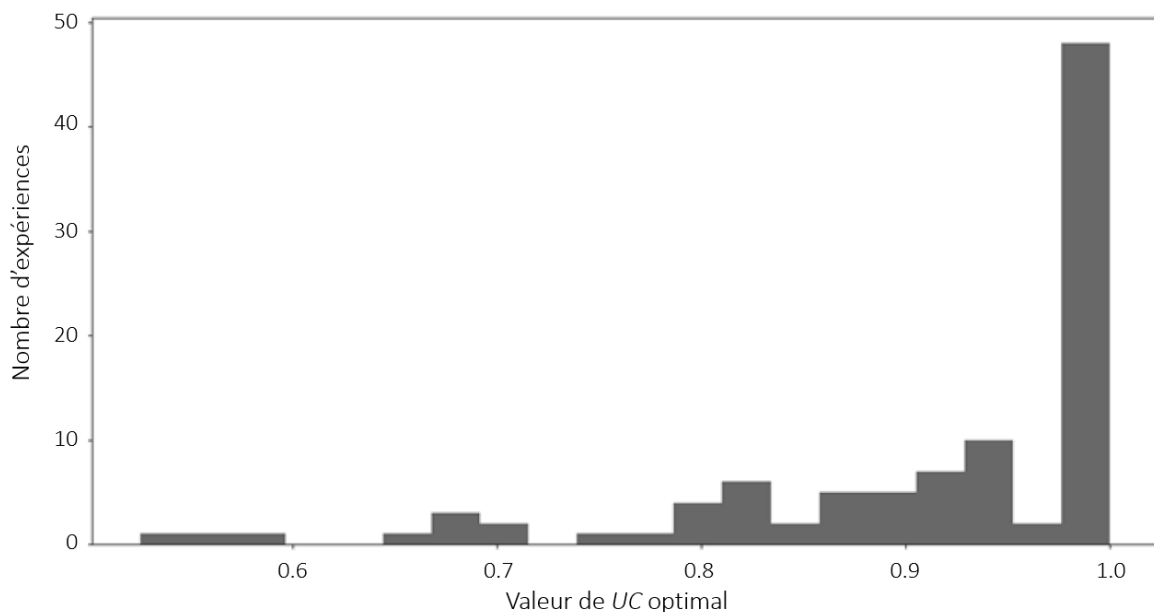


FIGURE 9.10 – *Histogramme de 100 expériences PSO*
Source : élaboration propre

Nous constatons que près de 70% des expériences ont abouti à un *UC* optimal dépassant 90% et que 87% ont donné un *UC* optimal dépassant les 80%.

b. Optimisation par Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques sont des méthodes métaheuristiques, largement utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes. Ils s'inspirent de principes d'évolution biologique des espèces vivantes, où la population qui survit est celle qui sait s'adapter aux différentes conditions qu'elle croise à travers une succession de mutations et d'accouplements avec ses pairs. Ainsi, les espèces fortes persistent, tandis que les faibles espèces disparaissent [Holland, 1973].

La Figure 9.11 illustre les différentes étapes d'un algorithme génétique.

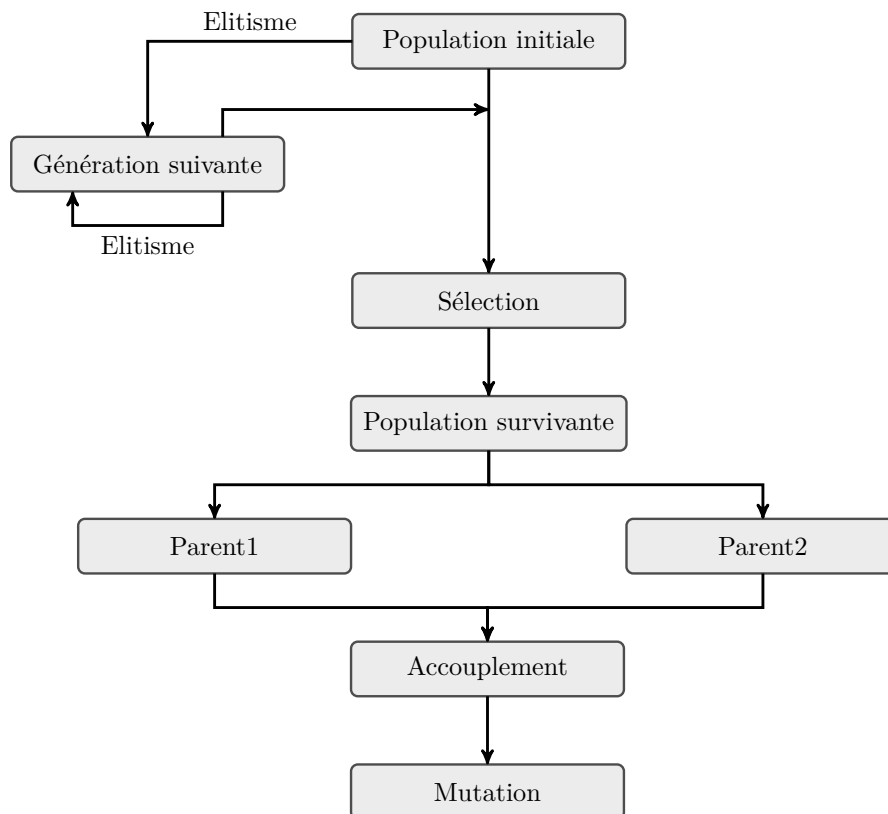


FIGURE 9.11 – Schéma de principe de l'algorithme génétique
Schéma élaboré à partir du principe décrit par John Holland [Holland, 1973]

En première étape, une population de k individus est initialisée de manière aléatoire.

Chaque individu est composé de n gènes qui correspondent aux variables qu'on souhaite optimiser.

La population est évaluée à l'aide d'une fonction objectif à chaque itération. Les individus qui obtiennent de bons résultats ont plus de chances d'être sélectionnés pour passer à l'itération suivante, tandis que ceux qui obtiennent de mauvais résultats sont remplacés. De nouveaux individus sont créés en accouplant les individus performants et en combinant leurs informations génétiques. Enfin, des changements génétiques aléatoires, appelés mutations, sont introduits dans la population.

i. *Implémentation*

Soit n le nombre de sources dans un réseau hydraulique.

On initialise aléatoirement m individus. Chaque individu est représenté sous la forme d'une matrice $(T_{i \rightarrow j})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n}$. Les $T_{i \rightarrow j}$ sont assimilés à des gènes dans notre algorithme génétique.

Soit $\delta = (\omega_{i \rightarrow j})_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n}$ une matrice de variables aléatoires réelles qui prennent des valeurs binaires (0 ou 1).

Pour chaque paire d'individus T^1 et T^2 , on définit l'opération *Accouplement* (T^1, T^2, δ) telle que :

$\forall 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n :$

- Si $\omega_{i \rightarrow j} = 0$: *Accouplement* $(T^1, T^2, \delta)_{i \rightarrow j} = T^1_{i \rightarrow j}$
- Sinon : *Accouplement* $(T^1, T^2, \delta)_{i \rightarrow j} = T^2_{i \rightarrow j}$

Pour chaque individu T on définit aussi l'opération *Mutation* (T, δ) telle que : $\forall 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n :$

- Si $\omega_{i \rightarrow j} = 0$ *Mutation* $(T, \delta)_{i \rightarrow j} = T_{i \rightarrow j}$
- Sinon : *Mutation* $(T, \delta)_{i \rightarrow j} = \gamma * T^{\max}_{i \rightarrow j}$

Avec γ une variable aléatoire qui prend des valeurs entre 0 et 1.

Pour chaque individu k , on note $fitness(k) = UC(k)$ le score qu'il obtient.

On note $pop(i)$, la population obtenue lors de l'itération i .

A chaque itération i , on effectue les opérations ci-dessous :

1. Sélection

- Soit $Reord_i$, un réordonnement croissant de $pop(i)$ selon la valeur *fitness* des individus.

Autrement dit $\forall k < l : fitness(Reord_i(k)) \leq fitness(Reord_i(l))$

- Initialiser $pop(i+1)$ par l'ensemble vide
- $\forall k > \frac{m}{2} : pop(i+1) \leftarrow Reord_i(k)$

Autrement dit la moitié de la population ayant obtenu une performance supérieure va passer vers la génération suivante

2. Accouplement

- Soit pop_{surv}^i , la population survivante qui est passée de l'itération i vers l'itération $i+1$
- $\forall j \leq \frac{m}{4} : pop(i+1) \leftarrow Accouplement(pop_{surv}^i(2j), pop_{surv}^i(2j+1), \delta)$

3. Mutation et élitisme

$\forall T \in pop(i+1) :$

Si $T \notin \{Reord_i(k) | m-10 \leq k\} : T = Mutation(T, \delta)$

ii. Simulation

En utilisant la même configuration que celle utilisée pour l'algorithme PSO, nous avons testé l'algorithme génétique sur un ensemble de 100 expériences qui durent 1000 itérations chacune.

La Figure 9.12 représente la moyenne des performances de l'ensemble des expériences.

Nous observons qu'en moyenne l'algorithme génétique atteint une performance de 99% qui est pour notre exemple supérieure à la performance obtenue par PSO.

Nous avons également tracé un histogramme (Figure 9.13) illustrant le nombre d'expériences réussies.

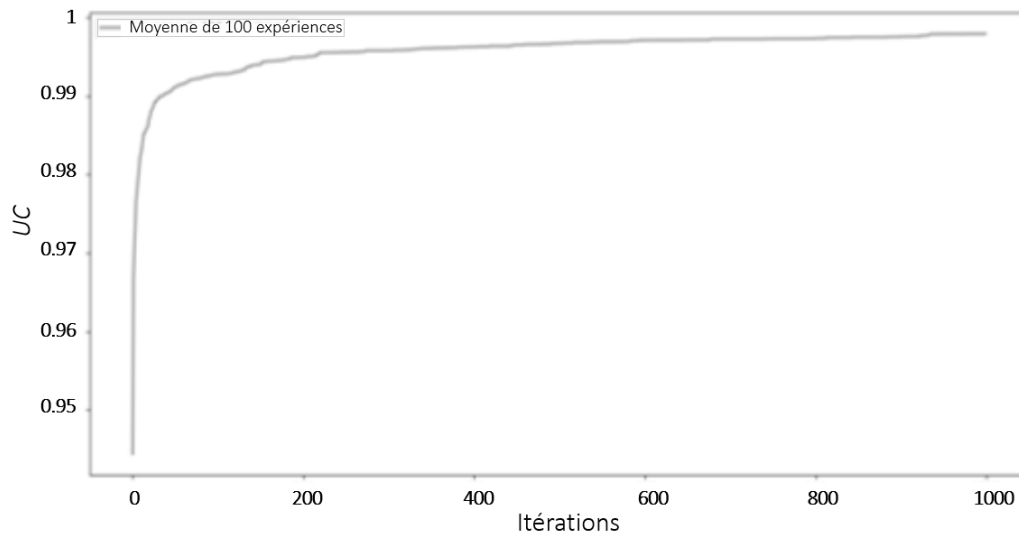


FIGURE 9.12 – Moyenne de UC sur 100 expériences de l'algorithme génétique
Source : élaboration propre

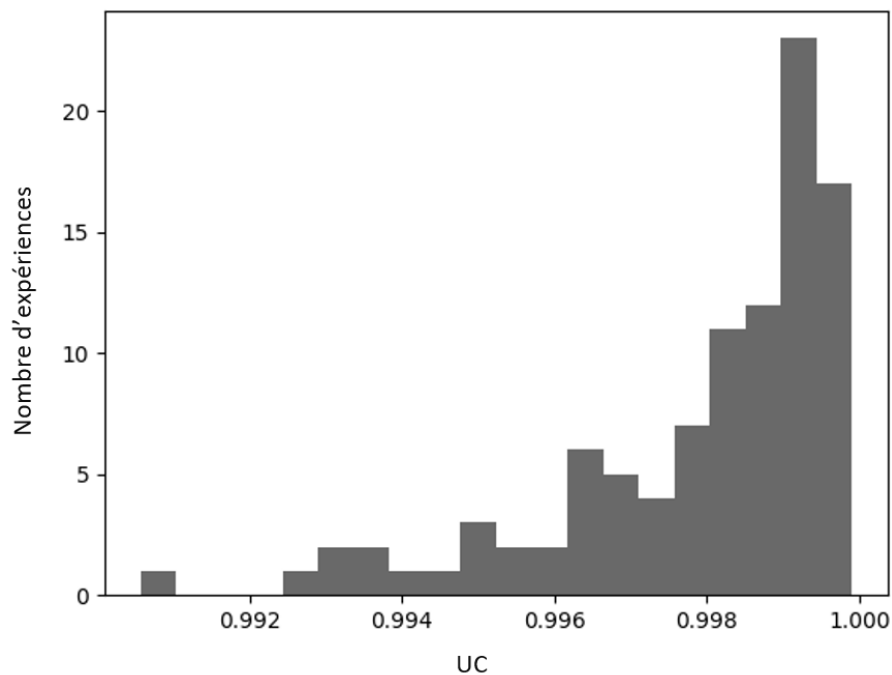


FIGURE 9.13 – Histogramme de l'algorithme génétique sur 100 expériences
Source : élaboration propre

Nous observons que toutes les expériences ont atteint une performance supérieure à 99% ce qui montre que l'algorithme génétique est mieux adapté pour notre problème. Ceci est probablement dû aux divers processus aléatoires impliqués dans l'algorithme, et qui empêchent la recherche de se confiner dans un optimum local.

9.2.4 Sectorisation des zones d'influence

L'objectif de la sectorisation d'une zone d'influence est de définir une partition des nœuds de chaque zone en secteurs, dans le but d'alimenter séquentiellement, lors du déploiement de l'approvisionnement, un seul secteur à la fois.

De cette manière, les nœuds défavorables pourront également bénéficier d'approvisionnement en eau de manière équitable par rapport à ceux qui sont plus favorables, en utilisant un principe d'isolement où seuls les nœuds d'un secteur non encore assez desservi vont être approvisionnés. Cette stratégie d'isolement empêchera donc les nœuds à forte demande de s'imposer vis-à-vis de leurs pairs dès qu'ils dépasseront un seuil d'approvisionnement.

Nous avons adopté une implémentation qui s'inspire de celle proposée par Ilaya-Ayza. [Ilaya-Ayza, 2014] mais qui vise en plus à optimiser la distribution équitable du temps d'approvisionnement entre les différents secteurs.

Dans son implémentation, Ilaya-Ayza répartit les nœuds d'une zone d'influence en essayant de respecter uniquement une différence de pression entre les nœuds du secteur. Il commence par peupler un secteur par le nœud de plus faible pression (non encore appartenant à un autre secteur) ainsi que les nœuds qui lient ce nœud à la source. Il y ajoute ensuite les nœuds directement liés au secteur qui respectent une condition de différence de pression maximale à observer.

Cependant, cette implémentation néglige les demandes de chaque nœud et on finit par une répartition de temps d'approvisionnement entre secteurs non équilibré (l'instant 0 des figures 9.16, 9.17 et 9.18).

Nous avons donc adopté la répartition d'Ilaya-Ayza uniquement pour initialiser notre algorithme avec une sectorisation qui respecte une différence de pression entre les nœuds de chaque secteur. Notre contribution est donc de proposer un algorithme qui vise à optimiser cette sectorisation initiale afin d'équilibrer le temps d'approvisionnement entre les secteurs initialement définis. Notre approche consiste à appliquer un principe de transfert de nœuds entre secteurs

adjacents tel qu'un transfert n'est validé que lorsqu'il équilibre au mieux la répartition du temps d'approvisionnement tout en respectant la condition de différence de pression entre les nœuds de chaque secteur. Nous décrivons dans la suite les étapes définies pour l'implémentation de la sectorisation initiale, puis l'optimisation de la sectorisation.

9.2.4.1 Sectorisation initiale

a. Principe

Pour chaque zone d'influence nous définissons une sectorisation initiale en N secteurs comme suit :

Nous exécutons une simulation dépendante de la pression sur la zone d'influence d'une source, en gardant uniquement les nœuds appartenant à cette zone d'influence. Les étapes sont les suivantes :

- Définir V_i l'ensemble des nœuds dont la demande est non nulle ;
- Sélectionner le nœud critique correspondant à celui dont la pression est minimale ;
- Trouver le chemin le plus court B_i en termes de dissipation énergétique entre la source et le nœud critique ;
- Le cluster initial est formé par les nœuds appartenant au chemin le plus court ;
- Pour ajouter un nouveau nœud au cluster :
 - On calcule le centroïde du chemin le plus court ;
 - On ajoute le nœud le plus proche du centroïde ayant une connexion avec un nœud de B_i , ainsi que ses liaisons avec B_i au cluster ;
 - On exécute la simulation en gardant uniquement les connexions entre les nœuds du cluster et si la différence entre la pression maximale et minimale du cluster est supérieure au seuil de différence de pression préfixé, le cluster courant est complété et constitue le premier secteur, et on passe au cluster suivant.

b. Algorithme de la sectorisation initiale

Soit Z_i une zone d'influence de la source S_i . On souhaite sectoriser Z_i en N secteurs $sect_1, sect_2, \dots, sect_n$.

Nous exécutons la simulation sur $G|Z_i$

Pour chaque nœud v de Z_i , on note $p(v)$ la pression au nœud v et $d(v)$ sa demande.

Pour chaque chemin C entre deux nœuds du réseau, on note $perce(C)$ sa perte de charge.

Pour peupler un secteur $sect_k$:

Soit $V_i \subset Z_i$ tel que $\forall v \in V_i : d(v) \neq 0$

Soit v_{crit} le nœud critique ayant une pression minimale dans la zone Z_i .

$$v_{crit} = \{v \in V_i | p(v) = \min(p(v))_{v \in V_i}\} \quad (34)$$

Soit $B_i(v_{crit})$, le plus court chemin entre la source S_i et v_{crit} en termes de perte de charge (i.e. pour chaque chemin C entre S_i et v_{crit} : $perce(B_i(v_{crit})) = \min(perce(C))$).

— $\forall v \in B_i(v_{crit}) : sect_k \leftarrow v$

$$\begin{aligned} \text{Soit } centr(B_i)_x &= \frac{\sum_{v \in B_i(v_{crit})} v_x}{\#B_i(v_{crit})} \\ centr(B_i)_y &= \frac{\sum_{v \in B_i(v_{crit})} v_y}{\#B_i(v_{crit})} \\ centr(B_i)_z &= \frac{\sum_{v \in B_i(v_{crit})} v_z}{\#B_i(v_{crit})} \\ centr(B_i)_p &= \frac{\sum_{v \in B_i(v_{crit})} p(v)}{\#B_i(v_{crit})} \end{aligned} \quad (35)$$

On note :

$$centroid(B_i) = (centr(B_i)_x, centr(B_i)_y, centr(B_i)_z, centr(B_i)_p) \quad (36)$$

$\forall v \in Z_i$, on note

$$Dist(v, centroid(B_i)) = \left(1 - \frac{deg(v)}{2}\right) L_2\left(centroid(B_i), (v_x, v_y, v_z, p(v))\right) \quad (37)$$

Où L_2 est la norme dans R^n définie par :

$$\forall x = (x_i)_{1 \leq i \leq n}, y = (y_i)_{1 \leq i \leq n} \in R^n : L_2(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (38)$$

Soit v_{sel} le nœud du réseau ayant une distance minimale au chemin B_i .

$$v_{sel} = \{v \in Z_i - \cup_{j \leq k} sect_j \mid Dist(v, centroid(B_i)) = \min_{v \in Z_i - \cup_{j \leq k} sect_j} Dist(v, centroid(B_i))\} \quad (39)$$

On lance une simulation dépendante de la pression sous EPANET sur le sous réseau $sect_k \cup v_{sel}$. Soit :

$$p_{min} = \min(p(v) \mid v \in sect_k \cup v_{sel}) \quad (40)$$

$$p_{max} = \max(p(v) \mid v \in sect_k \cup v_{sel})$$

Si $p_{max} - p_{min} \leq P_{seuil}$:

$$sect_k \leftarrow v_{sel}$$

Sinon $sect_k$ est complètement peuplé et on passe à $sect_{k+1}$.

c. Simulation

En appliquant notre algorithme de sectorisation initiale à la zone d'influence de la source S_1 de notre réseau d'étude (zone 3 - zone bleue de la Figure 9.4), nous obtenons une sectorisation initiale en 5 secteurs (Figure 9.14).

Les 5 secteurs obtenus sont représentés par les couleurs rouge, jaune, bleue, noire et rose.

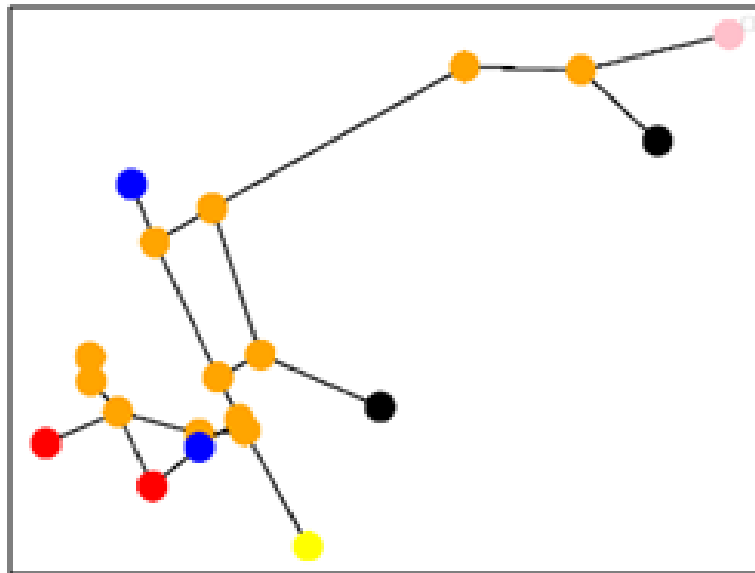


FIGURE 9.14 – *Sectorisation initiale en 5 secteurs*
 Source : élaboration propre

Les nœuds en orange appartiennent à au moins deux secteurs. La présence de nœuds appartenant à plusieurs secteurs est liée au fait qu'ils font partie du passage obligé de l'eau depuis la source aux nœuds d'extrémité du secteur. C'est pour cette raison que les nœuds « exclusifs » du secteur se trouvent aux extrémités du réseau tandis que les nœuds « partagés » sont au centre du réseau.

9.2.4.2 Optimisation de la sectorisation

a. Algorithme

Soit $G = V \times E$ un graphe représentant un réseau hydraulique, où V représente l'ensemble des nœuds du réseau et E représente l'ensemble des arcs de liaisons entre les nœuds.

$\forall n, m \in V$, on définit l'opération logique $n \rightarrow_G m$ qui prend la valeur vraie si et seulement si il existe un chemin dans G qui lie n à m et l'opération $n \not\rightarrow_G m$ si aucun chemin dans G ne lie n à m .

Notons $P = (P_i)_{1 \leq i \leq n}$, une partition de V (i.e $\cup_{1 \leq i \leq n} P_i = V$ et $\cap_{1 \leq i \leq n} P_i = \emptyset$) tel que $\forall n, m \in P_i, n \rightarrow m$.

Étant donnée une source S et un nœud $n \in V$, on définit $app_S(n)$, le temps d'approvisionnement du nœud n par la source S , et pour chaque secteur $P_i \in P$, on définit $App_S(P_i)$, le temps d'approvisionnement du secteur P_i par la source S .

$$App_S(P_i) = \sum_{n \in P_i} app_S(n) \quad (41)$$

Sans perte de généralité (quitte à réordonner les P_i), on suppose que :

$$\forall i < j : App_S(P_i) \leq App_S(P_j) \quad (42)$$

Pour équilibrer le temps d'approvisionnement des différents secteurs, il suffit donc de minimiser

$$App_S(P_n) - App_S(P_1). \quad (43)$$

$\forall 1 \leq i \leq n$, notons $adj(P_i)$, l'ensemble secteurs voisins du secteur P_i .

$$adj(P_i) = \{P_j \in P - P_i \mid \exists (n, m) \in P_i \times P_j \text{ tel que } (m, n) \in E\} \quad (44)$$

$\forall 1 \leq i < j \leq n$, notons $L(i, j)$, l'ensemble des liaisons directes entre P_i et P_j .

$$L(i, j) = \{(m, n) \in P_i \times P_j \mid (m, n) \in E\}$$

$\forall 1 \leq i < j \leq n$, notons $l_j(P_i)$, l'ensemble des nœuds de liaisons entre P_j et P_i (appartenant à P_j)

$$l_j(P_i) = \{m \in P_j \mid \exists n \in P_i \text{ tel que } (m, n) \in L(i, j)\} \quad (45)$$

$\forall n \in V$, notons $arcs(n)$, l'ensemble des arcs directement liés à n .

$$arcs(n) = \{(n, m) \in E \mid m \in V\} \quad (46)$$

Soit $G - \{n\}$ le graphe résultant de l'ablation du nœud n et ses arcs de liaison directe du graphe G .

$$G - \{n\} = (V - \{n\}) \times (E - \text{arcs}(n)) \quad (47)$$

Pour une source S et un nœud $n \in V$, notons $\text{orph}_S(n)$ l'ensemble des nœuds qui ne peuvent plus être approvisionnés par la source S si on retire le nœud n (le chemin vers S passe obligatoirement par n).

$$\text{orph}_S(n) = \{m \in V \mid S \not\rightarrow_{G-\{n\}} m\} \quad (48)$$

Notons que $\text{orph}_S(n)$ est toujours inclus dans le même secteur que n .

Notre algorithme (Figure 9.15) est basé sur une succession de transferts de nœuds d'un secteur favorable (dont le temps d'approvisionnement est supérieur) vers un secteur défavorable (dont le temps d'approvisionnement est inférieur).

Quand on transfère un nœud n , on l'accompagne aussi de ses nœuds orphelins ($\text{orph}_S(n)$), pour assurer leur approvisionnement.

Formellement, on définit

$$n \xrightarrow{\text{transfert}} P_i = P_i \cup n \cup \text{orph}(n) \quad (49)$$

A chaque itération, on va essayer d'augmenter $\text{App}_S(P_i)$.

Notons, que si on transfère un nœud n de P_j vers P_i avec $\text{App}_S(P_i) < \text{App}_S(P_j)$.

Si on suppose que :

$$\text{App}_S(P_i \text{ apres transfert}) = \text{app}_S(n) + \text{App}_S(\text{orph}(n)) + \text{App}_S(P_i) \geq \text{App}_S(P_j) \quad (50)$$

Alors :

$$App_S(P_i \text{ apres.transfert}) = App_S(P_j) - app_S(n) - App_S(orph(n)) \leq App_S(P_i) \quad (51)$$

Ce qui nous conduit à une configuration moins optimale que celle avant le transfert.

Donc si

$$\forall 1 \leq i < j \leq n \text{ avec } App_S(P_i) < App_S(P_j) \quad (52)$$

Et si :

$$\forall n \in l_j(P_i) : App_S(\{n\} \cup orph(n) \xrightarrow{\text{transfert}} P_i) > App_S(P_j) \quad (53)$$

Alors, on ne pourra transférer aucun nœud de P_j vers P_i , car dans tous les cas on aura une configuration moins optimale.

Ainsi, dans notre algorithme on essaie successivement d'augmenter le temps d'approvisionnement des secteurs défavorables (du plus défavorable au moins défavorable) sans qu'ils dépassent le temps d'approvisionnement du secteur transférant.

Formellement,

$$\forall 1 \leq i < j \leq n,$$

$$\text{Si } \exists m \in l_j(P_i) : app_S(m) + App_S(orph(m)) + App_S(P_i) \leq App_S(P_j) \quad (54)$$

Alors on transfère vers P_i , le nœud m qui maximise $app_S(m) + App_S(orph(m)) + App_S(P_i)$ tout en respectant la condition 54.

Notons que la suite $App_S(P_1)_k$ est croissante majorée par $App_S(P_n)_0$, donc convergente où k désigne l'itération de l'algorithme.

Notons aussi que la suite $App_S(P_n)_k$ est décroissante minorée par $App_S(P_1)_0$ (vu que dans notre algorithme P_n est toujours favorable).

On conclut donc que la suite $App_S(P_n)_k - App_S(P_1)_k$ est convergente et décroissante.

La figure suivante (Figure 9.15) détaille le schéma bloc de notre algorithme d'optimisation de la sectorisation.

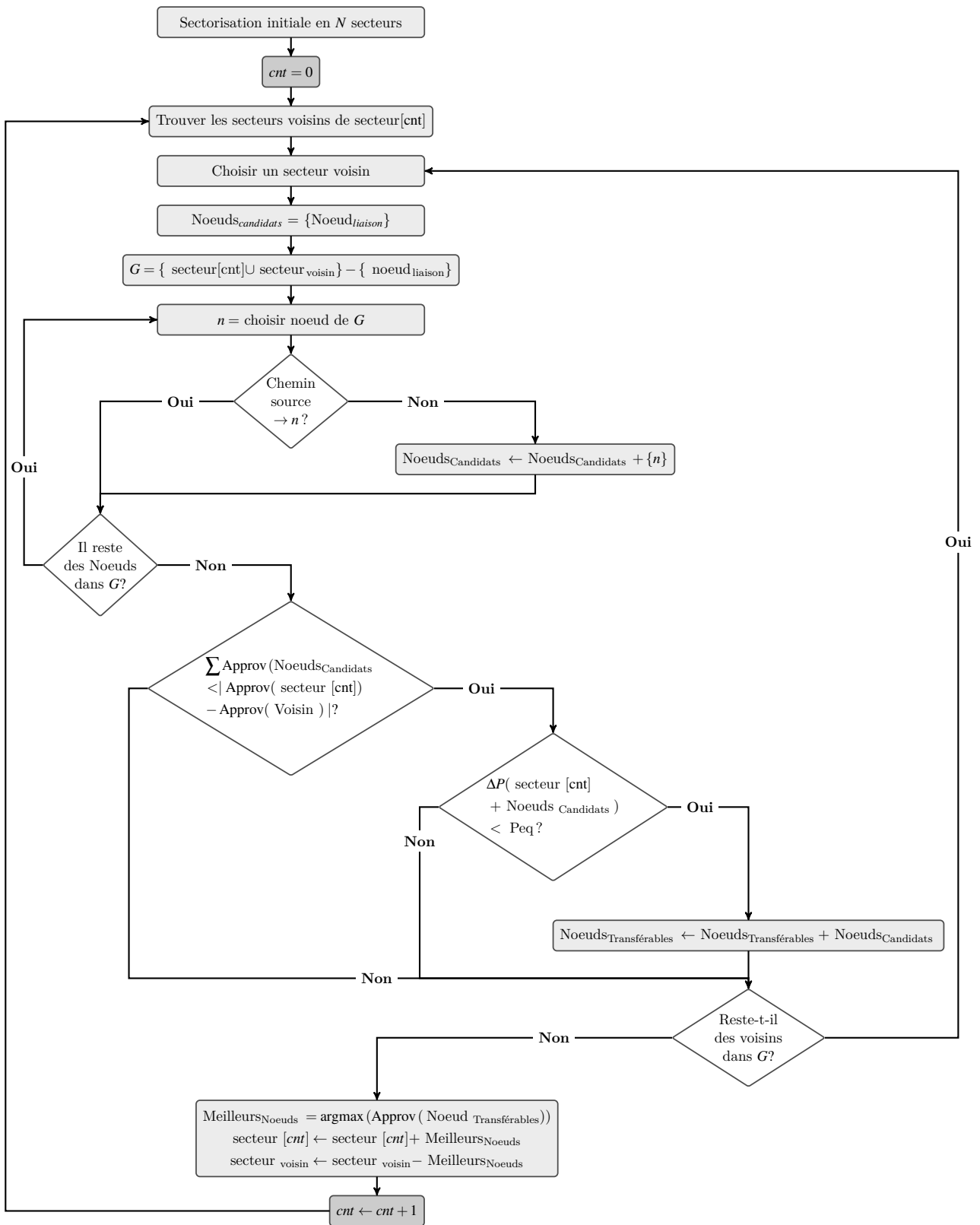


FIGURE 9.15 – Logigramme Optimisation de la sectorisation
Source : élaboration propre

b. Simulation

Afin de valider notre algorithme, nous l'avons testé pour le cas des zones d'influence obtenues précédemment. Les figures suivantes (Figure 9.16, Figure 9.17 et Figure 9.18) illustrent les résultats obtenus pour la zone d'influence 3.

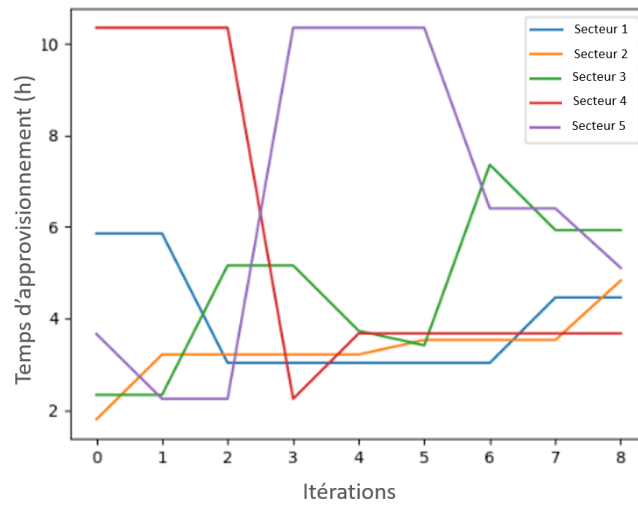


FIGURE 9.16 –
Sectorisation en 5 secteurs

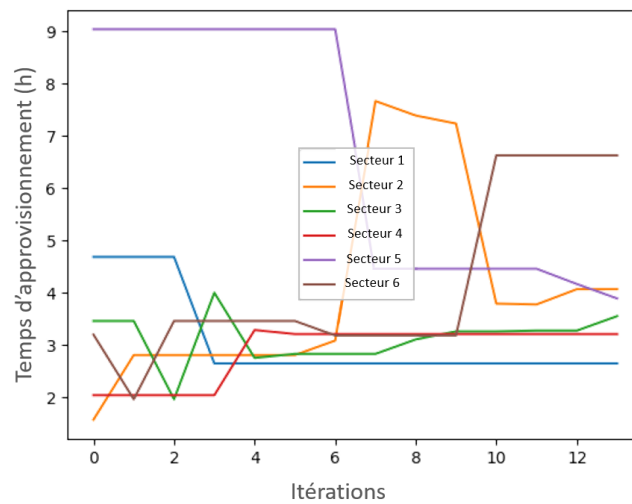


FIGURE 9.17 –
Sectorisation en 6 secteurs

Nous avons testé pour différentes valeurs de sectorisation (en 5, 6 et 7 secteurs¹³⁰), qui correspondent respectivement à un approvisionnement théorique par secteur de 4.8, 4 et

130. Le nombre de secteurs est « au choix » dans le sens où il dépend uniquement du seuil de différence de pression à ne pas dépasser entre les noeuds d'un secteurs (Plus le seuil est plus petit, plus le nombre de secteurs est grand), ce qui à son tour impacte sur la durée d'approvisionnement théorique moyenne (Plus le nombre de secteurs est grand plus la durée d'approvisionnement moyenne théorique est petite. Le nombre de secteurs est donc à choisir en fonction des contraintes de durée minimale d'approvisionnement et des contraintes opérationnelles liées aux nombre de vannes et d'opérations nécessaires pour assurer des roulements du planning de distribution.).

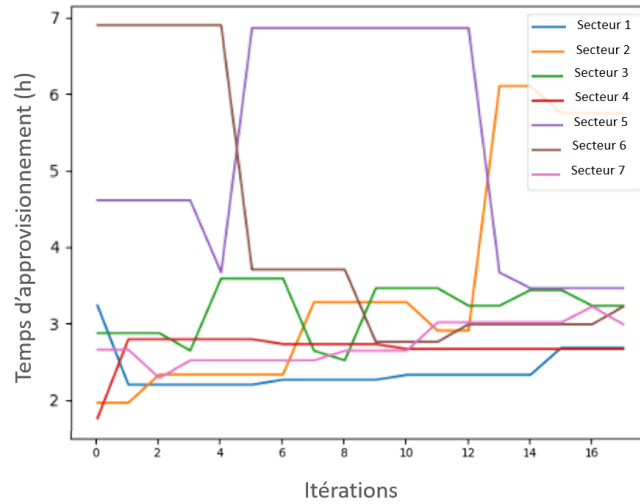


FIGURE 9.18 –
Sectorisation en 7 secteurs

3.43 heures. Nous avons estimé qu’une sectorisation en un nombre de secteurs plus élevé est inappropriée vu que l’approvisionnement en eau par secteur serait trop limité.

Nous observons que dans les 3 cas l’algorithme converge avec un temps d’approvisionnement moyen très proche du temps d’approvisionnement théorique, et un écart type réduit entre le temps d’approvisionnement de chaque secteur. Nous remarquons également qu’une meilleure distribution des temps d’approvisionnement entre les différents secteurs a lieu lorsqu’on augmente le nombre de secteurs (Figure 9.19).

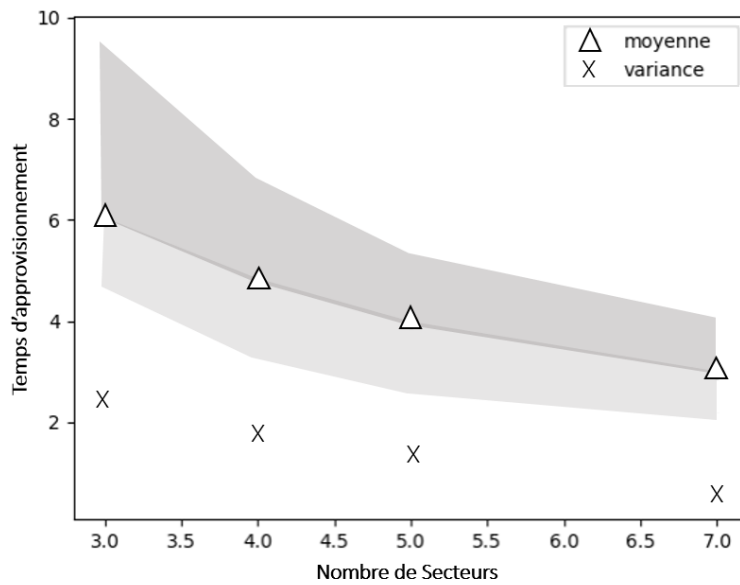


FIGURE 9.19 –
Durée d’approvisionnement finale par nombre de secteurs

Il est à noter qu'à la fin de l'optimisation un secteur peut avoir une durée d'approvisionnement supérieure à la moyenne de la durée d'approvisionnement globale (ce qui donne une apparence de « divergence » du temps d'approvisionnement pour ce secteur, (voir secteur 6 pour la sectorisation en 6 secteurs et secteur 2 dans le cas de la sectorisation en 7 secteurs) . Ceci est dû au fait qu'à chaque pas d'optimisation il se peut que les noeuds de jonctions entre le secteur favorable et le secteur défavorable soient tous liés à des noeuds orphelins s'ils sont transférés vers l'autre secteur. Ceci fait qu'à un certain moment de l'algorithme si on transfère des noeuds du secteur favorable vers celui qui est défavorable, le gain apporté en temps d'approvisionnement de la part des noeuds de jonction et des noeuds orphelins qui leurs sont liés est tellement important que le secteur défavorable pourrait devenir plus favorable que l'ancien secteur favorable (en enregistrant un gain important) et de même le secteur favorable deviendrait plus défavorable que l'ancien secteur défavorable. Une telle situation marque donc l'arrêt de notre algorithme vu que toute tentative d'optimisation produira une configuration moins optimale.

La Figure 9.20 illustre l'évolution de notre algorithme de sectorisation par itération dans le cas de 5 secteurs, chaque couleur correspond à un secteur différent (comme la couleur orange désigne des noeuds qui appartiennent à plusieurs secteurs à la fois, parfois les transferts se font dans cette région mais ne sont pas visualisés sur la Figure. Le détail des noeuds affectés à chaque itération et des transferts qui s'y passent est illustré sur l'exemple de 6 secteurs en Annexe 12).

Pour rappel, le nombre de secteurs que nous avons fait évoluer est déterminé par le seuil de différence de pression entre les noeuds, un seuil plus petit entraînant un plus grand nombre de secteurs. Cela affecte le temps d'approvisionnement théorique moyen, car un plus grand nombre de secteurs entraîne un temps d'approvisionnement moyen plus court. Nous remarquons par ailleurs dans notre simulation que la distribution des temps d'approvisionnement entre secteurs est plus homogène (plus petite variance et donc meilleure équité) en augmentant le nombre de secteurs (Figure 9.19).

Le nombre de secteurs doit être choisi en fonction de la durée minimale d'approvision-

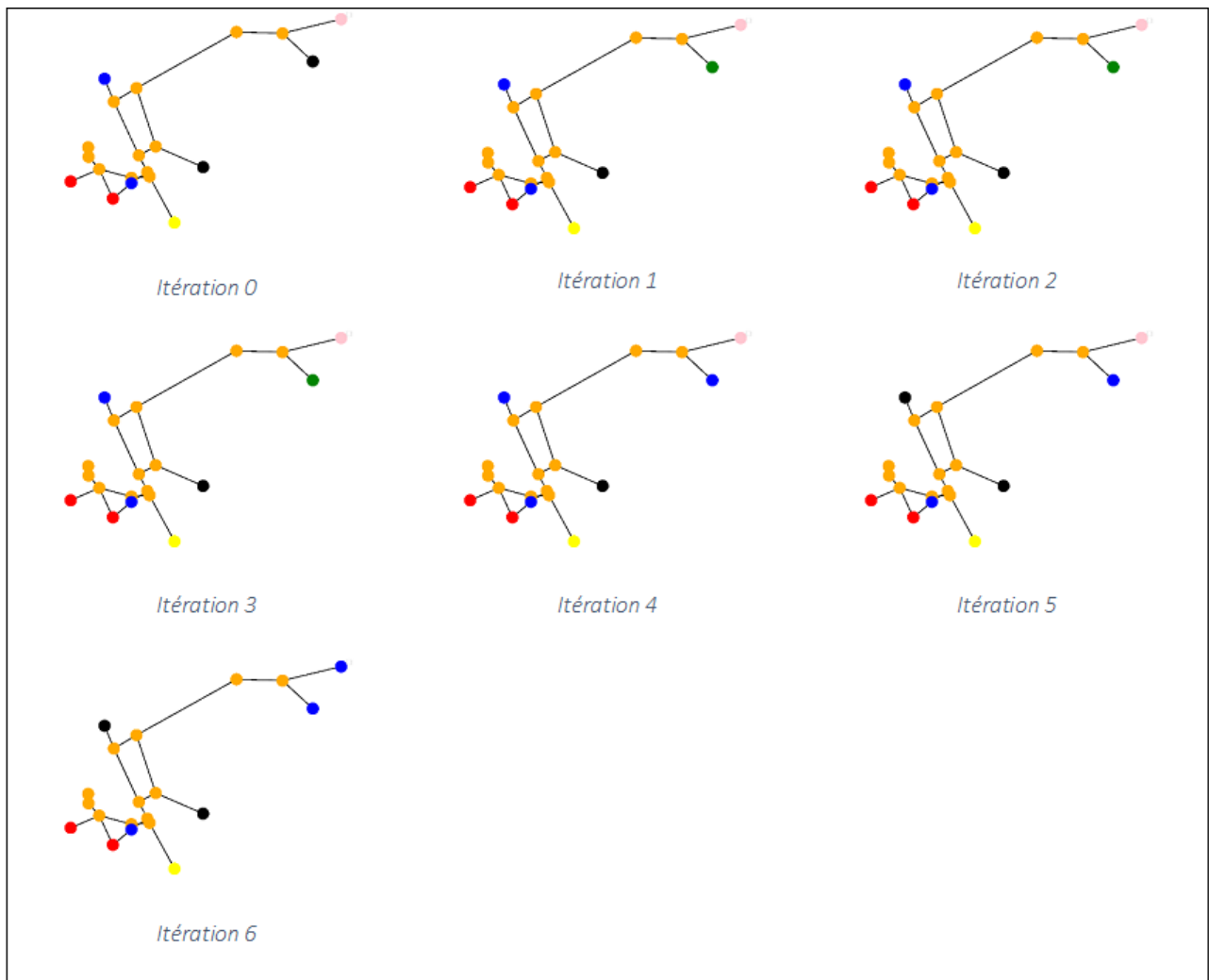


FIGURE 9.20 – *Evolution de la sectorisation pour 5 secteurs*
 Source : élaboration propre

nement souhaitée et des contraintes opérationnelles telles que le nombre de vannes et d'opérations nécessaires. Il est donc nécessaire de trouver un compromis entre le nombre de secteurs à choisir et ces différentes contraintes.

9.2.5 Définition du planning

9.2.5.1 Paramètres à prendre en compte

La sectorisation des zones d'influence nous permet d'obtenir pour une différence de pression fixée, un nombre k de secteurs correspondant et une distribution optimisée de la durée

d'approvisionnement moyenne pour chaque secteur i , que nous notons Δt_i . Cette durée d'approvisionnement constitue la durée minimale à considérer par secteur lors des rotations, avec :

$$\sum_{i=1}^k \Delta t_i = \theta \quad (55)$$

Où θ est la durée totale du cycle d'approvisionnement de tous les secteurs, si on suppose une desserte rotationnelle. On pose $\zeta = \frac{24h}{\theta}$ (et $\delta T = 24h - \theta = 24h(1 - \frac{1}{\zeta})$ si $\theta < 24h$).

La construction du planning quotidien passe par deux étapes : La définition de la fréquence f d'approvisionnement ($f = \frac{1}{\zeta\theta + \delta T}$ (Période $\frac{1}{f} = \zeta\theta + \delta T$)), et l'établissement de l'ordre des opérations de mise en service, qui peuvent être des manœuvres de vannes ou des mises en services de pompes ou les deux (Figure 9.21).

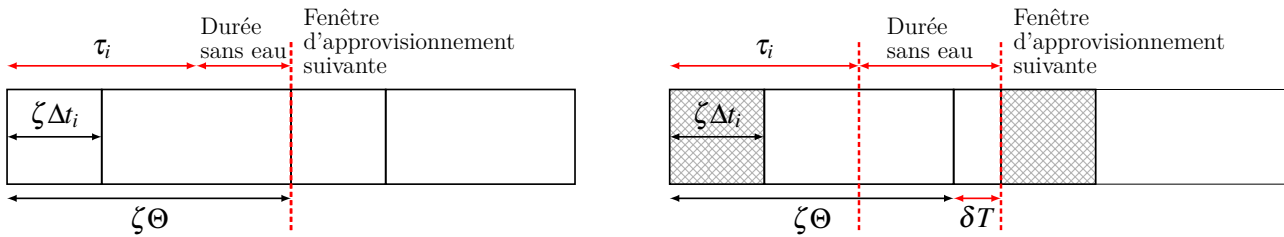


FIGURE 9.21 – Schéma de représentation des paramètres temporels d'un planning de distribution pour un secteur i

Source : élaboration propre

a) *Fréquence d'approvisionnement*

La définition de la fréquence d'approvisionnement doit répondre aux contraintes suivantes :

- *Contrainte de gaspillage* : Exprime le fait que le volume reçu par noeud ne doit pas dépasser la somme de sa capacité de stockage et le débit de consommation des usagers, autrement dit $\phi \times \zeta\Delta t_i \leq V_{Stockage} + Conso_{instantanne}$ avec ϕ le débit d'approvisionnement moyen des noeuds, et $V_{Stockage}$ la capacité de stockage moyenne des noeuds et $Conso_{instantanne}$ la consommation instantannée aux noeuds ;

- Contrainte sur la qualité : Le temps de séjour de l'eau dans les réservoirs domestiques ne doit pas engendrer une dégradation de la qualité de l'eau dans les citernes. Cette contrainte s'établit donc sur le temps de séjour dans les récipients de stockage qu'on note τ_i où $\tau_i = \min\left(\frac{V_{stockage}}{Conso_{horaire}}, \left(\frac{\phi \times \zeta \Delta t_i}{Conso_{horaire}}\right) \leq \text{Période max } \zeta_{max} \theta\right)$. Cette condition peut être reconsidérée si les usagers disposent de moyens de traitement domestique ;
- Contrainte de disponibilité (capacité de stockage) : $\text{argmin}(\zeta \theta + \delta T - \tau_i)$;
- Contrainte liée au débit maximal théorique : Puisqu'avec l'augmentation du niveau du réservoir source, la pression aux noeuds diminue. Le niveau de réservoir doit donc respecter une pression minimale au niveau du noeud le plus défavorable du réseau. Cette contrainte est respectée lors de l'établissement de nos zones d'influence des sources dans le réseau.

b) *Opérations de mises en service* Les contraintes liées aux opérations de mise en service sont liées aux coûts opérationnels et aux contraintes terrains lors de l'implémentation du planning de distribution sur le terrain, et comptent :

- Le Nombre d'opérations pour isoler les k secteurs successivement :
- Les contraintes opérationnelles sur les points d'entrée, telles que l'emplacement des vannes, la distance par rapport au centre, la définition de zones sensibles, l'impact sur le réseau, et la définition d'horaires homogènes pour les opérateurs... Ces contraintes sont multiples et peuvent être différentes en fonction du réseau et de l'organisation mise en place.

L'ensemble de ces contraintes peut être considéré lors de l'établissement du planning, afin de respecter, en plus de l'équité d'approvisionnement, certaines des dimensions supplémentaires définissant la qualité de service, ainsi que les contraintes opérationnelles. Ces paramètres sont cependant généralement contradictoires, et leur priorisation revient aux différentes parties prenantes, concernées par le service de l'eau. Une des méthodes de priorisation est la définition de pondérations lors de l'implémentation de ces contraintes dans la formulation du problème d'optimisation.

9.2.5.2 Définition des pondérations

Un exemple de méthode participative de pondération des critères de définition des plannings de distribution que nous avons choisi d'examiner est la méthode AHP (Processus d'hierarchie Analytique).

a. Principe

AHP est l'abréviation de « *Analytic Hierarchy Process* ». Il s'agit d'une méthode développée par Thomas L.Saaty dans les années 1970, permettant de prendre des décisions complexes en décomposant un problème de décision en sous-problèmes plus petits et plus faciles à gérer. C'est une technique de prise de décision multicritères qui utilise une structure hiérarchique pour organiser les critères de décision et les alternatives. La méthode AHP tient compte du fait que certains critères peuvent être contradictoires, de sorte que la meilleure option n'est pas toujours celle qui excelle dans chaque critère, mais plutôt celle qui atteint l'équilibre le plus approprié entre eux. La méthode attribue un poids à chaque critère sur la base des comparaisons du décideur et attribue un score à chaque option en fonction de sa performance sur ce critère. Le classement final des options est déterminé en combinant les poids des critères et les scores des options. L'AHP utilise l'expérience du décideur pour guider ses calculs et peut être considéré comme un outil qui convertit les évaluations du décideur, tant qualitatives que quantitatives, en un classement basé sur des critères multiples. En outre, l'AHP est convivial et ne nécessite pas la création d'un système expert complexe qui incorpore les connaissances du décideur. La méthode AHP est largement utilisée dans divers domaines tels que l'ingénierie, la recherche opérationnelle, la gestion, etc. [Li et al., 2019].

Les étapes du processus, telles que définies par Saaty [Saaty, 1980], sont, après définition des critères, comme suit :

1. Le calcul du vecteur des pondérations des critères ;
2. Le calcul de la matrice des notes d'option ;

3. Le classement des options.

Nous détaillons dans la suite la première étape d'implémentation de la méthode AHP.

i. *Calcul du vecteur de pondération des critères*

Soit m le nombre de critères qui sont pris en compte. On considère $A = (a_{jk})$ la matrice de comparaison des critères par paire. A est une matrice carrée d'ordre m , qui exprime la comparaison entre les j ème et k ème critères. La valeur de a_{jk} , qui indique l'entrée dans la j ème ligne et la k ème colonne de A est comprise entre 1 et 9 avec :

$$a_{jk} \times a_{kj} = 1 \text{ et } a_{jj} = 1$$

La signification des valeurs de a_{jk} est explicitée dans le tableau suivant (Tableau 9.3).

TABLE 9.3 – *Interprétation des valeurs de la matrice de comparaison des critères*

| Valeur de a_{jk} | Interprétation |
|--------------------|---|
| 1 | j et k sont aussi importants l'un que l'autre |
| 3 | j est légèrement plus important que k |
| 5 | j est plus important que k |
| 7 | j est fortement plus important que k |
| 9 | j est absolument plus important que k |

L'étape de calcul du vecteur de pondération des critères se fait en invitant les acteurs « décideurs » à remplir la matrice, selon leur évaluation de l'importance relative des critères sur lesquels ils se sont mis d'accord. Les étapes suivantes consiste à :

- Dériver de A la matrice de comparaison normalisée par paires $Anorm$ avec $\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{i=1}^m a_{ik}}$ en rendant égale à 1 la somme des entrées de chaque colonne.
- Le vecteur de pondération des critères w est construit en calculant la moyenne des entrées sur chaque ligne d' $Anorm$ $w_j = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{a}_{ij}}{m}$

ii. *Vérification de la cohérence*

Lorsque de nombreuses comparaisons par paires sont effectuées, certaines incohérences

peuvent généralement apparaître. Un test sur les matrices de comparaison par paires concernées est de ce fait nécessaire.

La technique repose sur le calcul d'un indice de cohérence CI approprié. L'indice de cohérence est obtenu en calculant d'abord le scalaire x comme la moyenne des éléments du vecteur dont le j ème élément est le rapport entre le j ème élément du vecteur $A \times w$ et l'élément correspondant du vecteur w .

$$\text{Ensuite : } CI = \frac{x-m}{m-1}$$

Un décideur parfaitement cohérent devrait toujours obtenir un $CI = 0$, mais de petites valeurs d'incohérence peuvent être tolérées. En particulier si : $\frac{CI}{RI} < 0.1$

Où RI est l'indice aléatoire, les valeurs de RI pour les petits problèmes ($m \leq 10$) sont les suivantes (Tableau 9.4) :

TABLE 9.4 – Valeurs de l'indice aléatoire de la méthode AHP pour moins de 10 critères

| | | | | | | | | | |
|----|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| m | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| RI | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.51 |

b. Application

Un atelier d'initiation à la pondération des paramètres d'optimisation du programme de distribution, basé sur cette méthode, a été organisé avec des agents de l'ADE pendant la mission à Annaba de janvier 2020. L'objectif était de définir les poids aux critères identifiés lors d'un atelier antérieur, ce qui permettrait de calculer un indicateur de suivi unifié, en fonction des indicateurs définis par les opérateurs, qui pourrait, à terme, remplacer l'indicateur d'équité de répartition.

Suite au premier atelier participatif, les critères qui étaient ressortis étaient les suivants :

- Risque Sanitaire
- Non disponibilité de l'eau
- Problèmes de facturation

- Inéquité de distribution
- Gaspillage / perte d'eau
- Détérioration du réseau

Il est à noter que 5 critères parmi les 6 relevés correspondent chacun à une dimension de l'évaluation de la qualité de service, telle que définie dans notre outil d'évaluation de la partie 1, à part l'accessibilité physique. Cette dimension n'est pas pertinente dans le cas du réseau de Annaba puisque l'accès à l'eau est individuel pour l'ensemble des usagers. Le dernier critère qui ne fait pas partie de nos dimensions est le critère de « Détérioration du réseau ». Ceci est dû au fait que même si la consigne était de répondre en tant qu'utilisateur du service d'approvisionnement, les participants sont tous des agents opérationnels du réseau. Ils ont donc mis en avant le critère technique qui leur semblait important.

Le résultat de l'atelier se présente comme suit (Tableau 9.5) :

TABLE 9.5 – Matrice de comparaison résultante de l'atelier organisé à Annaba

| A | Risque Sanitaire | Non disponibilité de l'eau | Problèmes de facturation | Inéquité de distribution | Gaspillage / perte d'eau | Détérioration du réseau |
|----------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Risque Sanitaire | 1 | 0.2 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| Non disponibilité de l'eau | 5 | 1 | 0.25 | 0.2 | 0.17 | 0.14 |
| Problèmes de facturation | 6 | 4 | 1 | 0.33 | 0.25 | 0.2 |
| Inéquité de distribution | 7 | 5 | 3 | 1 | 0.5 | 0.33 |
| Gaspillage / perte d'eau | 8 | 6 | 4 | 2 | 1 | 0.5 |
| Détérioration du réseau | 9 | 7 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| Somme | 36 | 23.2 | 13.42 | 6.68 | 4.04 | 2.29 |

Pour la vérification de la cohérence, nous avons 6 critères donc $m = 6$ et $RI = 1.24$

| | |
|-------|------------|
| CI | 0.10071356 |
| CI/RI | 0.08122061 |

La cohérence définie par la condition $\frac{CI}{RI} < 0.1$ est donc vérifiée.

Ce qui permet de calculer les poids suivants (Tableau 9.6) :

L'objectif de ce chapitre et le but de notre processus d'optimisation était d'optimiser l'équité de la distribution. Toutefois, les résultats de cet atelier montrent que cet objectif

TABLE 9.6 – Résultats de pondération des critères définis lors de l'atelier de Annaba

| Critères | Réduction du Risque Sanitaire | Disponibilité de l'eau | Résolution des Problèmes de facturation | Equité de distribution | Lutte contre le Gaspillage / perte d'eau | Mitigation de la détérioration du réseau |
|----------------|-------------------------------|------------------------|---|------------------------|--|--|
| | 0.025 | 0.06 | 0.1 | 0.18 | 0.26 | 0.38 |
| Poids relatifs | 2% | 6% | 10% | 18% | 26% | 38% |

a été éclipsé par des considérations techniques. Plus précisément, le critère qui a eu le poids le plus important est l'atténuation de la détérioration du réseau. Ce résultat peut être attribué au fait que l'atelier ne comprenait que des représentants de l'opérateur et non d'autres parties prenantes clés, telles que des représentants des usagers ou des acteurs alternatifs. Cela met en évidence un problème fondamental avec l'utilisation de la méthode AHP dans la prise de décision, à savoir qu'elle est fortement influencée par les participants impliqués. Ce problème peut être généralisé à d'autres méthodes d'aide à la décision, et il est crucial d'inclure un éventail diversifié de parties prenantes dans les futurs processus décisionnels pour améliorer les résultats, sans toutefois garantir leur objectivité.

9.2.6 Fiabilité du planning

L'intermittence résulte d'une pénurie qui conduit généralement à un rationnement, où l'approvisionnement dépend de la capacité des réservoirs, du planning de pompage ou de l'opération des vannes, les différents sous-réseaux intermittents étant généralement alimentés par rotation [Erickson et al., 2017].

Dans toutes ces configurations, il est nécessaire de vérifier que les opérations sont conformes aux plannings de distribution qui sont établis par l'opérateur, et *a priori* communiqués à la population.

Pourtant, la vérification terrain de cette conformité est rarement mise en place. La littérature présente des propositions de modèles théoriques pour la sectorisation du réseau [Ilaya-Ayza, 2014], pour la réduction des coûts de pompage liés à la mise en place opérationnelle des programmes de distribution [De Marchis et al., 2013], ou encore pour la mesure de l'équité qui en résulte [Gottipati and Nanduri, 2014] [Solgi et al., 2015], mais aucune méthode pour assurer la

fiabilité de l'approvisionnement n'est proposée.

Sur le terrain, le retour d'expérience des opérations est rare ou subjectif. Les dysfonctionnements sont généralement remontés ponctuellement, principalement via des réclamations, qui sont traitées au cas par cas par l'opérateur. Le contrôle de conformité repose principalement sur ces réclamations ou provient parfois de la collecte d'échantillons pour l'analyse de la qualité de l'eau comme c'était le cas à Haïti, ou encore sur des systèmes de notification permettant aux opérateurs de vannes d'indiquer manuellement la vanne opérationnelle qu'ils ouvrent ¹³¹, afin que le système transmette l'information aux usagers. Ces systèmes correspondant mieux à un réseau où les horaires de distribution ne sont pas préétablis. S'appuyer exclusivement sur la bonne volonté des opérateurs de vannes ou sur les commentaires ou réclamations des usagers, sans aucun moyen de vérification objectif, automatisé et proactif, est insuffisant pour surmonter l'inégalité qui caractérise le comportement du réseau de distribution d'eau lorsque l'intermittence est établie.

Il y a donc un besoin clair de mise en place d'une procédure de partage et de communication interne d'un programme de distribution formalisé, et de sa vérification sur le terrain. Nous proposons dans ce sens une procédure simplifiée qui s'insère dans le schéma suivant (Figure 9.22).

131. NextDrop est une application développée par une start-up indienne qui notifie les usagers des horaires d'approvisionnement. Le principe est le suivant : Chaque fois que les opérateurs de vannes se rendent dans une nouvelle zone, ils utilisent un système interactif de réponse vocale pour confirmer quelle vanne particulière ils ont ouverte. À la réception de cette information, NextDrop envoie à tous les consommateurs concernés (abonnés) un SMS les informant que leur approvisionnement en eau sera bientôt en service.

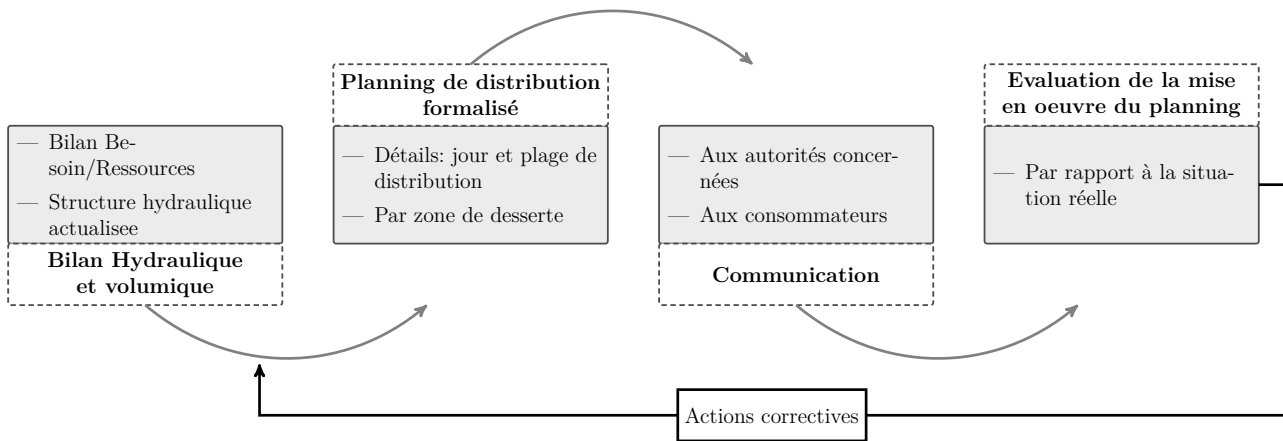


FIGURE 9.22 – Procédure pour l'établissement d'un programme de distribution fiable
Source : élaboration propre

Elle permet de mettre en avant des étapes principales de formalisation, communication, vérification et monitoring du planning de distribution, et un rebouclage à la fin entre l'évaluation de sa mise en œuvre, et l'amélioration du programme planifié.

9.2.6.1 Spécifications d'un outil de monitoring

Pour améliorer le fonctionnement de leurs systèmes de distribution d'eau, les services de gestion et de distribution de l'eau utilisent des systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) pour définir l'état du réseau et transmettre des données à un centre de contrôle à intervalles réguliers. L'adaptation des dispositifs SCADA aux conditions de l'intermittence permettrait de ce fait de visualiser la conformité entre la livraison sur le terrain et le planning annoncé, en se référant à des éléments physiques qui témoignent de la nature du régime d'écoulement.

Le principe est celui d'un système de notification permettant de configurer des seuils de pression ou de débit pour chaque secteur, de collecter des informations sur la pression, le débit et les niveaux des réservoirs, et de générer une alarme notifiant une série d'utilisateurs lorsque le seuil est dépassé.

Pour vérifier la conformité de la distribution sur les zones de desserte, des mesures doivent être faites sur des points représentatifs des zones de distribution, afin d'évaluer si les paramètres

hydrauliques mesurés (débit et pression) sont suffisants pour assurer l’approvisionnement en eau pendant les créneaux d’alimentation.

Cette vérification peut se faire en installant 3 capteurs de pression temporaires au niveau de chaque zone :

- 1 au point d’approvisionnement principal (à la sortie du réservoir d’alimentation) ;
- 1 au point de pression moyenne (AZP - *Average Zone Pressure*) ;
- Et le dernier au niveau du point critique de la zone (point hydrauliquement le plus défavorable).

Cela permet d’estimer le temps nécessaire pour « remplir » le réseau jusqu’au point critique, et ainsi d’assurer une alimentation sur toute la zone de desserte. Une fois ces durées connues, il est peu probable qu’elles changent beaucoup, et les connaître permet de calculer :

- L’heure de la première alimentation, pour vérifier si l’opérateur a manipulé la vanne selon le programme de distribution prédéfini ;
- L’heure à laquelle la plupart des usagers ont eu de l’eau ;
- L’heure à laquelle tous les usagers ont eu de l’eau.

Cette solution nécessiterait de connaître le comportement hydraulique du réseau, et d’investir dans des équipements de mesure dédiés.

La figure suivante (Figure 9.23) présente les spécifications développées pour un tel outil.

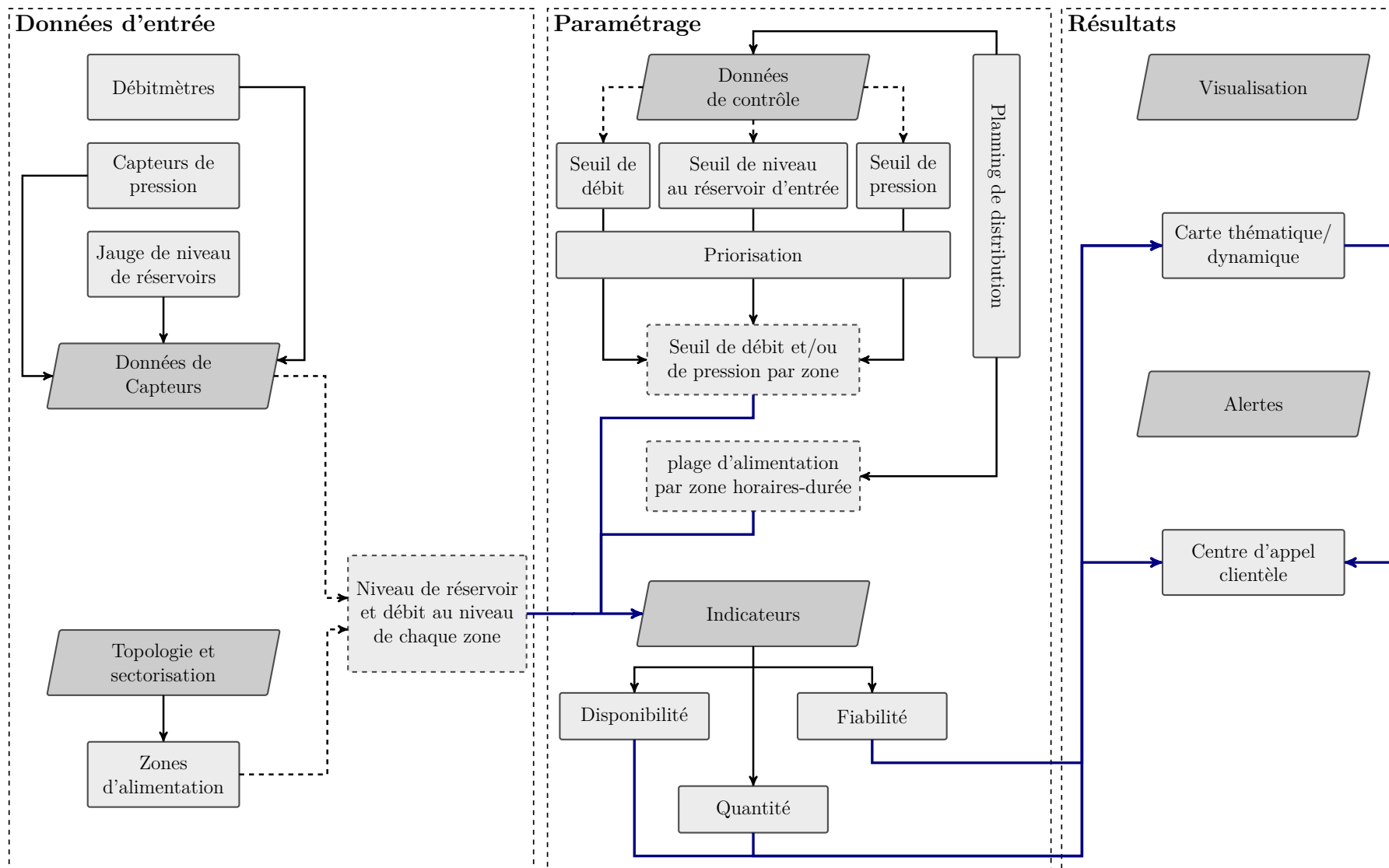


FIGURE 9.23 – Schéma bloc des spécifications d'un outil de suivi de la conformité des plannings de distribution
 Source : élaboration propre

9.2.6.2 Version dégradée : en l'absence de SCADA

Une version dégradée de la procédure de vérification liée au SCADA peut être configurée selon le même principe de notifications, mais basé sur l'intégration des réclamations des usagers par l'opérateur. Le principe est le même, avec les données d'entrée remplacées par une récupération du retour des usagers. Une procédure de ce type a été proposée pour l'unité de Annaba, qui est dépourvue de SCADA, mais a un centre d'appel téléphonique opérationnel (CATO). Un outil simple, basé sur des macros excel a été développé dans ce sens.

L'outil a été pensé comme une actualisation de la procédure du CATO, qui prend comme point de départ ce qui se faisait initialement pour répondre aux réclamations des consommateurs par rapport au rétablissement des perturbations eau qu'ils expérimentent.

Chaque matin, un agent du CATO appelle les deux centres de distribution (Annaba I et II) pour récupérer les informations de desserte sur les zones d'alimentations des différentes stations du réseau (Figure 9.24) :

Les Santons
Casbah
Toche
Sidi Aissa
Zaafrania I
Zaafrania II
Zaafrania III
Plaine Ouest
Fakharine
Oued Forcha
Sidi Achour



FIGURE 9.24 – Stations concernées par la procédure de fiabilisation du programme de distribution

Ces informations sont ensuite relayées aux consommateurs qui appellent pendant la journée, notamment par rapport à une perturbation de l'alimentation.

L'outil de suivi et de monitoring des programmes de distribution a été pensé pour saisir dans un seul fichier, les informations récupérées quotidiennement à l'issue de cette opération, et

les compléter de données de vérification terrain, qui permettent de générer des indicateurs pour le suivi de la fiabilité du programme de distribution (mode d'emploi en Annexe 9).

Les éléments à saisir par les agents sont :

- En début de semaine, la date et le numéro de la semaine (Figure 9.25)
- Tous les jours, pour chaque zone, l'heure prévue (programmée) de début de la desserte et l'heure prévue de fin de desserte.
- Tous les jours, pour chaque zone, l'heure réelle (vérifiée) de début de desserte et l'heure réelle de fin de desserte.

FIGURE 9.25 – Données de saisie (1. Date et Numéro de semaine)

Comme la priorité est d'abord de connaître le bilan des volumes entrants et sortants du réseau (à travers notamment le macro-comptage), un moyen alternatif temporaire, pour la vérification de la conformité des plannings de distribution peut être mis en place, sans coût supplémentaire.

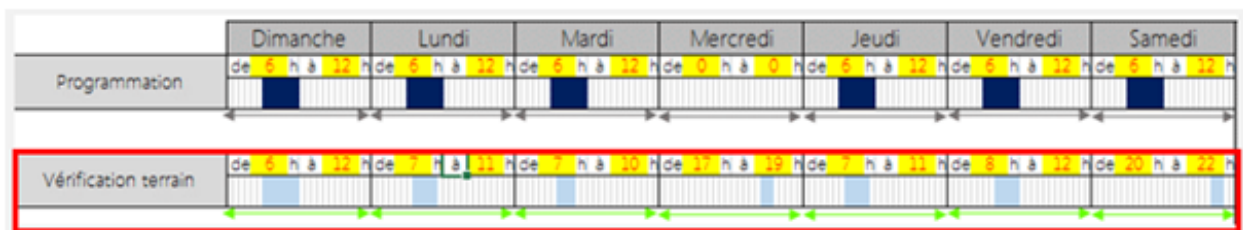


FIGURE 9.26 – Données de saisie (2. Heures de début et de fin de desserte)

Dans la Figure 9.27, la vérification terrain permet de constater des décalages d'approvisionnement, sur la durée (exp. lundi, jeudi et vendredi), ou sur l'horaire d'approvisionnement (exp. samedi et mercredi, qui enregistrent une non conformité à la fois sur l'horaire d'approvisionnement et sur la durée prévue).

Cette méthode s'appuie sur l'alimentation d'une base de données clientèle de contacts en rotation qui peut servir de repère pour la vérification de la conformité.

La feuille « Contacts » de l'outil est à renseigner par les membres du CATO à partir des appels/réclamations qu'ils reçoivent de la part des usagers.

L'objectif est d'avoir au moins un contact pour chacune des zones d'alimentation considérée pour Annaba (exp. Figure 9.27).

| Station | Zone | Nom | Téléphone | Adresse | Centre | Accepte d'être contacté |
|-----------------|-----------------|----------------|-------------|--|------------------------|--------------------------|
| SANTONS | Caroubier | Ouiness | 0771959173 | caroubier ville 96 | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| | Vieille ville | Pupe | 038411940 | place carthage vieille ville | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| | Centre ville | Guesmi | 0658434544 | rue tolba mohamed la colonne | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| | Sheraton | Hotel Sheraton | 38 45 20 00 | Boulevard Victor Hugo | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| CASBAH | Tours Belvédère | Ben Boubakeur | 0698382225 | Tours Belvédère TR:B | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| TOCHE | Rizi Amor | Hamilaoui | 0656043850 | rizi amor superieur | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| SIDI AISSA | La caroube | Saadouni | 0658949756 | la carroube pres rond point | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| ZAAFRANIA I | Gassiot | Bouchami | 0775844031 | gassiot | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| ZAAFRANIA II | Beni Mhaffeur | Pupe | 038411940 | MHAFFER CITE POLICE 200 LOGTS | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| ZAAFRANIA III | | | | | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| FAKHARINE | Fakharine | Oumeddour | 0699011211 | promotion el fakharine derriere clinique el alia | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| PLAINE OUEST | Didouche Mourad | Labidi | 0657811850 | CITE DIDOUCHE MOURAD | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| | 8 mai 45 | Boughaba | 0775844031 | 8 mai 45 | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |
| SdP OUED FORCHA | SdP Oued Forcha | Keddi | 0659068092 | 204 lgt cnep ouedforcha | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| SIDI ACHOUR | Rym | Lebza | 0557489726 | 32 lgt rym bloc3 | Centre 2 - Oued Forcha | <input type="checkbox"/> |
| SEYBOUSS | Seybouss | Hamdi | 0676581929 | sybous rue karbouai | Centre 1 - Annaba | <input type="checkbox"/> |

FIGURE 9.27 – Capture de la liste des consommateurs pour la vérification de la conformité du Planning - Mission de Annaba (janvier 2020)

La base de données est à remplir jusqu'à ce que le CATO ait suffisamment de contacts pour la vérification des horaires de livraison. Idéalement, 12 contacts par Zone seraient suffisants, afin de mettre en place un roulement d'un appel par contact toutes les 4 semaines.

Indicateurs de monitoring :

En plus des indicateurs classiques de durée et de fréquence d'approvisionnement, une fois que « les heures de desserte programmée » et « les heures de livraison factuelle » ont été saisies, plusieurs indicateurs peuvent être calculés, pour évaluer et suivre à quel point l'approvisionnement répond au programme de distribution.

Ces indicateurs peuvent renseigner si :

- La durée de l'approvisionnement est conforme à la durée de desserte annoncée (indicateur de disponibilité).
- La durée d'approvisionnement est suffisante pour remplir les dispositifs de stockage des consommateurs (indicateur de défaut de livraison).
- Le créneau de livraison pendant lequel les consommateurs ont eu de l'eau correspond bien aux heures qui leur ont été annoncées (indicateur de fiabilité).
- Les consommateurs dans différentes zones ont des créneaux d'approvisionnement similaires (indicateur d'homogénéité).

Ces indicateurs peuvent être calculés à l'échelle de la journée, de la semaine, et de l'année.

Il est à noter que les valeurs des durées minimale et maximale d'alimentation, qui permettent de calculer l'indicateur de défaut de livraison sont paramétrables par zone.

Nous proposons une initialisation à 3 et 7 heures, qui représentent respectivement, le plus court créneau et le créneau moyen de l'approvisionnement actuel dans la ville de Annaba, tel qu'annoncé par les chefs de centres consultés.

3 heures est également le temps qu'il faut pour remplir un dispositif de stockage de 1000 litres, à une pression moyenne de 3 bars et un débit moyen de 0.1 litre/seconde. Un ajustement de cette valeur peut être fait suite à une enquête sur la capacité de stockage moyenne par zone d'alimentation.

Chaque semaine, l'ensemble des indicateurs sur toutes les zones des centres Annaba I et II peuvent être calculés, avec en plus le calcul d'indicateurs moyens sur tout le périmètre, ainsi

que des graphiques de comparaison, comme le graphe de représentation de la répartition de la durée de desserte journalière entre les différentes zones d'alimentation. (cf. Figure 9.29).

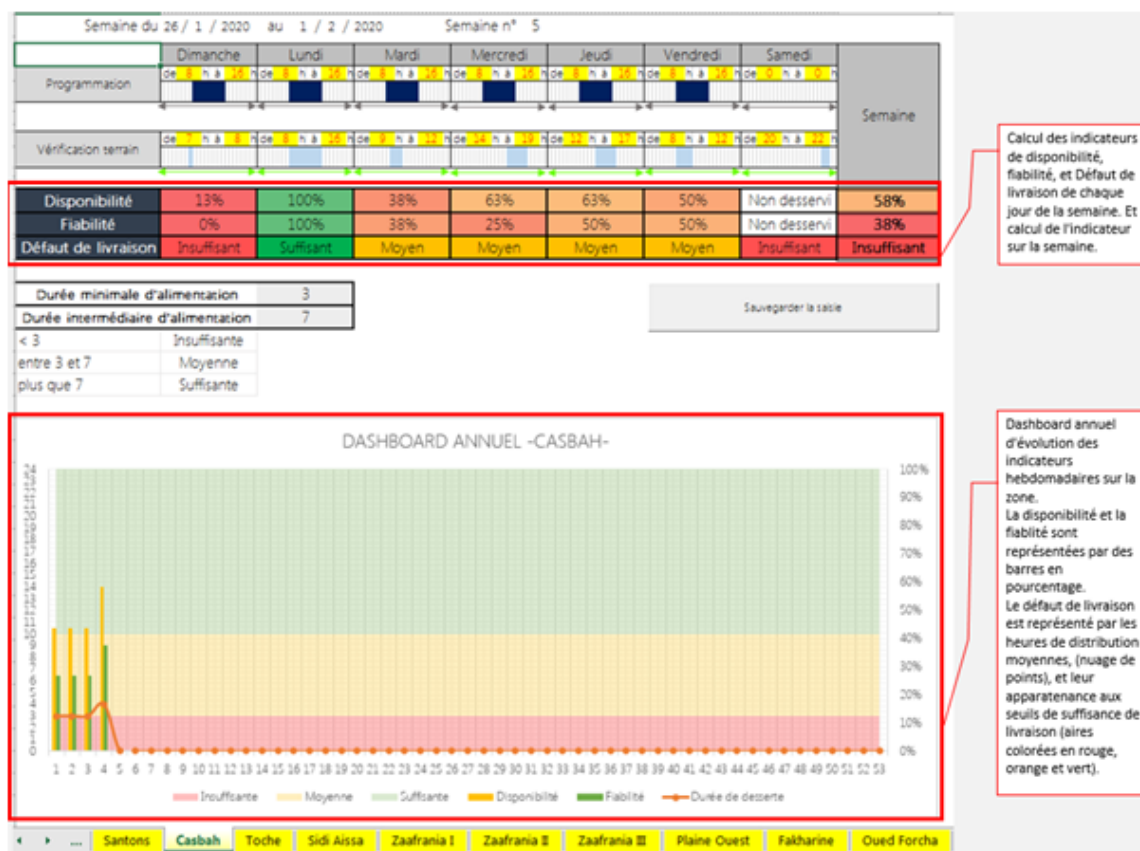


FIGURE 9.28 – Mode d'emploi de la feuille de monitoring de la zone Casbah

Cette représentation permet d'évaluer les zones qui nécessitent des actions prioritaires, et d'identifier des possibilités d'homogénéisation, qui peuvent donner lieu à des scénarios à simuler dans l'outil de planification, afin d'adapter le programme de distribution.

Enfin, il est également à noter que toutes les informations saisies et calculées sont stockées sur l'ensemble de l'année.



FIGURE 9.29 – Bilan hebdomadaire sur les centres Annaba I et II

Deux tableaux de suivi annuels peuvent ainsi être consultés (Figure 9.30) :

- Un *Dashboard* de suivi annuel de l'évolution des indicateurs de conformité moyens sur l'ensemble du périmètre
- Un *Dashboard* de suivi annuel de l'évolution de la dispersion des indicateurs de conformité entre les différentes zones d'alimentation du périmètre considéré (Centres Annaba I et II)



FIGURE 9.30 – Stockage de l'information sur l'année

Le responsable de la saisie des données dans l'outil peut être le CATO, ce fut le cas à Annaba au vu de sa mission de récolte et catégorisation des réclamations. Le département

d'exploitation, en charge des opérations est quant à lui tenu d'exploiter l'outil, pour orienter les actions de planification du programme de distribution.

L'objectif derrière la mise en place de cette procédure est de se donner les moyens d'optimiser un programme de distribution vérifié sur le terrain, et non pas un planning théorique établi uniquement au niveau de l'unité. Cette approche a pour objectif d'améliorer effectivement la qualité de service de la distribution d'eau auprès des usagers.

9.3 Synthèse du chapitre 9

L'objectif est d'améliorer la desserte en eau, selon la définition de la qualité de service d'approvisionnement par l'utilisateur. Dans cette optique, une première amélioration opérationnelle de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence a été formulée avec l'objectif d'assurer l'équité de distribution de la ressource disponible entre les différents usagers.

L'échelle considérée, au vu de la parcimonie du modèle de simulation n'est pas celle de l'utilisateur, il s'agit de celle des zones de desserte délimitées par les sources d'alimentation.

Cette opération a nécessité la formulation, l'adaptation et le couplage de plusieurs modèles :

1. Une délimitation des zones d'influence des sources d'eau du réseau, selon un critère de répartition uniforme de la pression, déployant des méthodes d'analyses de graphes pour délimiter des zones macroscopiques d'approvisionnement.
2. Au niveau des zones macroscopiques d'alimentation, une première étape de répartition de la ressource s'est basée sur l'optimisation selon deux algorithmes évolutionnaires (*Particle Swarm Optimization : PSO et algorithme génétique*) des transferts hydriques entre les zones assimilées à des bassins versants. L'objectif étant de définir un volume d'eau disponible par zone macroscopique de desserte, en fonction de la capacité de stockage et de la demande effective en eau. Cette répartition prend en considération la réponse à la demande par les mesures alternatives dans la définition d'une fonction-objectif d'équilibre des ressources (coefficient d'uniformité adapté).
3. Une fois que cette répartition volumique a été établie, l'étape suivante a consisté en la proposition d'une sectorisation homogène de la zone macroscopique, en agissant sur les ouvertures/fermetures des vannes de sectionnement au sein de la zone, en une seconde étape d'optimisation, exprimée par rapport à un critère de difficulté opérationnelle d'action du gestionnaire, évaluée selon un processus d'analyse hiérarchique, face à des contraintes de qualité.

En plus de l'adaptation du coefficient d'uniformité, la construction d'une méthodologie

de définition des poids d'optimisation permet d'impliquer l'utilisateur d'une seconde manière, en l'engageant dans la priorisation des dimensions à améliorer. Les facteurs de pondération obtenus permettraient de prendre intrinsèquement en considération les flux d'interaction impliquant les autres acteurs qui sont enracinés dans le territoire/réseau considéré.

Enfin, d'autres outils ont été proposés pour la vérification de la conformité opérationnelle des actions terrains, afin d'atteindre pratiquement les objectifs d'optimisation formulés. Ce qui permet de positionner la démarche globale comme un moyen d'action pour l'amélioration de toutes les dimensions identifiées dans le schéma d'évaluation de la qualité de service développé dans la première partie.

*“Don’t adventures ever
have an end? I suppose
not. Someone else always
has to carry on the
Story...”*

J.R.R Tolkien, *The Fellowship of
the Ring*, 1954 ¹³²

Conclusion et perspectives

132. « *Les aventures n’ont-elles jamais de fin? Je suppose que non. Quelqu’un d’autre doit toujours poursuivre l’histoire...* »

J.R.R Tolkien, La Communauté de l’Anneau, 1954

La situation mondiale actuelle est à l'origine d'un déséquilibre croissant de la disponibilité des ressources existantes, ce qui engendre d'importants défis et enjeux renforcés par les changements climatique et démographique, ainsi que l'urbanisation croissante. L'un des principaux enjeux est la sécurisation de l'accès à l'eau.

L'évolution du mode de vie de l'être humain a conduit au développement des réseaux comme moyen d'approvisionnement en lien avec le respect du droit à l'eau. Cependant, l'état de l'art en matière d'accès à l'eau montre que l'approvisionnement intermittent, qui touche une grande partie de la population mondiale, ne respecte pas toujours ce droit, même si l'eau est bien distribuée par réseau.

La question de l'intermittence n'est par ailleurs, pas suffisamment abordée dans la littérature scientifique en comparaison avec d'autres thèmes récurrents dont l'importance, ou le périmètre d'incidence sont moindres. En particulier, l'amélioration de la gestion de l'intermittence n'est pas assez explorée.

Les efforts sont orientés vers la satisfaction de la curiosité scientifique par rapport à des phénomènes très spécifiques, dont la maîtrise ne présente pas nécessairement une valeur ajoutée significative en termes d'amélioration du service correspondant au phénomène pour un usager. Du point de vue de l'opérateur, dont les contraintes sont pesantes en termes de temps et de moyens disponibles, les conditions de passage à une alimentation continue ne sont pas toujours réunies, ce qui implique que les systèmes soient gérés sous la contrainte de l'intermittence. Les objectifs contractuels de transition vers le « H24 » rendent la gestion de ce problème particulièrement difficile.

Cette question soulève l'importance de caractériser de manière compréhensive la distribution d'eau en intermittence, afin de partir sur une base de compréhension solide du régime avant d'entamer l'établissement du processus d'amélioration de l'accès à l'eau qu'il assure.

La définition de l'intermittence ne fait pas consensus dans la littérature et parmi les professionnels dans le domaine de l'eau. Elle est généralement considérée comme une anomalie de l'approvisionnement en eau par réseau, dont la norme est la continuité de service. Il est

cependant possible, à partir des multiples caractéristiques de l'intermittence et des définitions diverses que l'on trouve en littérature, de proposer une définition technique acceptable, alignée avec les obligations contractuelles associées à ce régime.

L'intermittence est alors un service plus ou moins régulier et limité dans le temps de l'approvisionnement en eau par réseau, où la pression de l'eau aux points de sortie du réseau n'est pas en permanence supérieure à un seuil donné. Cette définition reste insuffisante si on vise à inclure les interrelations au sein du régime qui dépassent l'aspect technique.

L'intermittence est considérée comme une perpétuation logique de la conjecture climatique, démographique et environnementale actuelle. Elle peut être associée à des dysfonctionnements organisationnels avec des contributions à plusieurs niveaux, dont celles de l'utilisateur du service. Le consensus existe toutefois sur les problèmes que l'intermittence génère, même si leur perception par les opérateurs et les usagers n'est pas la même, et l'impact qu'ils ont dépend des caractéristiques du régime d'intermittence et du contexte socio-économique des entités concernées.

De plus, il existe un lien étroit entre les causes de l'intermittence et les problèmes qui lui sont associés. Ces relations se traduisent globalement par une détérioration de l'état du système et de la qualité du service de distribution d'eau potable, ce qui favorise le déclenchement de l'intermittence à travers certains facteurs, ainsi que l'emprisonnement dans un cercle vicieux dont la rétroaction observée est non linéaire.

En effet, les stratégies d'adaptation adoptées par les usagers afin de se conformer au service inadéquat qu'il leur est proposé se distinguent par les nombreux effets collatéraux qu'ils génèrent. Ces mécanismes se placent en tant qu'éléments contribuant à aggraver l'établissement de l'intermittence qui est à leur origine. Ce constat souligne l'importance de la prise en compte de ces pratiques d'adaptation, et de l'implication de l'utilisateur dans toute stratégie d'amélioration du système multifactoriel de l'intermittence.

Du fait du caractère intermittent du service d'approvisionnement en eau par réseau, les besoins des usagers en termes d'accès à l'eau ne peuvent être totalement satisfaits. Cette inadé-

quation entre offre de l'opérateur et demande de l'utilisateur incite ce dernier à développer plusieurs stratégies d'adaptation, constatées dans la littérature et par les opérateurs. On y distingue deux catégories d'actions principales. En premier lieu, des mesures d'adaptation de l'offre du réseau : ce sont des pratiques qui agissent sur l'eau du réseau (principalement a posteriori) pour régulariser ou améliorer la qualité du service délivré et l'adapter aux besoins de la consommation, comprenant des activités de pompage, de tirage, de stockage ou de traitement de l'eau du réseau. L'autre catégorie comprend des modes alternatifs d'alimentation : ce sont des démarches visant à obtenir un assortiment de ressources externes, dans une optique d'élargissement et de dépassement de l'offre du réseau. Ces ressources alternatives peuvent provenir de puits, de camions-citernes, d'eau embouteillée, du recyclage d'eaux grises ou de la récupération d'eau de pluie, de sources, cours d'eau et rivières, ou de l'eau prêtée par d'autres usagers.

Le recours à ces mesures d'adaptation ou aux modes alternatifs d'approvisionnement nécessite la mise en place d'équipements adéquats, pouvant aller de bassines de récupération de l'eau du réseau ou de celle des voisins, à des infrastructures plus complexes et plus coûteuses. Dans son schéma global d'accès à l'eau, l'utilisateur va devoir interagir avec différents acteurs permettant la production, livraison, l'installation et la maintenance des équipements dédiés.

L'utilisateur étant communément destinataire de l'offre de l'opérateur, participe à la détermination de son schéma global d'accès à l'eau, qui se complexifie dans le cas d'un réseau de distribution intermittent. Les actions de l'utilisateur influencent l'offre de l'opérateur qui n'a alors plus le contrôle intégral sur le service qu'il est tenu de fournir. C'est un point important pour l'opérateur qui se doit d'examiner le service fourni par l'utilisateur du point de vue de ce dernier pour proposer des pistes d'amélioration efficaces.

Devant la pertinence de disposer d'indicateurs appropriés pour évaluer puis qualifier une amélioration du service d'approvisionnement en eau d'un système alimenté en intermittence, et compte tenu des lacunes constatées dans la littérature et dans la réglementation et les contrats des opérateurs à ce sujet, une méthode d'évaluation de la qualité de service adaptée aux spécificités de l'intermittence a été développée.

La définition des critères d'évaluation est basée sur les dimensions contenues dans la dé-

definition du droit à l'eau par l'Organisation des Nations Unies (ONU). Ainsi, les indicateurs témoignant de la qualité du service d'approvisionnement intermittent qualifient la disponibilité, la quantité, la qualité, et l'accessibilité de l'eau (physique et économique) perçue par l'utilisateur, mais donne également une estimation de l'équité de distribution de l'eau sur le réseau en question.

L'adaptation de ces indicateurs aux conditions de l'intermittence s'est faite au niveau de la construction d'un outil permettant de mesurer et suivre les progrès qui peuvent être ressentis par l'utilisateur, à la suite d'actions de l'opérateur pour l'amélioration du service, avant d'atteindre le H24. Ce schéma permet également la définition des objectifs d'amélioration qui contribuent à rompre le cercle vicieux de la dégradation du service dans le cadre de l'intermittence.

Les observations globales issues de l'exploration de la littérature et de l'analyse de plusieurs contrats ont permis de mettre en évidence la présence de nombreux acteurs qui font fonctionner l'intermittence au sein d'un écosystème équilibré. Nous avons constaté l'interdépendance de ces acteurs face à l'existence de conditions territoriales et de dynamiques politiques, économiques ou sociales bloquantes pour la mise en œuvre du plan de l'opérateur et l'atteinte ou le maintien des objectifs contractuels.

Sur cette base, nous avons formulé l'hypothèse suivante : *Dans un réseau d'eau alimenté en intermittence, l'objectif contractuel d'atteindre le H24, dans un contexte territorial, temporel, politique, social et économique donné, peut amener le gestionnaire du réseau à perturber la situation de l'utilisateur, son client, mais également de l'ensemble des acteurs (livreurs d'eau, plombiers, vendeurs de cuves, etc.) avec lesquels celui-ci est en relation et ainsi modifier largement des logiques établies de fonctionnement. Cette posture peut s'avérer contre-productive par rapport à la mission même de l'opérateur, et expliquer la difficulté d'amélioration du service généralement associée à l'intermittence.*

Cette hypothèse a été vérifiée en examinant sur terrain la stratégie implémentée par un opérateur lors de la prise en main d'un réseau en intermittence, et en identifiant les risques potentiels qui peuvent en découler. Le choix de terrain s'est porté sur Alger et Tipaza, deux wilayas limitrophes en Algérie gérées par un même opérateur, qui présentent en plus de leurs

analyses respectives, une opportunité d'investigation du cadre d'examen des limites de duplication de la stratégie de gestion de la première zone, qui a atteint le H24, vers la seconde, toujours en intermittence. La justification de ce choix se fait aussi à travers le manque de littérature scientifique en Algérie sur la gestion de l'alimentation en intermittence.

La production des données permettant d'évaluer notre hypothèse a démarré par le réseau et son arsenal d'intervenants côté gestionnaire et opérateur, pour un diagnostic du service fourni. Leur description des actions entreprises puis leur évaluation de l'évolution de la qualité de service a ensuite été examinée au regard de celle perçue par l'utilisateur. L'enquête s'est appuyée principalement sur une analyse qualitative à partir d'observations terrain, d'entretiens semi-directifs menés auprès des usagers et de différents acteurs impliqués, d'un questionnaire adressé aux usagers, et de lectures exploratoires de la littérature grise et scientifique dans le domaine de l'eau sur les terrains examinés.

L'analyse des résultats de l'enquête terrain s'est articulée en deux parties selon les deux extrémités de considération de l'amélioration du service. Une première partie porte sur la mise en confrontation de la perception de la qualité de service par l'opérateur et par l'utilisateur, selon les contraintes qui régissent l'offre et qui affectent la réponse au besoin. Puis la seconde partie s'intéresse à l'évaluation de l'atteinte de la continuité de service comme objectif d'amélioration de l'offre d'approvisionnement pour deux réseaux qui évoluent dans un contexte comparable, mais avec des conditions initiales diverses sur le plan de la ressource et de l'infrastructure.

Du côté de l'opérateur, en plus de l'aspect technique qui s'est principalement manifesté par la détérioration du réseau, une ambiguïté et un manque d'information caractéristiques de l'intermittence, l'étude a permis de révéler trois niveaux selon lesquels la réponse à l'hypothèse de départ se décline. Tout d'abord au niveau politique, puisque le H24 et son horizon d'atteinte se sont imposés dans le cas d'Alger comme un objectif politique inébranlable. Cette condition, en plus du cadre réglementaire rigide caractéristique de l'Algérie, a eu sur le long terme un effet contreproductif, exacerbé par une gestion urgentiste et réactive d'un système de plus en plus fragilisé. Au niveau du territoire, une planification homogène et partagée de l'espace urbain revêt une importance primordiale pour la réussite d'un projet d'approvisionnement en eau, surtout

dans des conditions de sécheresse, où la maîtrise de la demande est le seul moyen de faire face au manque. L'inadéquation ou l'absence d'une telle planification fragilisent le système et mettent en péril aussi bien la qualité de service que la pérennité des infrastructures. Au niveau sociétal, puisque l'utilisateur évolue dans un écosystème caractéristique d'un rapport à l'eau défini par l'offre initiale lacunaire du réseau, où sa contribution est beaucoup plus significative, et son évolution (en termes d'exigence ou d'interventions externes) a une incidence sur la résilience de l'offre de l'opérateur. Cette posture met en avant l'importance d'une politique de communication transparente envers l'utilisateur, et l'organisation de sa représentativité, au sein d'un écosystème où ses interférences avec d'autres acteurs sont multiples.

L'analyse a également permis de relever une absence d'interaction officielle entre l'opérateur et le tissu local lors de la reprise d'un nouveau réseau avec un ordre préétabli, alors même que certains de ses représentants sont impliqués. Cette posture l'empêche notamment d'identifier les moyens d'assimilation adoptés dans un contexte d'intermittence qui peut exacerber les éléments de conflit potentiel, en l'absence d'une stratégie d'intégration adéquate.

Du côté de l'utilisateur, l'analyse était orientée sur la qualification et la quantification du rapport de l'utilisateur à l'eau. L'évaluation de la qualité de service selon l'outil de qualification du service, montre que l'atteinte du H24, les capacités de stockage des ménages, le moment et la durée de la perturbation, l'inégalité de la distribution et la programmation de l'approvisionnement sont des facteurs importants pour déterminer la satisfaction de l'utilisateur, et les interactions de ces variables entraînent des effets divers sur les mesures d'adaptation des usagers.

Cette approche a également permis de se détacher de la vision de l'opérateur, afin d'identifier la nature de la demande de l'utilisateur, et de déterminer la position de l'utilisateur à savoir s'il aspire à une ressource unique, ou s'il s'agit d'une situation qui lui est imposée par le gestionnaire du service, et les différents acteurs qui définissent l'offre de service de l'eau.

L'évaluation de la situation d'approvisionnement avant et après intermittence a permis de souligner la fragilité de l'établissement d'une frontière claire entre intermittence et interruption du service, après que le H24 ait été établi, alors que les réponses des usagers sont comparables.

L'un des principaux éléments qui ressort de l'analyse des réseaux d'Alger et de Tipaza pour établir la méthodologie de réponse aux questions incluses dans l'objectif de la thèse - c'est-à-dire la construction d'un cadre de qualification des caractéristiques de l'intermittence, avec un schéma de mesure de l'amélioration - est la nature du service essentiellement coproduit qui est intrinsèque au régime, ce qui met en évidence la nécessité d'impliquer le tissu préexistant dans la définition des lignes d'action à mettre en œuvre.

Lorsque l'opérateur intervient dans le cadre de sa mission « d'amélioration » de l'offre de distribution, il perturbe l'équilibre établi par ce tissu, et génère des processus réactionnaires contre-productifs comme un refus par la population de l'idée du passage en H24, un soudoiement des vanneurs, une interdiction d'accès à des quartiers. Cette conclusion impose un élargissement du périmètre d'analyse en termes d'acteurs mais également sur l'aspect de considération de l'adéquation entre les objectifs contractuels et les résultats obtenus. L'objectif d'atteinte du H24 peut être altéré pour s'accorder selon la réalité des moyens financiers et temporels.

Les objectifs pour l'amélioration du service doivent de ce fait être redéfinis, selon une analyse et une évaluation de l'existant, et de l'identification du tissu de gestion de l'approvisionnement sur le plan politique, territorial, et sociétal, avant de formuler le plan d'optimisation technique de l'approvisionnement par le gestionnaire. Cette reformulation de l'atteinte du H24 peut être faite sous la forme du maintien sur le long terme, l'établissement d'un chemin menant à un H24 sécurisé et résilient, avec la définition et la priorisation d'objectifs d'amélioration intermédiaires contextualisés.

Afin de définir des moyens d'amélioration du système, nous avons fait le choix de nous placer du côté de l'opérateur, dont l'action d'amélioration le place en tant qu'élément perturbateur de l'équilibre établi, lorsqu'il vient prendre en main un réseau en intermittence. L'objectif est donc de proposer des solutions qui pourraient améliorer le service rendu à l'utilisateur, sans brusquer l'adaptation des flux intrinsèques au système, au vu des rôles des différents acteurs impliqués. Il s'agit pour l'opérateur de mettre en place des solutions et techniques d'optimisation de sa stratégie de gestion de l'intermittence, qui doivent s'insérer efficacement dans l'écosystème dans lequel il intervient. De plus, du fait de l'absence d'outils opérationnels dédiés à la gestion de

l'intermittence dans la littérature et sur le marché, il nous est apparu utile de concevoir des solutions pratiques pour améliorer la performance du réseau, et garantir une qualité de service optimale à l'utilisateur.

L'implémentation d'un système de contrôle optimal est très prisée au sein des systèmes à la complexité croissante que sont les réseaux d'eau potable. Ce constat est d'autant plus consolidé dans le cas des réseaux en intermittence, dont le fonctionnement est lié à plusieurs aléas, et soumis à un certain nombre de déficiences. Une démarche d'optimisation de gestion de l'intermittence adaptée consiste en la réalisation d'une stratégie support d'outils d'aide à la décision, qui permettront d'améliorer la gestion d'un système d'alimentation intermittent, en optimisant l'usage des données disponibles. Cette méthodologie comporte un choix entre des scénarii modélisés de gestion, qui sont des modes opératoires du réseau.

Un système de contrôle optimal est développé en s'appuyant sur trois modèles sous-jacents : un modèle hydraulique du réseau, un modèle de prévision de la demande, et un modèle d'optimisation. Le premier a pour but de décrire le fonctionnement de l'approvisionnement en eau du réseau. Les réseaux de distribution d'eau soumis à une alimentation intermittente sont complexes, mal décrits et souvent mal cartographiés, l'enjeu est donc d'établir dans quelle mesure on peut adapter la modélisation à l'intermittence. La modélisation de ces réseaux est un moyen de représentation qui, après calibration, permettra de simuler leur comportement, et de valider ou infirmer des procédés d'optimisation. Dans cette optique, des modèles parcimonieux sont à privilégier avec pour objet la description du système, de ses dysfonctionnements et de son incidence. La difficulté de cette opération est principalement liée aux données lacunaires et peu fiables que le réseau présente, et au manque d'adéquation entre le besoin opérationnel des gestionnaires et les résultats offerts usuellement par les modèles et outils « classiques » de distribution d'eau.

Outre le peu de données disponibles pour caractériser ces réseaux, l'alimentation en intermittence sous-entend une réponse à la demande dépendante de la pression dans le réseau, or la modélisation classique est dictée par la demande. Nous avons donc reconsidéré cette approche en liant le besoin aux points de sortie du réseau à la charge hydraulique disponible. Ce para-

mètre est également gouverné par les modes d'alimentation, côté usager, imposés par ce régime (surpresseurs et réservoirs de stockage), qui sont à inclure dans la formulation du modèle. La finalité de cet exercice était de mettre en place une évaluation des échelles spatiotemporelles les plus significatives qu'il faut considérer lors de la modélisation et la gestion de ces types de réseaux. Cela permet d'estimer les données minimales qu'il est nécessaire d'identifier sur le réseau pour que le modèle hydraulique soit utilisable et utile. Cette phase a permis d'identifier les constituants d'un modèle de gestion du réseau par rapport aux finalités qui lui sont pertinentes.

L'objectif est d'améliorer la desserte en eau, selon la définition de la qualité de service d'approvisionnement par l'utilisateur. Dans cette optique, une première amélioration opérationnelle de l'approvisionnement en eau dans le cadre de l'intermittence a été formulée avec l'objectif d'assurer l'équité dans la distribution des ressources disponibles entre les différents usagers. L'échelle considérée, étant donné la parcimonie du modèle de simulation n'est pas celle de l'utilisateur, il s'agit de celle des zones de desserte délimitées par les sources d'alimentation.

Cette opération a nécessité la formulation, l'adaptation et le couplage de plusieurs modèles, comme une délimitation des zones d'influence des sources d'eau du réseau, selon un critère de répartition uniforme de la pression. Mais aussi au niveau des zones macroscopiques d'alimentation. Une première étape de répartition de la ressource s'est basée sur l'optimisation selon deux algorithmes évolutionnaires des transferts hydriques entre les zones assimilées à des bassins versants. L'objectif étant de définir un volume d'eau disponible par zone macroscopique de desserte, en fonction de la capacité de stockage et de la demande effective en eau. Cette répartition prend en considération la réponse à la demande par les mesures alternatives dans la définition d'une fonction-objectif d'équilibre des ressources. Une fois que cette répartition volumique a été établie, l'étape suivante consiste en la proposition d'une sectorisation homogène de la zone macroscopique, en agissant sur les ouvertures/fermetures des vannes de sectionnement au sein de la zone en une seconde étape d'optimisation, exprimée par rapport à un critère de difficulté opérationnelle d'action du gestionnaire.

En plus de l'adaptation du coefficient d'uniformité, la construction d'une méthodologie de définition des poids d'optimisation a permis d'impliquer l'utilisateur d'une seconde manière,

en l'engageant dans la priorisation des dimensions à améliorer, à travers l'établissement d'un processus de réduction du questionnaire (exploité dans la Partie 2). Après optimisation, qui constitue un moyen d'action pour l'amélioration de la majorité des dimensions identifiées dans le schéma d'évaluation de la qualité de service, d'autres outils sont proposés pour la vérification de la conformité opérationnelle des actions terrains, afin d'atteindre pratiquement les objectifs d'optimisation formulés.

Cette solution opérationnelle a pour objet d'assurer un socle défini afin de mettre en place une stratégie opérationnelle globale améliorée de l'intermittence. Dans cet écosystème, la création de l'amélioration issue du travail d'optimisation de l'opérateur reste néanmoins à évaluer en prenant en considération sa portée sur la globalité du système. L'évaluation doit notamment porter sur l'évolution de la manière dont les différents acteurs peuvent s'adapter à cette évolution d'une configuration intermittente qui leur était familière, où le rôle de l'utilisateur était intégré et lui imposait le développement de compétences propres, à une évolution imposée du service qui peut les faire disparaître, et dégrader de ce fait la résilience initiale de l'approvisionnement.

References

- [Abu-Madi and Trifunovic, 2013] Abu-Madi, M. and Trifunovic, N. (2013). Impacts of supply duration on the design and performance of intermittent water distribution systems in the West Bank. *Water International*, 38(3) :263 – 282.
- [Adane et al., 2017] Adane, M., Mengistie, B., Medhin, G., Kloos, H., and Mulat, W. (2017). Piped water supply interruptions and acute diarrhea among under-five children in Addis Ababa slums, Ethiopia : A matched case-control study. *PLOS ONE*, 12(7) :e0181516.
- [Agathokleous and Christodoulou, 2016] Agathokleous, A. and Christodoulou, S. (2016). The Impact of Intermittent Water Supply Policies on Urban Water Distribution Networks. *Procedia Engineering*, 162 :204–211.
- [Aguas de Saltillo, 2018] Aguas de Saltillo (2018). City of Saltillo, Coahuila México.
- [Ahile et al., 2015] Ahile, S. I., Udoumoh, E. F., and Adzande, P. (2015). Residents Coping Strategies with Water Scarcity in Makurdi Town, Nigeria. *Mediterranean Journal of Social Sciences*.
- [Ait Oubelli, 2018] Ait Oubelli, M. (2018). Bottled waters in Algeria. Publisher : Unpublished.
- [Al-Ghamdi, 2011] Al-Ghamdi, A. S. (2011). Leakage–pressure relationship and leakage detection in intermittent water distribution systems. *Journal of Water Supply : Research and Technology—AQUA*, 60(3) :178.
- [AL-Washali et al., 2018] AL-Washali, T., Sharma, S., AL-Nozaily, F., Haidera, M., and Kennedy, M. (2018). Modelling the Leakage Rate and Reduction Using Minimum Night Flow Analysis in an Intermittent Supply System. *Water*, 11(1) :48.
- [Alazzeah et al., 2019] Alazzeah, S., Galaitsi, S., Bishara, A., Al-Azraq, N., and Durant, J. L. (2019). Impacts of Intermittent Water Supply on Water Quality in Two Palestinian Refugee

- Camps. *Water*, 11(4) :670.
- [Andey and Kelkar, 2009] Andey, S. P. and Kelkar, P. S. (2009). Influence of Intermittent and Continuous Modes of Water Supply on Domestic Water Consumption. *Water Resources Management*, 23(12) :2555–2566.
- [Aroua, 2012] Aroua, N. (2012). Les ressources en eau dans le schéma national d'aménagement du territoire en Algérie. Entre nécessités économiques et exigences écologiques. page 19, IUFM d'Auvergne.
- [Ayoub and Malaeb, 2006] Ayoub, G. M. and Malaeb, L. (2006). Impact of intermittent water supply on water quality in Lebanon. *International Journal of Environment and Pollution*, 26(4) :379.
- [Baisa et al., 2010] Baisa, B., Davis, L. W., Salant, S. W., and Wilcox, W. (2010). The welfare costs of unreliable water service. *Journal of Development Economics*, 92(1) :1–12.
- [Barrau and Levy, 2014] Barrau, E. and Levy, M. (2014). Une innovation dans la gestion de l'eau potable dans les quartiers précaires de Port-au-Prince : expérimentation, tentatives d'institutionnalisation et d'adaptation aux crises. *Field Actions Science Reports*, page 8.
- [Barrera et al., 1993] Barrera, R., Avilla, J., and Gonzalez-Tellez, S. (1993). Unreliable Supply of Potable Water and Elevated *Aedes Aegypti* Larval Indices : A Causal Relationship? page 7.
- [Batish, 2003] Batish, R. (2003). A new approach to the design of intermittent water supply networks. In *World Water & Environmental Resources Congress 2003*, pages 1–11.
- [Benblidia and Thivet, 2010] Benblidia, M. and Thivet, G. (2010). Gestion des ressources en eau : les limites d'une politique de l'offre. page 15.
- [Biggs et al., 2013] Biggs, E., Duncan, J., Atkinson, P., and Dash, J. (2013). Plenty of water, not enough strategy : How inadequate accessibility, poor governance and a volatile government can tip the balance against ensuring water security : The case of nepal. *Environmental Science & Policy*, 33 :388–394.
- [Bivins, 2017] Bivins, A. W. (2017). Detailed Review of a Recent Publication : Intermittent water supply jeopardizes water quality and costs users and utilities money. *WaSH Policy Research Digest*, (7).

- [Bivins et al., 2017] Bivins, A. W., Sumner, T., Kumpel, E., Howard, G., Cumming, O., Ross, I., Nelson, K., and Brown, J. (2017). Estimating Infection Risks and the Global Burden of Diarrheal Disease Attributable to Intermittent Water Supply Using QMRA. *Environmental Science & Technology*, 51(13) :7542–7551.
- [Blanc and Riès, 2007] Blanc, A. and Riès, A. (2007). La Régie des eaux de Phnom Penh : un modèle de gestion publique efficace. page 28.
- [Bozorg-Haddad et al., 2016] Bozorg-Haddad, O., Hoseini-Ghafari, S., Solgi, M., and Loáiciga, H. A. (2016). Intermittent Urban Water Supply with Protection of Consumers’ Welfare. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 7(3) :04016002.
- [Brick et al., 2004] Brick, T., Primrose, B., Chandrasekhar, R., Roy, S., Muliyl, J., and Kang, G. (2004). Water contamination in urban south India : household storage practices and their implications for water safety and enteric infections. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207(5) :473–480.
- [Burden et al., 1981] Burden, R. L., Faires, J. D., and Burden, A. M. (1981). *Numerical analysis*. Cengage learning.
- [Burt et al., 2018] Burt, Z., Ercümen, A., Billava, N., and Ray, I. (2018). From intermittent to continuous service : Costs, benefits, equity and sustainability of water system reforms in Hubli-Dharwad, India. *World Development*, 109 :121–133.
- [Button, 2016] Button, C. (2016). The co-production of a constant water supply in mumbai’s middle-class apartments. *Urban Research & Practice*, 10 :1–18.
- [Butzer, 2002] Butzer, K. W. (2002). *Early hydraulic civilization in Egypt : a study in cultural ecology*. UMI Books on Demand, Ann Arbor, Mich. OCLC : 1170244528.
- [Campisano et al., 2018] Campisano, A., Gullotta, A., and Modica, C. (2018). Using EPA-SWMM to simulate intermittent water distribution systems. *Urban Water Journal*, 15(10) :925–933.
- [Carpenter, 1875] Carpenter, A. (1875). The Fever at Croydon : And Intermittent Water-Supply as a Cause of Typhoid. *British Medical Journal*, 2(777) :632 – 635.
- [Cary, Giglio and Melo, 2018] Cary, Giglio and Melo, editor (2018). *Affronter le manque d’eau dans une métropole : le cas de Recife (Brésil)*. Presses universitaires du Septentrion,

Villeneuve-d'Ascq, France.

- [Chang et al., 2021] Chang, D. E., Yoo, D. G., and Kim, J. H. (2021). A study on the practical pressure-driven hydraulic analysis method considering actual water supply characteristics of water distribution network. *Sustainability*, 13(5).
- [Charalambous and Nguyen, 2017] Charalambous and Nguyen (2017). The challenge of dealing with intermittent water supply. page 29.
- [Charalambous, 2011] Charalambous, B. (2011). The hidden costs of resorting to intermittent supply. *IWA Water*.
- [Charalambous and Laspidou, 2017a] Charalambous, B. and Laspidou, C. (2017a). Dealing with the Complex Interrelation of Intermittent Supply and Water Losses. *Water Intelligence Online*, 16 :9781780407074.
- [Charalambous and Laspidou, 2017b] Charalambous, B. and Laspidou, C. (2017b). Dealing with the complex interrelation of intermittent supply and water losses.
- [Chikhr Saïdi, 1997] Chikhr Saïdi, F. (1997). *La crise de l'eau à Alger : une gestion conflictuelle*. L'Harmattan, Paris.
- [Christodoulou and Agathokleous, 2012] Christodoulou, S. and Agathokleous, A. (2012). A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks. *Water Science & Technology : Water Supply*, 12(4) :523 – 530.
- [Conejos et al., 2017] Conejos, M. P., Alzamora, F. M., and Alonso, J. C. (2017). A water distribution system model to simulate critical scenarios by considering both leakage and pressure dependent demands. *Procedia Engineering*, 186 :380–387.
- [Cook et al., 2016] Cook, J., Kimuyu, P., and Whittington, D. (2016). The costs of coping with poor water supply in rural Kenya : Coping costs of poor water. *Water Resources Research*, 52(2) :841–859.
- [Cosgrove and Rijsberman, 2000] Cosgrove, W. J. and Rijsberman, F. R. (2000). *World Water Vision : Making Water Everybody's Business*. Routledge, 1 edition.
- [Costa et al., 2015] Costa, M., Morais, E., Passos, M., Lima, E., Silva, L., Borges, M., and Figueiredo, E. (2015). Estudo da qualidade das Águas adicionadas de sais produzidas no estado do ceará. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, 19 :211–218.

- [Coulibaly et al., 2014] Coulibaly, L., Jakus, P. M., and Keith, J. E. (2014). Modeling water demand when households have multiple sources of water. *Water Resources Research*, 50(7) :6002–6014.
- [Criminisi et al., 2009] Criminisi, A., Fontanazza, M., Freni, G., and La Loggia, G. (2009). Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science & Technology : WST*, 60(9) :2373 – 2382.
- [Danilenko, 2014] Danilenko, A. (2014). The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014. page 169.
- [Dauda, Yacob and Radam, 2015] Dauda, Yacob and Radam (2015). Household’s willingness to pay for heterogeneous attributes of drinking water quality and services improvement : an application of choice experiment. *Applied Water Science*, 5(3) :253–259.
- [de Albuquerque, 2010] de Albuquerque, C. (2010). Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development. Addendum A/HRC/15/31/Add.1. United Nations Human Rights Council, Koninklijke Brill NV. type : dataset.
- [De Marchis et al., 2010] De Marchis, M., Fontanazza, C., Freni, G., La Loggia, G., Napoli, E., and Notaro, V. (2010). A model of the filling process of an intermittent distribution network. *Urban Water Journal*, 7(Issue 6) :321–333.
- [De Marchis et al., 2011] De Marchis, M., Fontanazza, C. M., Freni, G., La Loggia, G., Napoli, E., and Notaro, V. (2011). Analysis of the impact of intermittent distribution by modelling the network-filling process. *Journal of Hydroinformatics*, 13(3) :358 – 373.
- [De Marchis et al., 2013] De Marchis, M., Fontanazza, C. M., Freni, G., La Loggia, G., Notaro, V., and Puleo, V. (2013). A mathematical model to evaluate apparent losses due to meter under-registration in intermittent water distribution networks. *Water Science & Technology : Water Supply*, 13(4) :914 – 923.
- [den Dekker, 2020] den Dekker, P. (2020). Strategy to transition from an intermittent to a continuous water supply using a district metering area approach. Master’s thesis, TU Delft Civil Engineering and Geosciences.
- [Desjeux, 2004] Desjeux, D. (2004). Les échelles d’observation en sciences sociales. page 11.

- [Dupuy, 1991] Dupuy, G. (1991). *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*. Armand Colin.
- [Effah et al., 2013] Effah, E., Memon, F., and Bicik, J. (2013). Improving equity in intermittent water supply systems. *Aqua*, 62 :552.
- [El Achi and Rouse, 2020] El Achi, N. and Rouse, M. J. (2020). A hybrid hydraulic model for gradual transition from intermittent to continuous water supply in amman, jordan : a theoretical study. *Water Supply*, 20.
- [Elala, Labhassetwar and Tyrrel, 2011] Elala, Labhassetwar and Tyrrel (2011). Deterioration in water quality from supply chain to household and appropriate storage in the context of intermittent water supplies. *Water Science & Technology : Water Supply*, 11(4) :400 – 408.
- [Elhay and Simpson, 2011] Elhay, S. and Simpson, A. R. (2011). Dealing with Zero Flows in Solving the Nonlinear Equations for Water Distribution Systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(10) :1216–1224.
- [Emamjomeh and Hosseini, 2012] Emamjomeh, H. and Hosseini, M. (2012). Reliability Assessment of Water Distribution Networks Considering Mechanical-Hydraulic Behavior Using Informational Entropy. page 10.
- [Epp and Fowler, 1971] Epp, R. and Fowler, A. G. (1971). Efficient code for steady-state flows in networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 96 :43–56.
- [Ercumen et al., 2015] Ercumen, A., Arnold, B. F., Kumpel, E., Burt, Z., Ray, I., Nelson, K., and Colford Jr, J. M. (2015). Upgrading a piped water supply from intermittent to continuous delivery and association with waterborne illness : a matched cohort study in urban India. *PLoS Med*, 12(10) :e1001892.
- [Erickson et al., 2017] Erickson, J. J., Smith, C. D., Goodridge, A., and Nelson, K. L. (2017). Water quality effects of intermittent water supply in Arraiján, Panama. *Water Research*, 114 :338–350.
- [Ernest Effah Ameyaw et al., 2013] Ernest Effah Ameyaw, Fayyaz Ali Memon, and Josef Bicik (2013). Improving equity in intermittent water supply systems. *Journal of Water Supply : Research and Technology - AQUA*, 62(8) :552 – 562.

- [Fan et al., 2014] Fan, L., Liu, G., Wang, F., Ritsema, C. J., and Geissen, V. (2014). Domestic Water Consumption under Intermittent and Continuous Modes of Water Supply. *Water Resources Management*, 28(3) :853–865.
- [Ferrier, 2001] Ferrier, C. (2001). Bottled Water : Understanding a Social Phenomenon. *AM-BIO : A Journal of the Human Environment*, 30(2) :118–119.
- [Franceys and Jalakam, 2010] Franceys, R. and Jalakam, A. (2010). The Karnataka Urban Water Sector Improvement Project : 24x7 Water Supply is Achievable. Technical report, World Bank – Water and Sanitation Program.
- [Frauendorfer and Liemberger, 2010] Frauendorfer, R. and Liemberger, R. (2010). *The issues and challenges of reducing non-revenue water*. OCLC : 891385979.
- [Freni et al., 2014] Freni, G., De Marchis, M., and Napoli, E. (2014). Implementation of pressure reduction valves in a dynamic water distribution numerical model to control the inequality in water supply. *Journal of Hydroinformatics*, 16(1) :207.
- [Galaitisi et al., 2016] Galaitisi, S., Russell, R., Bishara, A., Durant, J., Bogle, J., and Huber-Lee, A. (2016). Intermittent Domestic Water Supply : A Critical Review and Analysis of Causal-Consequential Pathways. *Water*, 8(7) :274.
- [Gasson, 2017] Gasson, C. (2017). A New Model For Water Access : The report of the Global Agenda Council on Water 2014 - 2016. Technical report, Global Water Leaders, Oxford.
- [Georges M Ayoub, 2006] Georges M Ayoub (2006). Impact of intermittent water supply on water quality in Lebanon. *Int. J. Environment and Pollution*, 26(4) :379 – 397.
- [Germanopoulos, 1988] Germanopoulos, G. (1988). *Modelling and operational control of water supply networks*. PhD thesis, Imperial College of Science and Technology.
- [Gleick and Iwra, 1996] Gleick, P. H. and Iwra, M. (1996). Basic Water Requirements for Human Activities : Meeting Basic Needs.
- [Gohil, 2013] Gohil, R. N. (2013). Continuous supply system against existing intermittent supply system. *International Journal for Scientific Research & Development*, 1(2).
- [Gottipati and Nanduri, 2014] Gottipati, P. V. K. S. V. and Nanduri, U. V. (2014). Equity in water supply in intermittent water distribution networks : Equity in water supply. *Water and Environment Journal*, 28(4) :509–515.

- [Government of India, 1999] Government of India (1999). Manual on Water Supply and Treatment CPHEEO.
- [Government of India, 2009] Government of India (2009). Service Level Benchmarking Databook : Improving service outcomes 2008 – 2009. Technical report, Ministry of Urban Development, Delhi.
- [Guragai et al., 2017] Guragai, B., Takizawa, S., Hashimoto, T., and Oguma, K. (2017). Effects of inequality of supply hours on consumers' coping strategies and perceptions of intermittent water supply in Kathmandu Valley, Nepal. *Science of The Total Environment*, 599-600 :431–441.
- [Haddad et al., 2014] Haddad, M., Mcneil, L., and Omar, N. (2014). Model for Predicting Disinfection By-product (DBP) Formation and Occurrence in Intermittent Water Supply Systems : Palestine as a Case Study. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(8) :5883–5893.
- [Harrouz et al., 2017] Harrouz, O., Brémond, B., Habi, M., and Harrouz, A. (2017). Modèle de simplification des réseaux d'eau potable. *LARHYSS Journal ISSN 1112-3680*, (30) :253–272.
- [Hastak et al., 2017] Hastak, S., Labhasetwar, P., Kundley, P., and Gupta, R. (2017). Changing from intermittent to continuous water supply and its influence on service level benchmarks : a case study in the demonstration zone of nagpur, india. *Urban Water Journal*, 14(7) :768–772.
- [Hernandez-Lopez et al., 2016] Hernandez-Lopez, R. D., Tzatchkov, V. G., Martin-Dominguez, A., and Alcocer-Yamanaka, V. H. (2016). Study of hydraulics and mixing in roof tanks used in intermittent water supply. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 6(4) :547–554.
- [Herrera et al., 2016] Herrera, M., Abraham, E., and Stoianov, I. (2016). A Graph-Theoretic Framework for Assessing the Resilience of Sectorised Water Distribution Networks. *Water Resources Management*, 30(5) :1685–1699.
- [Höcherl et al., 2016] Höcherl, N., Kennedy, S., and Tautz, J. (2016). Nest thermoregulation of the paper wasp polistes dominula. *Journal of Thermal Biology*, 60 :171–179.
- [Hodge, 2002] Hodge, T. (2002). *Roman Aqueducts and Water Supply in Ancient Civilizations*, volume 2nd Edition. London, gerald duckworth & co. ltd edition.

- [Holland, 1973] Holland, J. H. (1973). Genetic algorithms and the optimal allocation of trials. *SIAM journal on computing*, 2(2) :88–105.
- [Howard and Bartram, 2003] Howard, G. and Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. page 39.
- [Hunter and Fewtrell, 2001] Hunter, P. R. and Fewtrell, L. (2001). Acceptable Risk. In *Water quality : guidelines, standards, and health : assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*, World Health Organization water series. World Health Organization, Geneva.
- [Ilaya-Ayza et al., 2016] Ilaya-Ayza, A., Campbell, E., Pérez-García, R., and Izquierdo, J. (2016). Network Capacity Assessment and Increase in Systems with Intermittent Water Supply. *Water*, 8(4) :126.
- [Ilaya-Ayza et al., 2017a] Ilaya-Ayza, A., Martins, C., Campbell, E., and Izquierdo, J. (2017a). Implementation of DMAs in Intermittent Water Supply Networks Based on Equity Criteria. *Water*, 9(11) :851.
- [Ilaya-Ayza, 2014] Ilaya-Ayza, A. E. (2014). Sectorization of Intermittent Water Supply Networks Based on Graph Theory and Clustering Techniques. *Ingeniería del agua*, 18(1) :ix.
- [Ilaya-Ayza, 2016] Ilaya-Ayza, A. E. (2016). *Propuesta para la transición de un sistema con suministro de agua intermitente a suministro continuo*. PhD thesis, Universitat Politècnica de València.
- [Ilaya-Ayza et al., 2017b] Ilaya-Ayza, A. E., Benítez, J., Izquierdo, J., and Pérez-García, R. (2017b). Multi-criteria optimization of supply schedules in intermittent water supply systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 309 :695–703.
- [Ilaya-Ayza et al., 2018] Ilaya-Ayza, A. E., Martins, C., Campbell, E., and Izquierdo, J. (2018). Gradual transition from intermittent to continuous water supply based on multi-criteria optimization for network sector selection. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330 :1016–1029.
- [Imache et al., 2006] Imache, A., Chabaca, M. N., Djebbara, M., and Merabet, B. (2006). Demandes en eau des exploitations agricoles du périmètre irrigué de la Mitidja ouest (Algérie). page 14, Marrakech.

- [Ingeduld et al., 2008] Ingeduld, P., Pradhan, A., Svitak, Z., and Terrai, A. (2008). Modelling Intermittent Water Supply Systems with EPANET. pages 1–8. American Society of Civil Engineers.
- [Ishaku et al., 2011] Ishaku, H. T., Majid, M. R., Ajayi, A. A., and Haruna, A. (2011). Water Supply Dilemma in Nigerian Rural Communities : Looking Towards the Sky for an Answer. *Journal of Water Resource and Protection*, 03(08) :598–606.
- [Izouaouen, 2014] Izouaouen, N. (2014). Dossier de l’eco n° 101.
- [J.A. Cabrera-Bejar and V.G. Tzatchkov, 2009] J.A. Cabrera-Bejar and V.G. Tzatchkov (2009). Inexpensive modeling of intermittent service water distribution networks. pages 295 – 304, Kansas City, Missouri, United States.
- [Jensen et al., 2002] Jensen, P. K., Ensink, J. H. J., Jayasinghe, G., van der Hoek, W., Cairncross, S., and Dalsgaard, A. (2002). Domestic transmission routes of pathogens : the problem of in-house contamination of drinking water during storage in developing countries. *Tropical Medicine and International Health*, 7(7) :604–609.
- [Juliet Christian-Smith et al., 2013] Juliet Christian-Smith, Balazs, C., Matthew Heberger, and Karl Longley (2013). *Assessing Water Affordability : A Pilot Study in Two Regions of California*. Pacific Institute, Oakland, California.
- [Kaci and Abtroun, 2012] Kaci, M. and Abtroun, A. (2012). La filière boissons en algérie.
- [Katuwal and Bohara, 2007] Katuwal, H. and Bohara, A. (2007). Coping with Unreliable Water Supplies and Willingness to Pay for Improved Water Supplies in Kathmandu, Nepal. page 36.
- [Kingdom et al., 2006] Kingdom, B., Liemberger, R., and Marin, P. (2006). The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries How the Private Sector Can Help : A Look at Performance-Based Service Contracting. Technical Report 39405, The World Bank, Washington DC.
- [Klassert et al., 2015] Klassert, C., Sigel, K., Gawel, E., and Klauer, B. (2015). Modeling Residential Water Consumption in Amman : The Role of Intermittency, Storage, and Pricing for Piped and Tanker Water. *Water*, 7(12) :3643–3670.
- [Kleiner, 1999] Kleiner, S. M. (1999). Water. *Journal of the American Dietetic Association*, 99(2) :200–206.

- [Kleiner et al., 1998] Kleiner, Y., Adams, B. J., and Rogers, J. S. (1998). Long-term planning methodology for water distribution system rehabilitation. *Water Resources Research*, 34(8) :2039 – 2051.
- [Klingel and Nestmann, 2014] Klingel, P. and Nestmann, F. (2014). From intermittent to continuous water distribution : a proposed conceptual approach and a case study of Béni Abbès (Algeria). *Urban Water Journal*, 11(3) :240–251.
- [Korb, 2010] Korb, J. (2010). Termite mound architecture, from function to construction. *Biology of termites : a modern synthesis*, pages 349–373.
- [Kube and Bonabeau, 2000] Kube, C. R. and Bonabeau, E. (2000). Cooperative transport by ants and robots. *Robotics and autonomous systems*, 30(1-2) :85–101.
- [Kumpel and Nelson, 2014] Kumpel and Nelson (2014). Mechanisms Affecting Water Quality in an Intermittent Piped Water Supply. *Environmental Science & Technology*, 48(5) :2766 – 2775.
- [Kumpel, 2013] Kumpel, E. (2013). Water Quality and Quantity in Intermittent and Continuous Piped Water Supplies in Hubli-Dharwad, India. page 108.
- [Kumpel and Nelson, 2013] Kumpel, E. and Nelson, K. L. (2013). Comparing microbial water quality in an intermittent and continuous piped water supply. *Water Research*, 47(14) :5176–5188.
- [Kumpel and Nelson, 2016] Kumpel, E. and Nelson, K. L. (2016). Intermittent Water Supply : Prevalence, Practice, and Microbial Water Quality. *Environmental Science & Technology*, 50(2) :542–553.
- [Kumpel et al., 2017] Kumpel, E., Woelfle-Erskine, C., Ray, I., and Nelson, K. L. (2017). Measuring household consumption and waste in unmetered, intermittent piped water systems : Water use in intermittent piped systems. *Water Resources Research*, 53(1) :302–315.
- [KyeongAe Choe et al., 1996] KyeongAe Choe, Robert C. G. Varley, and H. U. Bijlani (1996). Coping with intermittent water supply : Problems and prospects. Technical report.
- [Lantagne et al., 2006] Lantagne, D. S., Quick, R., and Mintz, E. D. (2006). Household Water Treatment and Safe Storage Options in developing countries. Technical report.

- [Laspidou and Spyropoulou, 2017] Laspidou, C. and Spyropoulou, A. (2017). Global dimensions of IWS – number of people affected worldwide. In *Dealing with the Complex Interrelation of Intermittent Supply and Water Losses*, volume 16, pages 5 – 16.
- [Lee and Schwab, 2005] Lee, E. J. and Schwab, K. J. (2005). Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health*, 3(2) :109–127.
- [Lee and Kong, 2017] Lee, H. and Kong, M. (2017). Analysis on Level of Service for Asset Management in Water Supply Network. 12(20) :6.
- [Lefkir, 2000] Lefkir, A. (2000). *Contribution à l'optimisation des réseaux de distribution d'eau*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics.
- [Lejeune and Rugh, 1985] Lejeune, R. and Rugh, W. (1985). Linearization of nonlinear systems about constant operating points. *IEEE transactions on automatic control*, 30(8) :804–808.
- [Li et al., 2019] Li, R., Wing, C. K., and Zeng, F. (2019). Ranking of risks for the existing and new building works. *Sustainability*, 11 :2863.
- [Lieb, 2016] Lieb, A. M. (2016). Modeling and optimization of transients in water distribution networks with intermittent supply. page 134.
- [Lieb et al., 2016] Lieb, A. M., Rycroft, C. H., and Wilkening, J. (2016). Optimizing Intermittent Water Supply in Urban Pipe Distribution Networks.
- [Lingireddy and Bhatt, 2017] Lingireddy, S. and Bhatt, T. R. (2017). Essential Tools for Effective Transition from Intermittent to Continuous Water Supply. In *World Environmental and Water Resources Congress 2017*, pages 267–277, Sacramento, California. American Society of Civil Engineers.
- [Lingireddy and Brion, 2005] Lingireddy, S. and Brion, G. (2005). *Artificial Neural Networks in Water Supply Engineering*. American Society of Civil Engineers.
- [Loubser, Basson and Jacobs, 2020] Loubser, Basson and Jacobs (2020). A conceptual index for benchmarking intermittent water supply in a water distribution system zone. *Water SA*, 46(1 January).
- [Loubser, Jacobs and Basson, 2017] Loubser, Jacobs and Basson (2017). A new index system for intermittent water supply. page 8.

- [Lv et al., 2021] Lv, T., Wang, L., Xie, H., Zhang, X., and Zhang, Y. (2021). Evolutionary overview of water resource management (1990–2019) based on a bibliometric analysis in web of science. *Ecological Informatics*, 61 :101218.
- [Macke and Batterman, 2001] Macke, S. and Batterman, A. (2001). *A Strategy to Reduce Technical Water Losses for Intermittent Water Supply Systems*. PhD thesis.
- [Martínez Alzamora et al., 1999] Martínez Alzamora, F., Conejos, P., and Vercher, J. (1999). Developing an integrated model for water distribution systems considering both distributed leakage and pressure-dependent demands. pages 1–14.
- [Mastaller and Klingel, 2017] Mastaller, M. and Klingel, P. (2017). Adapting the IWA water balance to intermittent water supply and flat-rate tariffs without customer metering. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(3) :396–406.
- [Mastaller and Klingel, 2018] Mastaller, M. and Klingel, P. (2018). Application of a water balance adapted to intermittent water supply and flat-rate tariffs without customer metering in Tiruvannamalai, India. *Water Science and Technology : Water Supply*, 18(1) :347–356.
- [Mays, 1999] Mays, L. (1999). *Hydraulic Design Handbook*. McGraw-Hill handbooks. McGraw-Hill.
- [Mays, 2000] Mays, L. W., editor (2000). *Water distribution systems handbook*. McGraw-Hill, New York.
- [McIntosh, 2003] McIntosh, A. C. (2003). *Asian water supplies : reaching the urban poor : a guide and sourcebook on urban water supplies in Asia for governments, utilities, consultants, development agencies, and nongovernment organizations*. Asian Development Bank ; International Water Association, Manila, Philippines : London. OCLC : ocm53826577.
- [Mohammed and Sahabo, 2015] Mohammed, A. B. and Sahabo, A. A. (2015). Water Supply and Distribution Problems in Developing Countries : A Case Study of Jimeta-Yola, Nigeria. 1(4) :11.
- [Mokssit et al., 2018] Mokssit, A., de Gouvello, B., Chazerain, A., Figuères, F., and Tassin, B. (2018). Building a Methodology for Assessing Service Quality under Intermittent Domestic Water Supply. *Water*, 10(9) :1164.

- [Mucchielli, 1994] Mucchielli, A. (1994). *Les méthodes qualitatives / Alex Mucchielli*. Que sais-je? Presses universitaires de France, Paris, 2e éd. corrigée edition.
- [Nace, 1967] Nace, R. L. (1967). Are We Running Out of Water? page 12.
- [Naimi-Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2014a] Naimi-Ait-Aoudia, M. and Berezowska-Azzag, E. (2014a). Algiers carrying capacity with respect to per capita domestic water use. *Sustainable Cities and Society*, 13 :1–11.
- [Naimi-Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2014b] Naimi-Ait-Aoudia, M. and Berezowska-Azzag, E. (2014b). Household water consumption in Algiers facing population growth. page 12.
- [Naimi Ait-Aoudia and Berezowska-Azzag, 2016] Naimi Ait-Aoudia, M. and Berezowska-Azzag, E. (2016). Water resources carrying capacity assessment : The case of Algeria's capital city. *Habitat International*, 58 :51–58.
- [Neelakantan et al., 2014] Neelakantan, T., Rammurthy, D., Smith, S., and Suribabu, C. (2014). Expansion and Upgradation of Intermittent Water Supply System. *Asian J. Appl. Sci*, (7) :470 – 485.
- [Nyahora et al., 2020] Nyahora, P. P., Babel, M. S., Ferras, D., and Emen, A. (2020). Multi-objective optimization for improving equity and reliability in intermittent water supply systems. *Water Supply*, 20(5) :1592–1603.
- [OMS, 2012] OMS (2012). Evaluation des options de traitement domestique de l'eau. Technical report.
- [Onda et al., 2012] Onda, K., LoBuglio, J., and Bartram, J. (2012). Global Access to Safe Water : Accounting for Water Quality and the Resulting Impact on MDG Progress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(3) :880–894.
- [Ormsbee, 2006] Ormsbee, L. E. (2006). The History of Water Network Analysis : The Computer Age. Cincinnati, Ohio.
- [PAHO, 2001] PAHO (2001). PAHO and WHO Regional 2001 Report on the Evaluation 2000 in the Region of the Americas. Technical report, Pan American Health Organization.
- [Pearson, 2019] Pearson, D. (2019). *Standard Definitions for Water Losses*. IWA Publishing.

- [Perelman and Ostfeld, 2011] Perelman, L. and Ostfeld, A. (2011). Topological clustering for water distribution systems analysis. *Environmental Modelling & Software*, 26(7) :969–972.
- [Philipp Klingel, 2012] Philipp Klingel (2012). Technical causes and impacts of intermittent water distribution. *Water Science & Technology : Water Supply*, 12(4) :504 – 512.
- [Potter and Darmame, 2010] Potter, R. B. and Darmame, K. (2010). Contemporary social variations in household water use, management strategies and awareness under conditions of ‘water stress’ : The case of Greater Amman, Jordan. *Habitat International*, 34(1) :115–124.
- [Rabah and Jarada, 2012] Rabah, F. K. and Jarada, A. E. (2012). Leakage control and hydraulic modeling for intermittent water supply systems - gaza city case study. page 14.
- [Ray et al., 2018] Ray, I., Billava, N., Burt, Z., Nelson, K., and Woelfle-Erskine, C. (2018). From Intermittent to Continuous Water Supply. (49) :11.
- [Rosenberg et al., 2008] Rosenberg, D. E., Talozzi, S., and Lund, J. R. (2008). Intermittent water supplies : challenges and opportunities for residential water users in Jordan. *Water International*, 33(4) :488–504.
- [Rossman, 2002] Rossman, L. A. (2002). EPANET 2 Users Manual. page 200.
- [Saaty, 1980] Saaty, T. L. (1980). How to make a decision : The Analytic Hierarchy Process. page 18.
- [Sanjay and Dahasahasra, 2007] Sanjay, D. and Dahasahasra, V. (2007). A model for transforming an intermittent into a 24x7 water supply system. page 6.
- [Sashikumar et al., 2003] Sashikumar, N., Mohankumar, M. S., and Sridharan, K. (2003). Modelling an Intermittent Water Supply. pages 1–11. American Society of Civil Engineers.
- [Seetharam and Birdges, 2010] Seetharam, K. E. and Birdges, G. (2010). Helping India Achieve 24x7 Water Supply Service by 2010. page 9.
- [Shaheed et al., 2014] Shaheed, A., Orgill, J., Ratana, C., Montgomery, M. A., Jeuland, M. A., and Brown, J. (2014). Water quality risks of ‘improved’ water sources : evidence from Cambodia. *Tropical Medicine & International Health*, 19(2) :186–194.
- [Shiklomanov, 1993] Shiklomanov, I. (1993). World fresh water resources. In *Water in Crisis : A Guide to the World’s Fresh Water Resources*. New York, oxford university press edition.

- [Shrestha and Buchberger, 2012] Shrestha, M. and Buchberger, S. G. (2012). Role of Satellite Water Tanks in Intermittent Water Supply System. In *World Environmental and Water Resources Congress 2012*, pages 944–951, Albuquerque, New Mexico, United States. American Society of Civil Engineers.
- [Shuang et al., 2017] Shuang, Q., Liu, Y., Tang, Y., Liu, J., and Shuang, K. (2017). System Reliability Evaluation in Water Distribution Networks with the Impact of Valves Experiencing Cascading Failures. *Water*, 9(6) :413.
- [Simukonda et al., 2018a] Simukonda, K., Farmani, R., and Butler, D. (2018a). Causes of water supply intermittency in Lusaka City in Zambia. page 19.
- [Simukonda et al., 2018b] Simukonda, K., Farmani, R., and Butler, D. (2018b). Intermittent water supply systems : causal factors, problems and solution options. *Urban Water Journal*, 15(5) :488–500.
- [Sitthiyot and Holasut, 2020] Sitthiyot, T. and Holasut, K. (2020). A simple method for measuring inequality. *Palgrave Communications*, 6(1) :1–9.
- [Skivaniotis and Angelakis, 2006] Skivaniotis, M. and Angelakis, A. (2006). Water for Human Consumption through the History. Iraklio, Greece.
- [Solgi et al., 2016] Solgi, M., Bozorg Haddad, O., and Ghasemi Abiazani, P. (2016). Optimal Intermittent Operation of Water Distribution Networks under Water Shortage. *Journal of Water & Wastewater*, 28(3).
- [Solgi et al., 2015] Solgi, M., Bozorg Haddad, O., Seifollahi-Aghmiuni, S., and Loáiciga, H. A. (2015). Intermittent Operation of Water Distribution Networks Considering Equanimity and Justice Principles. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 6(4) :04015004.
- [Soltanjalili et al., 2013] Soltanjalili, M.-J., Bozorg Haddad, O., and Mariño, M. A. (2013). Operating Water Distribution Networks during Water Shortage Conditions Using Hedging and Intermittent Water Supply Concepts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(6) :644–659.
- [Sridhar, 2013] Sridhar, S. (2013). Intermittent Water Supplies : Where and why they are currently used and why their future use should be curtailed. Master’s thesis, University of Toronto.

- [Stacie E. Dunkle et al., 2011] Stacie E. Dunkle, Adamma Mba-Jonas, Anagha Loharikar, Bernadette Fouché, Mireille Peck, Tracy Ayers, W. Roodly Archer, Valery M. Beau De Rochars, Thomas Bender, Daphne B. Moffett, and Jordan W. Tappero (2011). Epidemic Cholera in a Crowded Urban Environment, Port-au-Prince, Haiti - Volume 17, Number 11—November 2011 - Emerging Infectious Disease journal - CDC.
- [Stephen Nyende-Byakika, 2012] Stephen Nyende-Byakika (2012). Modeling flow regime transition in intermittent water supply networks using the interface tracking method. *International Journal of the Physical Sciences*, 7(2).
- [Subhrendu K. Pattanayak and Yang, 2005] Subhrendu K. Pattanayak and Yang, J.-C. (2005). Coping with unreliable public water supplies - Averting expenditures by households in Kathmandu, Nepal.pdf. *Water Resources Research*, 41.
- [Taylor, 2014] Taylor, D. D. J. (2014). *Reducing Booster-Pump-Induced Contaminant Intrusion in Indian Water Systems with a Self-Actuated, Back-Pressure Regulating Valve*. PhD thesis.
- [Taylor et al., 2018] Taylor, D. D. J., Slocum, A. H., and Whittle, A. J. (2018). Analytical scaling relations to evaluate leakage and intrusion in intermittent water supply systems. *PLOS ONE*, 13(5) :e0196887.
- [Taylor et al., 2019] Taylor, D. D. J., Slocum, A. H., and Whittle, A. J. (2019). Demand Satisfaction as a Framework for Understanding Intermittent Water Supply Systems. *Water Resources Research*, 55(7) :5217–5237.
- [Taylor, 2009] Taylor, R. (2009). What is the infrastructure leakage index and how did Waitakere city council manage to achieve and ILI of 1? page 9.
- [Thawkar and Hailkar, 2017] Thawkar, P. and Hailkar, S. (2017). Feasibility study of converting existing intermittent water supply into 24x7 water supply of ramnagar, gondia district. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6.
- [The United Nations, 2015] The United Nations (2015). The Human Right to Water and Sanitation - Media Brief. pages 1 – 8, Geneva, Switzerland.
- [Thompson and International Institute for Environment and Development, 2001] Thompson, J. and International Institute for Environment and Development (2001). *Drawers of*

- water II : 30 years of change in domestic water use & environmental health in East Africa.* International Institute for Environment and Development, London. OCLC : 1170390871.
- [Totsuka et al., 2004] Totsuka, N., Trifunovic, N., and Vairavamoorthy, K. (2004). Intermittent urban water supply under water starving situations. In *People-centred approaches to water and environmental sanitation*, Vientiane, Lao PDR.
- [Trifunović, 2006] Trifunović, N. (2006). *Introduction to urban water distribution*. UNESCO-IHE lecture note series. Taylor & Francis, London ; New York. OCLC : ocm63227329.
- [United Nations, 2010] United Nations (2010). Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010. 64/292. The human right to water and sanitation.
- [United Nations, 1949] United Nations, U. (1949). Technical assistance for economic development : addendum to 2nd report / by the secretary-general. Technical report.
- [United Nations Office to support the International Decade 'Water for life' 2005-2015, 2012] United Nations Office to support the International Decade 'Water for life' 2005-2015 (2012). UN-Water Decade Programme on Advocacy and Communication (UNW-DPAC). Technical report, Zaragoza, Spain.
- [U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey, 2017] U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey (2017). Open-File Report : Public Supply and Domestic Water Use in the United States, 2015. Open-File Report.
- [Vacs Renwick, 2013] Vacs Renwick, D. A. (2013). *The effects of an intermittent piped water network and storage practices on household water quality in Tamale, Ghana*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- [Vairavamoorthy and Elango, 2002] Vairavamoorthy and Elango (2002). Guidelines for the design and control of intermittent water distribution systems. *Waterlines*, 21(1) :19–21.
- [Vairavamoorthy, 1994] Vairavamoorthy, K. (1994). *Water Distribution Networks : Design and control for Intermittent Supply*. PhD thesis, Imperial College of Science and Technology.
- [Vairavamoorthy et al., 2001] Vairavamoorthy, K., Akinpelu, E., Lin, Z., and Ali, M. (2001). Design of sustainable water distribution systems in developing countries. In *Bridging the Gap : Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges*, pages 1–10.

- [Vairavamoorthy and Ali, 2000] Vairavamoorthy, K. and Ali, M. (2000). Optimal design of water distribution systems using genetic algorithms. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15(5) :374–382.
- [Vairavamoorthy et al., 2008] Vairavamoorthy, K., Gorantiwar, S. D., and Pathirana, A. (2008). Managing urban water supplies in developing countries – Climate change and water scarcity scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(5) :330–339.
- [Vásquez et al., 2009] Vásquez, W. F., Mozumder, P., Hernández-Arce, J., and Berrens, R. P. (2009). Willingness to pay for safe drinking water : Evidence from Parral, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 90(11) :3391–3400.
- [Wagner et al., 1988] Wagner, J. M., Shamir, U., and Marks, D. H. (1988). Water distribution reliability : Simulation methods. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114 :276–294.
- [Walski et al., 2003] Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., and Beckwith, S. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*.
- [Walter et al., 2017] Walter, D., Mastaller, M., and Klingel, P. (2017). Accuracy of single-jet water meters during filling of the pipe network in intermittent water supply. *Urban Water Journal*, 14(10) :991–998.
- [Whittington, 2002] Whittington, D. (2002). Household demand for improved piped water services : evidence from Kathmandu, Nepal. *Water Policy*, 4(6) :531–556.
- [Whittington et al., 1991] Whittington, D., Lauria, D. T., and Mu, X. (1991). A study of water vending and willingness to pay for water in Onitsha, Nigeria. *World Development*, 19(2-3) :179–198.
- [WHO, 2017a] WHO (2017a). Potable reuse : Guidance for producing safe-drinking water. Technical report.
- [WHO, 2017b] WHO (2017b). Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2017. Technical report.
- [WHO and UNICEF, 2000] WHO and UNICEF, editors (2000). *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. World Health Organization ; UNICEF, Geneva : New York.

- [WHO Regional Office for South-East Asia, 2005] WHO Regional Office for South-East Asia (2005). Minimum water quantity needed for domestic use. Technical Report 9.
- [WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme, 2015] WHO/UNICEF Joint Water Supply and Sanitation Monitoring Programme (2015). *25 years progress on sanitation and drinking water : 2015 update and MDG assessment*. OCLC : 948776048.
- [Wilson, 1984] Wilson, L. (1984). Report and recommendation of the president of the international bank for reconstruction and development to the executive directors on a proposed loan in an amount equivalent to US \$290 million to the democratic and popular republic of Algeria for an Algiers regional water supply project. Technical Report P-3847-AL, Washington DC, USA.
- [Woeikof, 1901] Woeikof, A. I. (1901). De l'influence de l'homme sur la terre. *Annales de Géographie*, 10(51) :193–215.
- [Wood and Charles, 1972] Wood, D. J. and Charles, C. O. A. (1972). Hydraulic network analysis using linear theory. *Journal of the Hydraulics Division*, 98(7) :1157–1170.
- [World Health Organization and Unicef, 2017] World Health Organization and Unicef (2017). Safely managed drinking water - thematic report on drinking water 2017. Technical report, Geneva, Switzerland.
- [World Meteorological Organization et al., 2004] World Meteorological Organization, on the Impact of Management Strategies in Agriculture and Forestry to Mitigate Greenhouse Gas Emissions and to Adapt to Climate Variability and Climate Change, C. W. G., and Organization, W. M., editors (2004). *Management strategies in agriculture and forestry for mitigation of greenhouse gas emissions and adaptation to climate variability and climate change : report of the CAgM-XII Working Group on the Impact of Management Strategies in Agriculture and Forestry to Mitigate Greenhouse Gas Emissions and to Adapt to Climate Variability and Climate Change ; [at the] twelfth session [of CAgM] held in Accra, Ghana, in February [18-26], 1999*. Number no. 202 in Technical note. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. OCLC : ocm61669926.
- [Zhang, 2017] Zhang, X. (2017). *Modeling transient flow in intermittent water supply System*.

PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

- [Zozmann et al., 2019] Zozmann, H., Klassert, C., Sigel, K., Gawel, E., and Klauer, B. (2019). Commercial Tanker Water Demand in Amman, Jordan—A Spatial Simulation Model of Water Consumption Decisions under Intermittent Network Supply. *Water*, 11(2) :254.
- [Zérah, 2000] Zérah, M.-H. (2000). Household strategies for coping with unreliable water supplies : the case of Delhi. *Habitat International*, 24(3) :295–307.

Annexes

.1 Grille d'entretien et exemple de réponse sur version papier

Plan thématique¹³³

| Thématique | Question | Relances |
|--|---|---|
| Expérience avec les systèmes intermittents | Avez-vous eu l'occasion de gérer des réseaux fonctionnant en intermittence ? | Le réseau permettait-il une distribution de l'eau 24h sur 24 ? à tous les secteurs hydrauliques ? A combien (en pourcentage de réseau) estimeriez-vous la taille de la zone qui ne recevait pas d'eau par moments ? |
| Nature de l'intermittence | De quelle nature était/est l'intermittence du réseau ? | Est-ce lié à une programmation de l'accès à l'eau ? La population était-elle au courant des horaires où elle allait recevoir de l'eau ? Existait-il un planning de distribution ? et le cas échéant, à quoi ressemblait-il ? |
| Cause de l'intermittence | Selon vous, quelle est la principale raison pour laquelle le réseau est en intermittence plutôt qu'en alimentation continue ? | La ressource est-elle suffisante pour alimenter la population en continu ? Toute la population est-elle raccordée au réseau ? A combien estimeriez-vous les pertes physiques sur le réseau ? |
| Historique de l'intermittence | Pourriez-vous estimer quand est ce que le réseau a commencé à fonctionner en intermittence ? | Gardez-vous en mémoire une époque où le réseau permettait une alimentation continue ? Comment la transition a-t-elle eu lieu ? |
| Dysfonctionnements | Quels sont les problèmes que ce type d'alimentation pose ? | Pour un réseau conçu pour fonctionner en charge, cet usage avec les cycles de remplissage, vidage pose-t-il des problèmes spécifiques ? (Liés à la qualité des eaux, de service, économique, la population, ou autre) Y a-t-il des dysfonctionnements qui ne sont pas forcément liés à l'intermittence ? |
| Classement des problèmes | Quel est selon vous le dysfonctionnement lié à l'intermittence qui mériterait d'être résolu en urgence ? | En tant qu'opérateur, croyez-vous que la résolution d'un problème particulier (ou plus) aurait un impact très important dans la résolution d'une majorité de dysfonctionnements liés à l'intermittence ? |
| Passage en 24/7 | Envisage-t-on de passer en système continu ? | Est-ce que l'alimentation 24/7 est l'objectif final de la gestion du réseau ? Si oui, quelles sont les mesures et plan d'actions érigés dans ce sens ? Sinon, existe-t-il des solutions à moyen ou long terme pour gérer l'intermittence efficacement ? |
| Données disponibles | Quelles sont les données disponibles sur l'état du réseau ? | Comment le réseau peut-il être décrit à une heure H ? est-on en mesure d'avoir des informations fiables sur l'alimentation, les caractéristiques physiques et/ chimiques de l'écoulement ? |
| Modèles utilisés | Quels sont les modèles utilisés pour la représentation du réseau ? | Utilise-t-on des modèles numériques/ logiciels pour représenter le réseau ? Peut-on les adapter facilement aux particularités du réseau ? le recours aux modèles est-il vraiment nécessaire ? Quelle fiabilité leur accorde-t-on sur le terrain ? |

133. Etapes préalables :

- Introduction de l'interviewer : Présentation et parcours
- Demande à la personne interrogée de se présenter en énonçant sa mission et son parcours (permet de mieux évaluer son domaine de compétence)
- Introduction du sujet de l'entretien : « Dans le cadre du projet de recherche de la DIPI destiné à améliorer la connaissance et les outils de SUEZ pour gérer le passage de l'intermittence à l'alimentation continue, ainsi que définir et développer les bonnes pratiques lorsque les réseaux fonctionnent de façon permanente en distribution intermittente et que le passage en 24/7 n'est pas possible. Afin d'appuyer le travail des experts de Suez, une thèse est cofinancée par le Centre Technique Distribution, en partenariat avec l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Comme vous avez contribué à la capitalisation de l'expérience du groupe sur ce sujet, j'aimerais vous poser quelques questions autour des challenges auxquels les opérateurs doivent faire face, pour que mon travail de thèse réponde au mieux aux besoins opérationnels du terrain. »

Version papier (exemple de réponse de Nicolas Monterde - Aguas de Saltillo)
Questionnaire on intermittent water supply (IWS) networks

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| PRESENTATION | Expert's name | Nicolas Monterde |
| | Affiliation | |
| | Current activity/profession | Planning Manager in Aguas de Saltillo. Industrial Engineer. |
| | Occupation (past or present) relevant to IWS (Please indicate the years) | Technical Manager in Aguas de Saltillo from 2011 to 2017. Responsible for drinking and waste water networks O&M and Planning office in the company. |
| NETWORK | Perimeter | |
| | Length | 2600 km |
| | Supplied population | More than 800,000 people |
| EXPERIENCE WITH IWS SYSTEMS | Have you had the opportunity to manage or work on networks that operate intermittently? | Yes, my experience has taken place here in Saltillo, México both working and managing a network that currently operate intermittently. |
| | If so, could you please state what they were and when. | In Saltillo Mexico from 2011 to present |
| | Was the network able to distribute water 24 hours a day? to all hydraulic sectors? | Some sectors are in 24/7 while others get water less than that. In my opinion, it's not only a problem of network capacity but extraction and distribution schema. |
| | How much (in percentage of network) would you estimate the size of the area that did not receive water at times? | Between 60 and 70% |
| NATURE OF INTERMITTENCY | What is/was the intermittence regime of the network? | Nowadays the availability is near 18.5 hours/user/day |
| | Is it related to water access scheduling? | Yes |
| | Was the population made aware of the times they were going to get water? | Yes, Aguas de Saltillo publish the distribution schedule by different means to make it possible to know when users are receiving water |
| | Was there a distribution schedule? and if so, what did it look like? | Yes. We have a schedule showing when (days of week and times) each neighborhood is getting water. |
| CAUSES | In your opinion, what is the main reason why the network is intermittent rather than continuous? | The main reason is related with the amount of water available to be extracted and the relative low efficiency of networks |
| | Is the resource sufficient to supply the population on a continuous basis? | Yes |
| | Is the entire population connected to the network? | Around 99% of the population is connected |
| | How much would you estimate the value of the physical losses on the network? | Around 20% of water supplied to the system |

| | | |
|------------------------|---|--|
| HISTORY | Can you estimate when the network started operating intermittently? | I'm not really sure but probably during 80's or early 90's |
| | Do you remember a time when the network provided continuous power? | No |
| | How did the transition (if any) take place? | I guess it became the solution adopted when increasing population overpassed the extraction and network capacity |
| MALFUNCTIONS | What are the problems with this type of supply? | The supply is not equal for all the users. A problem to supply a single sector usually becomes a problem affecting many sectors as a chain reaction. |
| | For a network designed to operate under pressure, do the filling cycles pose specific problems? (Related to water quality, accessibility, service, price, population, or other) | Yes, filling cycles are the main cause of a higher burst frequency both in mains and service connections. Usually we don't have problems related with quality. On the other hand some zones of the city suffer from less accessibility due to intermittent supply. |
| | Are there dysfunctions that are not necessarily related to intermittency? | Yes, there are some problems related to the way the city grew up and the lack of urban planning. In some sectors we also have problems related to poor quality of materials (pipes, valves, etc.) |
| PROBLEM RANKING | In your opinion, what dysfunction linked to intermittency should be resolved as a matter of urgency? | The first thing to do would be to control and reduce the burst frequency and thus the leakage. We are implementing a pressure management system on the whole network in order to reduce peak pressures and flowrates. This plan has made it possible to reduce burst frequencies. |
| | As an expert, do you believe that solving a particular problem (or more) would have a very significant impact in solving a majority of intermittent malfunctions? | Yes, as said previously, reducing leakage would result in a higher availability and a way to reduce intermittency. Of course, there are other issues related to capacity of network, the actual operation schema, etc that should be taken into account. |
| 24/7 CONVERSION | Was/is a conversion to 24/7 ever considered? | Yes, moving into 24/7 is a goal of the company almost from the beginning of operations. We have been working on that, I think, with good results but it's in the last 2 years when we have started to set plans to finally converse to 24/7 in the next 2 years. |
| | Is 24/7 power supply the ultimate goal of that network management? If so, what measures and action plans have been put in place? | Well it's not the ultimate goal as we have ambitious goals related to network efficiency for the next years, but we are aware that the most effective way to improve our efficiency is moving to continuous supply. In order to do so, we are carrying out a Sectorization and Pressure Management Plan over the whole network that is expected to be finish by the end of 2018. |
| | If not, are there medium- or long-term solutions for managing intermittency effectively? | |

| | | |
|-----------------------|---|---|
| AVAILABLE DATA | What data is available to describe the state of the network ? | We have a quite reliable cartography of network, a growing set of sensors on the network and many data gather by our people in field. |
| | How can the network be described at a given hour ? | We have a distribution schedule that is supposed to show the times each sector get water. This is quite detailed but not so accurate as we would like. We are also installing a system of more than 300 pressure and flowrate sensors on the network that provides more accurate and reliable information of the way network works. |
| | Is it possible to have reliable information on the supply (flow rate, pressure), physical and/or chemical characteristics of the flow ? | Yes, as I said before, we are implementing a wide system of sensors to get flow rate and pressure data. We also have a routine sampling plan to test water quality both in sources and supplying points. At the moment, we are not having important problems with water quality. |
| MODELLING | What models are used to represent the network ? | For design, and sometimes operational, purposes we usually use network mathematical models. |
| | Are there any numerical models/software used to represent the network ? | We use our GIS information linked to our commercial data base to build an EPANET network model. |
| | Can they be easily adapted to the particularities of the network ? | Well, it's necessary to make some adaptations and to use some field information, but in general it's not complicated to adapt to actual operation rules. |
| | is the use of models really necessary ? | Yes of course. The use of models prevents us from making some wrong decision (not 100% of them) and helps us to realize some situations we didn't consider in advance. |
| | How reliable are they for day to day operations ? | They usually check with usual operation rules, but they would probably fail to simulate abnormal situations. |
| STAKEHOLDERS | Can you name the different actors involved in the management of this type of network? and that can have an impact on its improvement | End-users as the suffer network malfunctions Public servants in the municipality Real – State developers |

**Thank you very much for your contribution and your time,
Assia Mokssit, PhD Candidate**

2 Critères de choix des terrains d'études

| Type de réseau | Objectif | Questions | Etapes | Moyens | Exemples | |
|---|--|---|---|--|---|---|
| Réseau qui était en intermittence et qui est passé, entièrement ou en partie en H24 | Analyse rétrospective : Revenir sur le passé pour voir ce qui a été fait à petite échelle | Quels sont les liens entre les actions entreprises et l'amélioration de la qualité de service de l'eau ? (Etablissement + Quantification) Quelle est la différence de perception entre l'opérateur et l'utilisateur ? | <ul style="list-style-type: none"> — Identification exhaustive des différents acteurs et parties prenantes concernées par le projet — Formulation des périmètres d'impact de chacun des acteurs sur le projet — Sondage de leur ressenti par rapport à la situation initiale, et au projet de passage en continu/amélioration de service <ul style="list-style-type: none"> • Evaluation et analyse de la situation initiale du réseau en se basant sur les paramètres de disponibilité, quantité, qualité, accessibilité, prix et équité. — Appliquer l'échelle d'évaluation de la qualité de service à un terrain pratique — Valider la pertinence des échelles/paramètres d'amélioration de la qualité de service. — Situer un cas sur le camembert, voir si les gens s'y retrouvent ou pas... — Observation des moyens d'amélioration de la qualité de service pour le passage en continu (sur la zone pilote) et dans le cadre de l'intermittence sur le reste du réseau, pendant la période transitoire. — Capitalisation de la méthodologie pour la construction d'une approche applicable dans d'autres projets dans des contextes comparables. | <p><u>L'enquête qualitative :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> — Interviews des parties prenantes à travers, des entretiens individualisés, du porte à porte, distribution de questionnaires, l'organisation de réunions de convergence. <ul style="list-style-type: none"> — Le suivi des opérations et des indicateurs — Logement par l'habitant — Appui sur des acteurs médians — Etude d'archives — Analyse comparative et rétrospective (sur le démarrage du contrat) — Recherche documentaire — Questionnaire usagers | Alger, Malviya Nagar à New Delhi | |
| Réseau toujours en intermittence : en projet d'amélioration de service ou en début de la période de transition vers le H24 | Analyse de la situation initiale : Évaluer la situation actuelle et le potentiel d'amélioration | Quels sont les acteurs qui interviennent dans la fourniture de l'eau (l'eau qui est bue repose sur X nombre d'acteurs) Comment les gens se fournissent (Tankers, Bonbonnes, forages privés (les bonbonnes peuvent être remplies par l'eau du robinet...)), et à quel prix ? Relation entre origine et usage : Est-ce que les gens imaginent boire l'eau du robinet ? Est-ce qu'ils sont d'accord avec le passage au continu ? | | | <ul style="list-style-type: none"> — Comment la continuité de service est-elle perçue ? Dégager les autres considérations : continuité d'approvisionnement en bonbonnes, remplissage des réservoirs... — Évaluation du caractère plus ou moins publicisé de l'intermittence : Entre un opérateur qui le sait mais ne le dit pas, et un opérateur qui ne le sait pas. — Existe-t-il une logique spatiale/temporelle de la communication ? — Mise en confrontation avec les attendus et contraintes de l'opérateur : Apparition ou non en tant que critère de performance. — Comment ça se passe pour les nouveaux contrats SUEZ ? Hypothèse : États des lieux, KPIs définis au préalable — Comment la passation se produit elle ? Hypothèse : avant SUEZ, gestion du réseau par des opérateurs, Arrivée de SUEZ, ils restent — Comment l'opérateur fait des choix de distribution : Décrire la logique d'allocation (pratiques) purement technico-économiques | <p>Tipaza, Coimbatore, Davangere, Sénégal</p> |
| | Positionnement par rapport à l'intermittence : Formalisation de la reconnaissance de l'intermittence | Comment la continuité de service est-elle perçue ? Dégager les autres considérations : continuité d'approvisionnement en bonbonnes, remplissage des réservoirs... | | | | |
| | Adaptabilité et adaptation : Observation du démarrage d'un contrat d'un réseau en Intermittence | Évaluation du caractère plus ou moins publicisé de l'intermittence : Entre un opérateur qui le sait mais ne le dit pas. | | | | |
| | | Existe-t-il une logique spatiale/temporelle de la communication ? | | | | |
| | | Mise en confrontation avec les attendus et contraintes de l'opérateur : Apparition ou non en tant que critère de performance. | | | | |
| | | Comment ça se passe pour les nouveaux contrats SUEZ ? Hypothèse : États des lieux, KPIs définis au préalable | | | | |
| | | Comment la passation se produit elle ? Hypothèse : avant SUEZ, gestion du réseau par des opérateurs, Arrivée de SUEZ, ils restent | | | | |
| | | Comment l'opérateur fait des choix de distribution : Décrire la logique d'allocation (pratiques) purement technico-économiques | | | | |
| | | Observation technique de la transition : Usages + pratiques de l'entreprise + comment ça fonctionne | | | | |
| Réseau toujours en intermittence au service amélioré | Evaluation et évolution de la qualité de service : Exemple de gravisement des échelons (dans le camembert) | Comment se manifeste l'amélioration de la qualité de service dans le cadre de l'intermittence ? | | | Saltillo, Tipaza | |

.3 Guide d'entretien des opérateurs de SEAAL et l'ADE

| Thème | Sous-thèmes | Questions | Relances | |
|---|---|---|--|---|
| Historique | Alimentation en eau à Alger | Quelle était la situation de l'alimentation en eau à Alger avant l'arrivée de SEAAL ? | H24, Raccordabilité, LPCD, Fréquence, Moyens d'alimentation et d'adaptation | |
| | | Qu'est ce qui a été fait par les autorités algériennes avant le début du contrat ? | Investissements, introduction de SEAAL/SUEZ à la population | |
| | | Comment la situation a-t-elle évolué ? (entre 2006 et avant octobre 2010) | Gestion de l'intermittence, choix des zones à passer en H24, Réaction de la population | |
| | | Comment la situation a évolué entre 2010 et aujourd'hui ? | Nouveaux objectifs, Maintien du H24, coupures, rebasculé en intermittence | |
| | | Le maintien du H24 est-il assuré ? Existe-t-il des contraintes saisonnières ? | Pic Été, mois de Ramadan | |
| | | Quelles sont les prévisions pour l'alimentation en Eau à Alger dans les 10 prochaines années | Durabilité du H24 face au stress hydrique de l'Algérie | |
| | Alimentation en eau à Tipasa | Quelle était la situation de l'alimentation en eau à Tipasa avant l'arrivée de SEAAL ? | H24, Raccordabilité, LPCD, Fréquence, Moyens d'alimentation et d'adaptation | |
| | | Qu'est ce qui a été fait par les autorités algériennes avant le début du contrat ? | Investissements, introduction de SEAAL/SUEZ à la population | |
| | | Comment la situation a-t-elle évolué ? (entre 2012 et aujourd'hui) | Evolution des Indicateurs, réponse de la population | |
| | Comparaison Alger et Tipasa | Comment l'évolution de la situation est monitorée ? | Fréquence de monitoring, indicateurs suivis | |
| | | Le H24 est-il atteignable avec les ressources actuelles ? | Si oui, à quel échéance ? Sinon que faut-il pour l'atteindre ? Objectif alternatif | |
| | SEAAL | En quoi les deux situations d'Alger et Tipasa sont similaires ? En quoi sont-elles différentes ? | Point de départ, ressources et objectifs | |
| Comment se fait la distinction de la gestion entre les deux wilayas ? | | Ressources communes et ressources spécialisées | | |
| Quelles sont les circonstances de la création de SEAAL ? | | Clauses de l'appel d'offre puis du contrat | | |
| Quel est le périmètre d'action de SEAAL ? | | En termes de renouvellement, extension du réseau, capacité d'investissement, marge de manœuvre | | |
| Gestion technique | Réseau | Est-ce que les objectifs du 1er contrat ont été atteints ? Quels sont les engagements contractuels : comment se traduit le H24 à ce niveau ? quels sont les moyens d'évaluation ? | Pénalité encourue (6 mois de retard) | |
| | | Quelles sont les évolutions les plus notables entre le 1er et le 2nd contrat ? | Evolution du périmètre, Objectifs et indicateurs. | |
| | Organisation | Quelles sont les caractéristiques du réseau à Alger ? Comment a-t-il évolué ? | Points d'entrée, sources, étages de pression, sectorisation, extensions (synoptique) | |
| | | Quelles sont les caractéristiques du réseau à Tipasa ? Le dimensionnement prend-il en compte l'intermittence ? | Points d'entrée, sources, étages de pression, sectorisation, extensions (synoptique) | |
| | Enjeux | Comment la gestion technique du réseau est-elle organisée ? | En intermittence, en H24, en période de transition | |
| | | Quel est le périmètre technique d'action de SEAAL ? | Réseau de transport et de distribution, ou plus ? | |
| | Procédure opérationnelle | Quels sont les enjeux techniques relatifs à chacun des régimes, à chacun des deux réseaux ? | Etat du patrimoine, ENF, Gestion de la pression, Ouverture/fermeture des vannes | |
| | | Quelles sont les procédures opérationnelles liées à l'intermittence ? | Organisation de la gestion des vannes, chaîne de commande, personnes impliquées | |
| | | Quelles sont les procédures opérationnelles lors d'une coupure exceptionnelle ? | Comparaison avec procédure de la coupure de l'intermittence, personnes impliquées | |
| | | Comment le reporting est-il établi ? Quelles sont les actions qui en découlent ? | Reporting des interruptions, existence d'indicateurs, lien avec les réclamations | |
| | Planification | Gestion des Ressources | Quelles sont les responsabilités d'un agent qui manœuvre les vannes ? Sa journée type ? | Tâche unique ou autres responsabilités + formations, agents géographiques |
| | | | Entretien avec Agents terrain ? | |
| Quelles étaient les ressources disponibles au début du contrat ? Quelles ressources ont été acquises depuis ? | | | Usines de traitement, stations de dessalement, forages, équivalent en m3 | |
| À quelles dates ? | | | | |
| Quelles sont les principales étapes d'acquisition des ressources ? | | | Années d'exploitation des différentes stations/usines/forages | |
| Comment la distribution de la ressource est gérée en situation de manque ? | | | Critères et volumes attribués aux différents secteurs | |
| Gestion du Réseau | | Comment s'est fait l'estimation du besoin en eau au début du contrat ? À quelle fréquence le schéma directeur est-il renouvelé ? | Pour le H24 à quel horizon ? | |
| | | Comment se fait la coordination avec d'autres exploitants des ressources en eau ? | Exp. Direction de l'agriculture / irrigation | |
| | | Comment les ressources sont-elles gérées au niveau de chacun des réseaux ? Y a-t-il des transferts ? | obligations des autorités (sur quelle base ? Conso + ENF ?) + investissements mis en place + ont-ils été tenus ? | |
| | | Quels sont les engagements contractuels des autorités algériennes en termes de ressources | Projets d'acquisition de nouvelles ressources | |
| | | Les ressources actuelles sont-elles suffisantes pour répondre au besoin (et maintenir le H24 pour les prochaines années ? À quel horizon ?) | | |
| | | Quel était l'état du réseau (de transport et de distribution) au début du contrat ? (Alger et Tipasa) | Couverture, âge des canalisations, matériaux | |
| Gestion de l'intermittence | Comment s'est fait l'acheminement des nouvelles ressources ? | Extension du réseau de transport et ses limites | | |
| | Comment a-t-il évolué ? Comment son état structurel a évolué ? | Extensions, renouvellement, engagements contractuels ? | | |
| | Comment se présente le réseau au niveau des zones rurales de Tipasa ? | étapes de raccordement, branchements individuels ou collectifs, solutions intermédiaires | | |
| Politique tarifaire | Comment s'opère le choix des zones qui passent en H24 ? Où les volumes d'eau sont augmentés ? | Logique de transition en H24, contraintes autres qu'hydrauliques | | |
| | Comment les plannings de distribution sont-ils établis ? | choix des volumes, horaires et zones | | |
| Politique tarifaire | Un retour à l'intermittence est-il anticipé ? | En cas d'insuffisance des ressources face à l'urbanisation et l'explosion démographique | | |
| | Quel était le prix de l'eau avant l'arrivée de SEAAL ? | Evolution du prix du m3 (coût de production et distribution et tarif) | | |
| | Qui définit le tarif de l'eau/ s'occupe de la collecte et de la relève ? | SEAAL ou les autorités algériennes | | |
| | Existe-t-il une subvention de l'état ? (comparaison en Alger et Tipasa, H24 et intermittence) | Quel est le pourcentage de subvention de l'eau par l'état (prise en charge de la différence entre le coût d'un m3 et le prix payé par le consommateur), est-ce constant ? | | |
| | Comment la politique tarifaire change en fonction de la qualité de service ? | le prix de l'eau est-il adapté en cas de coupure d'eau | | |

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Gestion économique | | Le prix de l'eau a-t-il évolué depuis le début du contrat ? | Passage de l'intermittence au H24, selon le type de desserte de la zone ? | |
| | | Selon quelle logique la politique tarifaire est-elle établie ? | Tranches tarifaires, type de service | |
| | Indicateurs économiques | Existe-t-il des indicateurs économiques à respecter dans le contrat ? | Ou utilisés en interne pour évaluer l'efficacité de la distribution | |
| | Relève et recouvrement | | A quelle fréquence la relève est-elle assurée ? Qui s'en occupe ? | Géoréférencement des clients, définition du type de relève et du métier de releveur |
| | | | Quel est le taux de recouvrement à Alger et Tipasa ? | Relation entre taux de recouvrement et intermittence / satisfaction des clients |
| | | | A-t-il évolué depuis les débuts des contrats respectifs ? | Evolution des recettes avant et juste après le passage en H24 |
| Coping costs | | Une estimation des coûts d'adaptation des consommateurs en cas de défaillance de la qualité de service a-t-elle été établie | Dans le calcul d'indicateurs économiques, notamment utilisés lors des campagnes de sensibilisation | |
| | | Comment est géré le coût des camions citernes lorsqu'ils sont utilisés ? | Qui paie pour cette eau et cette voie de distribution ? | |
| Communication | Campagne de sensibilisation / communication | Comment le consommateur perçoit le passage en H24 ? | L'alimentation continue est-elle une demande du consommateur, y a-t-il eu des oppositions ? Appréhensions ? | |
| | | Y a-t-il des réclamations par rapport à l'équité de distribution de l'eau ? | Entre quartiers en intermittence et en H24, entre différents quartiers en intermittence par rapport aux horaires, débits, pressions. | |
| | | La consommation d'eau a-t-elle évolué après le passage en H24 ? Intérêt de campagnes de sensibilisation contre le gaspillage | Courbes de consommations avant et après H24 à Alger | |
| | | SEAAL a-t-elle eu besoin de communiquer ses avancées ? Si oui, comment ? | Demande de transparence/diffusion de la part des consommateurs, autres acteurs ? | |
| | Feedback des consommateurs | Comment est organisé le centre clientèle ? Sur Alger et sur Tipasa | Description de la procédure de recueil de réclamation et les actions qui suivent | |
| | | Comment la satisfaction des consommateurs est-elle estimée ? | Procédure de gestion de la satisfaction clientèle | |
| | Volet social | Comment cela se traduit il en indicateurs | % satisfaction (comment est-ce calculé ?), représentativité de l'échantillon ? | |
| | Gestion de l'intermittence | Qualification des catégories sociales, tarifs préférentiels, gestion de l'habitat informel... etc. | équivalent du département de développement durable | |
| | | Comment se fait la communication sur les arrivées d'eau ? | Plateformes de partage des plannings de distribution, procédure en cas de changement | |
| | Politique RH | Formation | Comment se fait la communication de la transition vers le H24 ? (pour une zone donnée) | Comment le client est informé que l'alimentation sera continue, et que se passe-t-il quand c'est l'inverse ? |
| Comment se fait la communication en cas de coupure exceptionnelle d'eau | | | Idem | |
| Transfert du savoir faire | | Quelles sont les conditions de travail des salariés de la SEAAL sur le plan formation et mobilité ? | Formations dédiées à la gestion de l'intermittence, au passage en H24 ? | |
| | | Comment se fait le transfert de savoir-faire ? (SUEZ à SEAAL) | Expatriés, Assistance technique, autre forme ? | |
| Intermittence | | Comment se fait le transfert de savoir-faire entre Alger et Tipaza ? | Gestion par les mêmes personnes, formations communes | |
| | | Quels sont les moyens d'évaluation ? | WIKTI | |
| | | Quelle est l'évolution des personnes qui se chargeaient de la gestion de l'intermittence une fois que le réseau est passé en H24 ? | Parcours de personnes qui opéraient l'intermittence au niveau terrain et voir ce qu'ils sont devenus aujourd'hui. | |
| Contrats | | Est-ce que les agents opérationnels qui s'occupent des zones en H24 sont les mêmes que ceux en Intermittence ? | Nuance techniques RdF | |
| | | Quelle est la répartition entre Ressource locale et expatriés ? Est-ce lié à des engagements contractuels ? | Comment cela impacte le transfert de connaissance, turnover des employés locaux | |
| | | Quelles sont les fonctions/postes occupés par les locaux/expats ? | Turnover des employés locaux | |
| Transgressions et politique anti-corruption | Y a-t-il eu des évolutions au niveau de la répartition ? Entre Alger et Tipasa ? Depuis le passage en H24 ? | Transfert employés Alger à Tipasa | | |
| | Quels sont les types de contrats des agents opérationnels qui gèrent l'intermittence ? | est ce que les agents terrain ont des contrats spécifiques, comment évoluent-ils ? | | |
| | Y a-t-il eu des notifications de transgressions ? Comment ça a été géré ? | Sur l'ouverture des vannes | | |
| | Existe-t-il une politique anti-corruption ? Des mesures encourageant les bonnes pratiques ? | Politique globale adaptée au terrain, mesure de récompense : exp. Agent du mois | | |

.4 Principaux thèmes pour la grille d'entretien

A. Thématiques *Liste indicative (version du 20/03/2019)*

Alger

| Eléments | Description | Interlocuteurs |
|-----------------------------|---|--|
| Historique | <ul style="list-style-type: none"> — De l'alimentation en eau : Eléments de l'histoire de l'alimentation en eau à Alger avant et après passage en H24. — De SEAAL : Des éléments d'histoire de SEAAL depuis sa création jusqu'à aujourd'hui afin d'identifier les moments clés du développement de l'utilité. Pour cet aspect, il peut être utile de trouver des aînés qui seront en mesure de raconter l'histoire de l'entreprise, et le déroulement du début du contrat. Il serait également utile je puisse consulter des archives (par exemple, les contrats, le dossier d'appel d'offre, les rapports annuels, l'évolution des indicateurs). | <ul style="list-style-type: none"> — Personnes qui ont été présentes au démarrage du contrat — Contact de personnes qui sont revenues en France, pour mener des interviews en amont/aval |
| Gestion technique | <ul style="list-style-type: none"> — Enjeux : Principaux équipements et enjeux techniques tout au long du développement de la ville et de l'entreprise — Opérations : Procédure opérationnelle lors d'un manque d'eau ou d'une coupure. | <ul style="list-style-type: none"> — Expert réseau — - Agents de terrain + Documents de reporting (exp. Interruptions) |
| Planification | <ul style="list-style-type: none"> — Projets d'exploitation de nouvelles ressources, de travaux et politique d'extension des services, — Inquiétude de repasser en intermittence ? | Expert (réseau, géologue, hydrogéologue, dessalement...) et planification |
| Gestion économique | Politique tarifaire et indicateurs techniques (niveau de couverture, qualité des services) et indicateurs économiques d'efficacité (comparaison entre avant et après conversion en H24 pour) | Responsables et agents commerciaux |
| Communication | Relation avec les consommateurs, recueil du retour/perception des consommateurs et transformation potentielle en indicateurs, relation entre origine et usage. | Centre de service clientèle + Responsable de communication (stratégie) |
| Obligations contractuelles | Avec le client (engagements contractuels : comment se traduit le H24 à ce niveau? quels sont les moyens d'évaluation?) | Contrats + Documents de reporting |
| Relations institutionnelles | Avec la municipalité, les autorités de l'eau, <i>les collectifs d'exploitation de la ressource locale, et autres entités exploitant des services d'eau à Alger (s'il y a des formes collectives de gestion de l'eau comme les bornes fontaines...)</i> , les banques d'investissement et les agences de coopération internationale. | Interlocuteurs, représentants de SEAAL dans ces dialogues |

| | | |
|--|--|---|
| Volet Social | Qualification des catégories sociales, tarifs préférentiels, gestion de l'habitat informel... etc. | Direction Développement Durable ou assimilé, le cas échéant |
| Politique RH (surtout sur le plan formation) | Les conditions de travail des salariés de la SEAAL (formation, contrats...), capitalisation de l'expertise, méthode WIKTI, turnover des employés locaux (données chiffrées, voir rapport d'activité de la SEAAL ou rapport social) | Responsables RH et formation, et agents bénéficiaires |

Tipaza

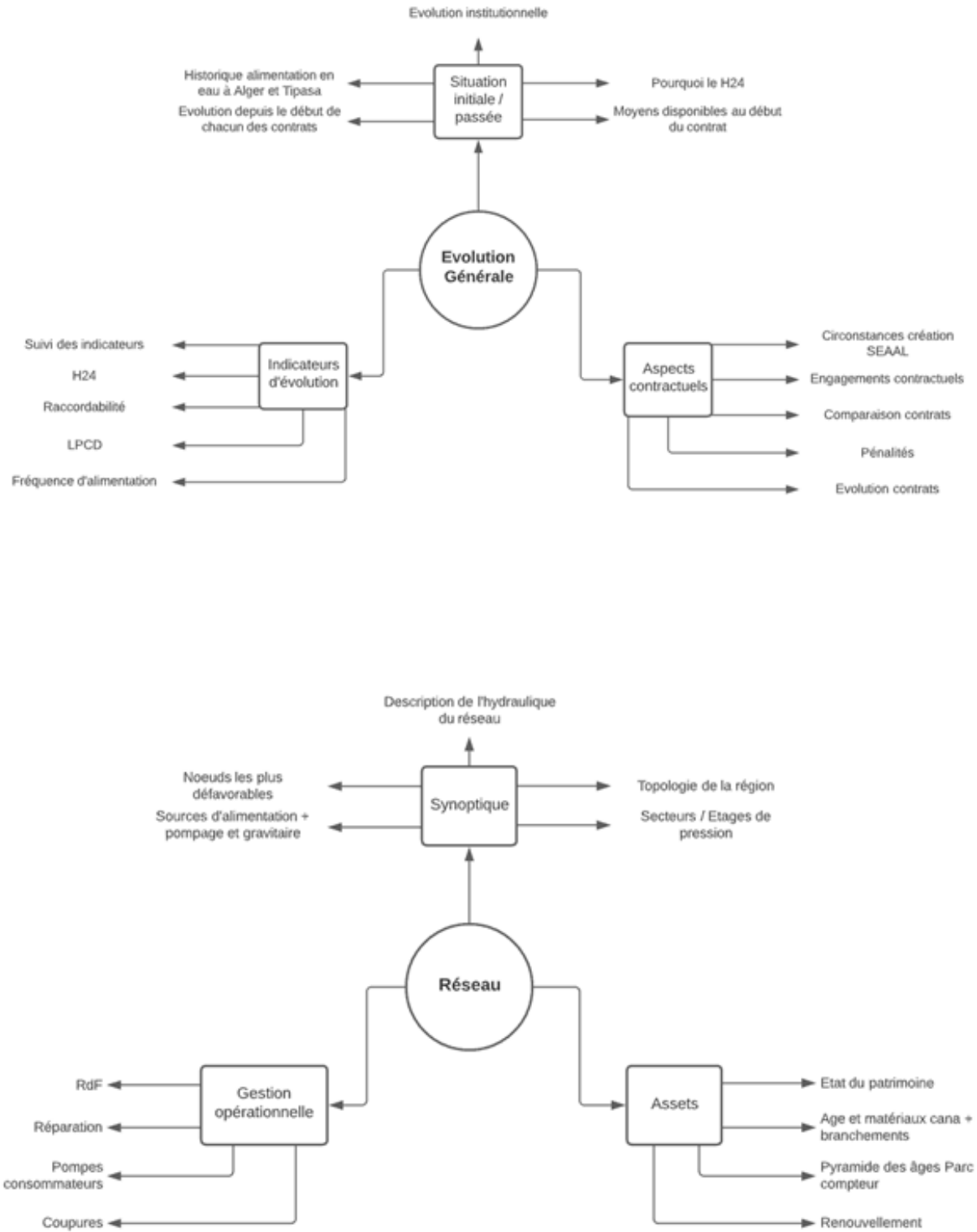
| Eléments | Description | Interlocuteurs |
|----------------------------|--|--|
| Historique | <ul style="list-style-type: none"> — De l'alimentation en eau : Eléments de l'histoire de l'alimentation en eau à Tipasa avant et après amélioration du service — De SEAAL : Des éléments d'histoire de SEAAL depuis l'élargissement du contrat à Tipasa (2012) afin d'identifier les moments clés du développement de l'utilité. Pour cet aspect, il peut être utile de trouver des aînés qui seront en mesure de raconter l'histoire de l'entreprise, et le déroulement du début du contrat. Il serait également utile que je puisse consulter des archives (idem que pour Alger). | <ul style="list-style-type: none"> — Personnes qui ont été présentes au démarrage du contrat |
| Gestion technique | <ul style="list-style-type: none"> — Enjeux : Principaux équipements et enjeux techniques tout au long du développement de la ville et de l'entreprise — Opérations : Logique d'allocation ; mode opératoire de gestion des vannes pour l'alimentation en eau différée des secteurs. | <ul style="list-style-type: none"> — Expert réseau — Agents de terrain + Documents de reporting (exp. Interruptions) |
| Planification | <ul style="list-style-type: none"> — Perspective de passage en H24 — Projets d'exploitation de nouvelles ressources, de travaux et politique d'extension des services, | Expert (réseau, géologue, hydrogéologue, dessalement...) et planification |
| Gestion économique | Politique tarifaire et indicateurs techniques (niveau de couverture, qualité des services) et indicateurs économiques d'efficacité (comparaison entre Alger et Tipasa (H24 et intermittence)) | Responsables et agents commerciaux |
| Communication | Relation avec les consommateurs, positionnement par rapport à l'intermittence (publicisation...), recueil du retour/ perception des consommateurs et transformation potentielle en indicateurs, relation entre origine et usage. | Centre de service clientèle + Responsable de communication (stratégie) |
| Obligations contractuelles | Avec le client (quels sont les moyens d'évaluation ? comment se traduit l'amélioration de la performance du service d'approvisionnement en eau potable ?) | Contrats + Documents de reporting |

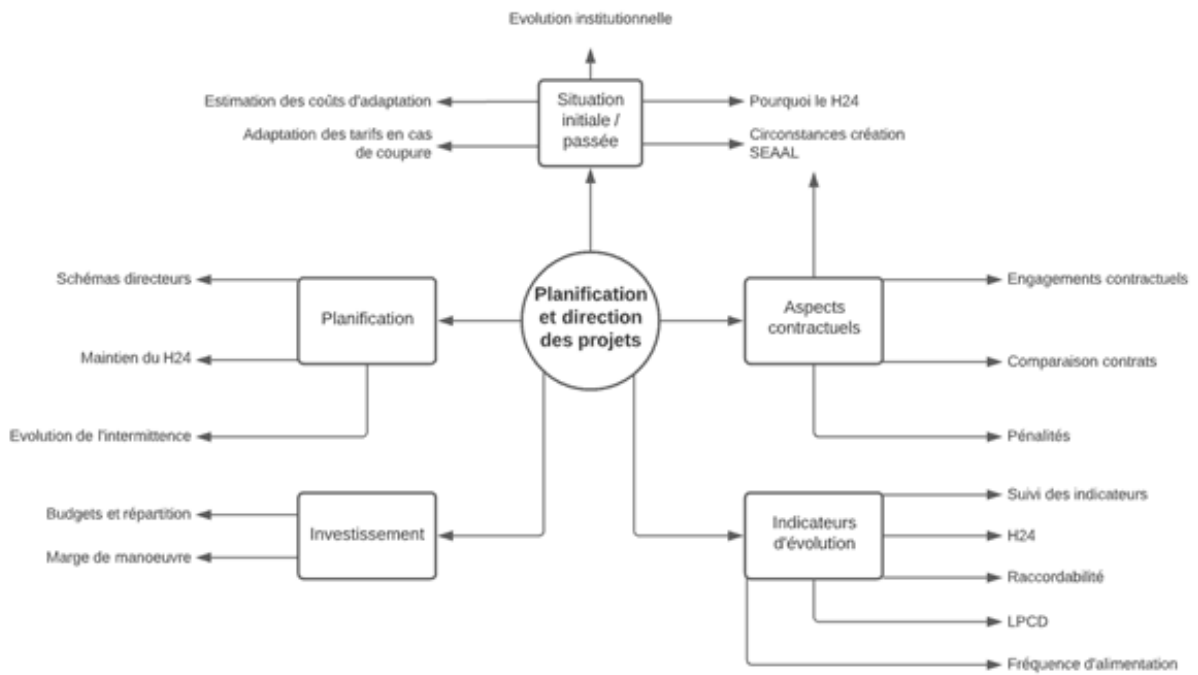
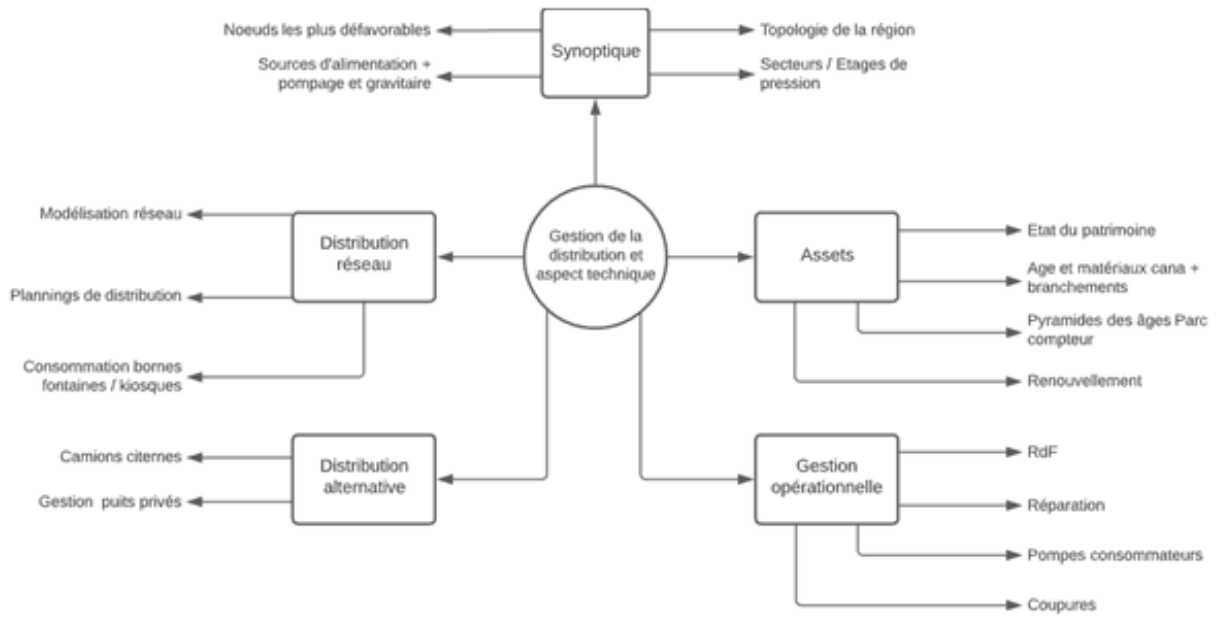
| | | |
|----------------------------------|--|---|
| Relations institutionnelles | Avec la municipalité, les autorités de l'eau, les banques d'investissement et les agences de coopération internationale, et les autres acteurs de l'eau (Eau en bouteille, camions-citernes le cas échéant, gestion des puits privés...) | Interlocuteurs, représentants de SEAAL dans ces dialogues |
| Volet Social | Qualification des catégories sociales, tarifs préférentiels, habitat informel... ets. Mesures pour garantir l'équité au niveau social | Direction Développement Durable ou assimilé, le cas échéant |
| Politique RH (surtout formation) | Idem que pour Alger | Responsables RH et formation, et agents bénéficiaires |

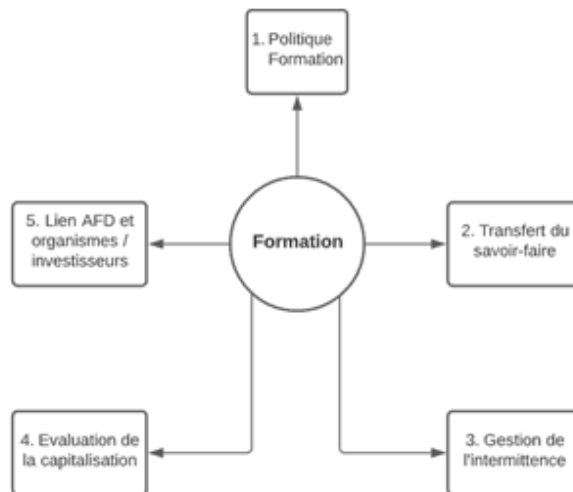
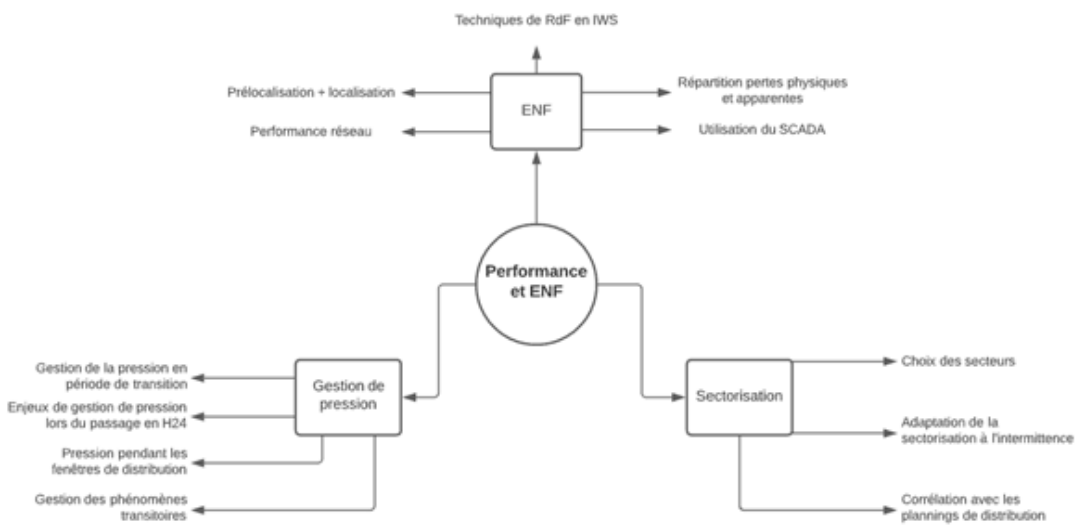
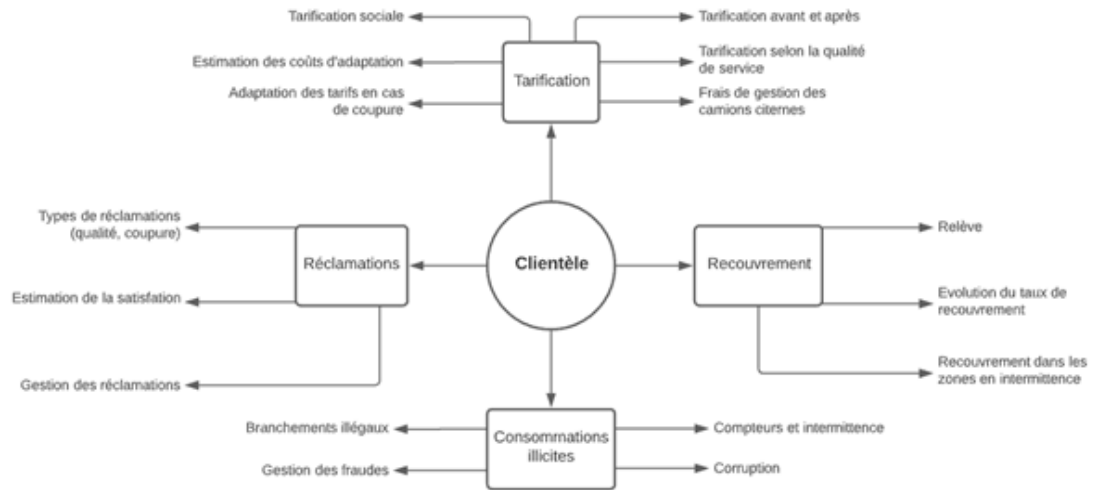
B. Autres Acteurs

| Interlocuteur | Catégories |
|---|---|
| Associations d'habitants/ de quartier comme acteurs médians pour communiquer avec la population (consommateurs) | <ul style="list-style-type: none"> — Selon catégorie sociale (quartiers pauvres ou riches vs. Hétérogènes) — Selon tranche d'âge |
| Institutions | Financier/ décideur / pouvoirs publics (responsables municipaux et régionaux, fonctionnaires) + Agences de régulation + Organes contrôlent la prestation de service |
| Acteurs alternatifs (pour l'alimentation en eau) | Dirigeants et salariés d'entreprises produisant l'eau en bouteille, de forage et d'entretien de puits, de camions-citernes ? |
| Acteurs académiques | Ecoles ayant des partenariats/conventions avec la SEAAL. Examiner la possibilité d'organiser des ateliers sur le sujet de l'alimentation en eau et de participer aux enquêtes terrain |
| Organisations / Banques d'investissements | Organisations internationales et banques d'investissement |

.5 Déclinaison des thématiques d'entretien par catégorie







.6 Questionnaire Usager

Page 1

Nous vous remercions pour votre participation à cette enquête sur l'accès à l'eau potable dans les villes d'Alger et de Tipaza. Cet exercice devrait vous prendre environ 15 minutes.

Nous menons cette enquête dans le cadre de travaux de recherche.

En prenant le temps de répondre à ce sondage et en y ajoutant votre propre vécu sur le sujet, vous nous aiderez à avoir une idée plus claire de la façon dont les consommateurs perçoivent le service de l'eau.

Ce questionnaire est totalement anonyme et ne sera utilisé qu'à des fins de recherche.

Page 2

Etes-vous?

Une femme

Un homme

Quel âge avez-vous?

Exercez-vous une profession?

Pas d'activité professionnelle

A temps plein

A temps partiel (veuillez préciser vos horaires)

Quel est votre niveau d'études?

Brevet d'études professionnelles

Bac

Bac+2

Bac+3: Licence, licence professionnelle

Bac+4

Bac+5: Master, diplôme d'ingénieur

Diplôme universitaire de troisième cycle: Doctorat, HDR

Autre

Dans quelle tranche se situe le revenu mensuel de votre foyer?

- 20000 DA ou moins
- Entre 20001 et 41000 DA
- Entre 41001 et 82000 DA
- Plus de 82000 DA
- Ne souhaite pas dire

Dans quelle Wilaya habitez-vous actuellement?

- Alger
- Tipaza
- Autre (veuillez préciser)

Dans quelle commune et quel quartier (ou village)?

Commune

Quartier (ou village)

Depuis quand y habitez-vous?

- Moins de 5 ans
- Entre 5 et 10 ans
- Entre 10 et 15 ans
- Plus que 15 ans

Combien de personnes habitent dans votre foyer?

Dans quel type de logement habitez-vous?

- Maison individuelle (Villa ou étage de villa)
- Appartement (Immeuble d'habitation)
- Maison traditionnelle (haouch), ferme, exploitation
- Construction précaire
- Autre (veuillez préciser)

Page 3**Combien d'étages a votre immeuble?****A quel étage votre appartement se situe-t-il?** Au rez-de
chaussée A l'étage N°: **Page 4****Sanitaire et cuisine : Quels sont les éléments dont dispose votre foyer? Veuillez indiquer leur nombre (noter 0 si le foyer n'en dispose pas)**Toilettes sèches Toilettes à chasse d'eau Douche Baignoire Hamam/Jacuzzi Lavabo (salle de bain) Evier (cuisine, jardin) **Electroménager: Votre foyer dispose-t-il d'un lave-linge? Si oui, veuillez indiquer le nombre de lave-linges dont vous disposez** Non Oui: Nombre de lave-
linges **Electroménager: Votre foyer dispose-t-il d'un lave-vaisselle? Si oui, veuillez indiquer le nombre de lave-vaisselles dont vous disposez** Non Oui: Nombre de lave-
vaisselles **Votre logement est-il raccordé au réseau public d'eau potable?** Raccordé Non raccordé Quartier raccordé au niveau d'une borne
fontaine Autre (veuillez préciser)

Page 5

Veillez fournir les éléments suivants à partir d'une facture que vous estimez représentative de votre consommation:

| | |
|---|----------------------|
| Montant payé (DA) | <input type="text"/> |
| Nouvel Index | <input type="text"/> |
| Date Nouvel Index | <input type="text"/> |
| Ancien Index | <input type="text"/> |
| Dater Ancien Index | <input type="text"/> |
| Si vous n'avez pas de facture, estimation du montant trimestriel payé en DA | <input type="text"/> |

La facturation se fait-elle au réel ou au forfait?

- Réel
 Forfait
 Je ne sais pas

Votre foyer dispose-t-il d'un espace vert/jardin? Si oui, arrosez-vous?

- Pas de jardin/espace vert
 Jardin/espace vert mais pas d'arrosage
 Jardin/espace vert avec arrosage
 Autre (veuillez préciser)

Page 6

A quelle fréquence arrosez-vous, et quelle est la superficie approximative de l'espace vert?

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| Fréquence d'arrosage | <input type="text"/> |
| Superficie de l'espace vert (m2) | <input type="text"/> |

Quel dispositif d'arrosage est adopté?

- Tuyau d'arrosage
 Arroseurs automatiques: statique, oscillant, canon, rotatif..
 Système d'arrosage au goutte à goutte
 Autre (veuillez préciser)

Entre quelle heure et quelle heure recevez-vous généralement l'eau?

Les différentes options servent à enregistrer les différents créneaux pendant lesquels l'eau était reçue.

Par exemple, si l'usager recevait l'eau parfois le matin entre 6h et 9h, parfois entre 8h et 10h, et parfois le soir entre 21h et 23h, 3 options seraient à renseigner, et les deux restantes sont à laisser vides. Si l'usager reçoit l'eau toujours au même créneau, seule la première option est à renseigner

| | Heure de début | Heure de fin |
|----------|----------------------|----------------------|
| Option 1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Option 2 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Option 3 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Option 4 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Option 5 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Sur une échelle de 1 à 5, à quel point l'approvisionnement par réseau est-il régulier?

| | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Irrégulier | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Régulier |

A votre connaissance, existe-t-il un planning de distribution?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Page 12

Sur une échelle de 1 à 5, à quel point ce planning est-il fiable?

| | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Non fiable | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Fiable |

Page 13

Existe-t-il des jours de l'année pendant lesquels l'approvisionnement en eau est exceptionnellement perturbé?

- Non
- Le jour de l'Eid IKbir
- Pendant le mois de Ramadan
- Autres jours (Veuillez indiquer combien de jours et lesquels si possible)

Pour ce qui est de l'eau livrée par le réseau: Globalement, à quel point êtes-vous satisfait de ses caractéristiques? Et quelle importance ont-ils pour vous?

| | Insatisfaisant | Plutôt Insatisfaisant | Ni satisfaisant ni insatisfaisant | Plutôt satisfaisant | Satisfaisant | Pas évaluable |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Disponibilité | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Quantité | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Qualité | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Accessibilité | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Prix | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

Veillez s'il vous plaît ranger ces paramètres par ordre d'importance:

1= le plus important
5= le moins important

Disponibilité
 Quantité
 Qualité
 Accessibilité
 Prix

Page 14

Quels sont les éléments dont vous disposez pour stocker l'eau du réseau? Veuillez renseigner une estimation de la capacité uniquement pour ceux que vous utilisez:

| | Capacité (litres) |
|--|----------------------|
| Réservoir/Citerne de toit | <input type="text"/> |
| Réservoir/Citerne souterrain(e) | <input type="text"/> |
| Réservoir/Citerne à un autre endroit: Balcon/loggia.. | <input type="text"/> |
| Tonneaux/Bidons/Seaux/Jerricans | <input type="text"/> |
| Baignoire/évier | <input type="text"/> |
| Bouteilles | <input type="text"/> |
| Autre (veuillez préciser) | <input type="text"/> |

Avez-vous besoin d'un surpresseur pour amener l'eau jusqu'à votre robinet?

oui
 non

Page 15

A quel niveau est installé le surpresseur?

- Branchement réseau / Pied du bâtiment
- Au niveau de l'étage: dérivation de la colonne montante
- Autre (veuillez préciser)

Quelles sont la fréquence et la durée de mise en service du surpresseur?

- Constamment
- Pendant les créneaux d'alimentation en eau
- Autre (veuillez préciser)

Page 16

Buvez-vous l'eau du robinet?

- Oui sans traitement
- Oui avec traitement domestique
- Non
- Autre (veuillez préciser)

Page 17

Le cas échéant, quelles sont les pratiques de traitement domestique que vous adoptez?

- Bouillir l'eau
- Ajouter une pastille / dose d'eau de javel
- Filtrer l'eau
- Autre (veuillez préciser)

Page 18

Quels sont les usages que vous réservez à l'eau du réseau?

- Boisson
 Cuisine
 Vaisselle
 Hygiène personnelle / sanitaire
 Lessive
 Ménage / lavage
 Arrosage
 Piscine / Jeux d'eau
 Autre (veuillez préciser)

Page 19

Quels sont les usages réservés à l'eau provenant de chacune des ressources suivantes? (veuillez répondre uniquement pour les ressources dont vous vous approvisionnez)

| | Boisson | Cuisine | Vaisselle | Hygiène / sanitaires | Lessive | Ménage / lavage | Arrosage | Piscine ou jeux d'eau | Autre usage |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Source d'eau / Puits surfacique | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Puits profond | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Camion citerne | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Borne fontaine | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Eau en bouteille | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Eau de pluie | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Commentaire

Le sondage est terminé. Merci beaucoup pour votre participation.

La fenêtre peut être fermée.

.7 Acteurs et thématiques examinées

1. Usagers

Lien Questionnaire : <https://www.sondageonline.fr/s/02abcf2>

2. Plombiers

| | | |
|--|---|---|
| <p>Evolution de l'activité تطورات النشاط</p> | <p>Pouvez-vous décrire l'évolution de l'activité de plomberie entre les années 90, 2000 et 2010 par rapport à aujourd'hui ? تقدر تقولنا كيفاه طورت الخدمة تا بلومي بين عوام التسعينات . 2000 و 2010 ودوكا؟</p> | <p>Avez-vous perçu une demande croissante envers des activités par rapport à d'autres, entre l'alimentation en intermittence et le H24 ? كايين كاش خدمات زادو و ولاي يعيطولكم عليهم بزاف من نهار تبدل السيستم من l'alimentation en intermittence et le H24 ?</p> |
| <p>Installation de réservoirs تركيب الخزانات</p> | <p>Comment l'installation des systèmes de réservoirs ont évolué sur les mêmes périodes ? كيفاه تشوف تطور تاع l'installation des systèmes de réservoirs في الأوقات هذوك ؟</p> | <p>Est-ce qu'on fait toujours appel à vous pour installer des réservoirs ou des citernes ? Est-ce que c'est une étape qui fait partie du processus de construction nouvelle ? موالفين دايمن يعيطولكم ليكم باه تركيب هذي مرحلة تبدا مع البيان ولا خاطبة ؟</p> |
| <p>Maintenance الصيانة</p> | <p>Quelle est la fréquence moyenne de maintenance des citernes ? et des autres actions de maintenance ? شحال من مرة تسحق تصلح (تخدم) سيترنا الي ركبها عند واحد تاعك ؟ Client واش الخدمات الي يتعاودو و يطلبوهم منك مور ما تركيبها ؟</p> | <p>Est-ce que ça a évolué entre le régime intermittent et aujourd'hui ? est-ce que ça diffère géographiquement ? كايين تطور بين Le régime intermittent et aujourd'hui ? و ادا عندها علاقة بلمكان ؟</p> |
| <p>Lien avec des fournisseurs potentiels العلاقة مع الموردون</p> | <p>Est-ce que des fournisseurs de citernes ou de surpresseurs font appel à vous pour assurer ces opérations ? موالفين يعيطولكم الي يبيعو سيترنا ولا Les surpresseurs باه نتوما الي تركيبوهم عند الناس ؟</p> | <p>Avez-vous des accords ou contrats de ce type ? Est-ce qu'ils ont plutôt une main d'œuvre qui est dédiée à ça ? عندكم عقود من هذا النوع ؟ كايين خدامين تاع هذي الصنعة يعرفو مليح ؟</p> |
| <p>Demande des clients متطلبات الزبائن</p> | <p>Quels sont les types d'installations préconisées par les clients ? واش هما الخدمات تاع installations الي يتعاودو بزاف و يطلبوكم عليهم ؟</p> | <p>Est-ce que les consommateurs demandent généralement des types d'installations définies ? Est-ce qu'un type d'installation est particulièrement populaire auprès des clients ? Est-ce que ça a évolué dans le temps ? Est-ce que ça dépend des zones ? موالفين ناس تطلبك نوع تاع Installations معين ؟ تبدلت او طورت مع الوقت ؟ عندها علاقة بلمكان ؟</p> |

| | | |
|--|--|--|
| Installations conseillées par les plombiers تجهيزات مقترحة من طرف السمكري | Quels sont les systèmes que vous pensez être les plus performants ? واشنو هما تركيبات الي تشوفهم يصلحو بزاف و ناخمين ؟ | Est-ce que vous pensez que la demande des clients est la plus adéquate ? Y a-t-il des configurations que vous préconisez ? تشوف بلي واش يطلب زبون هو واش يصلح ؟ كايين خدمات تتصحو يهيم ؟ |
| Description des systèmes وصف النظام | Pouvez-vous décrire les éléments constitutifs d'un système de stockage ? et la procédure d'installation ? تقدر تقولنا واش يحيي (واش يركب) سيستم تاع ستوكاج ؟ و كيفاه موالفين تركيبه (المراحل)؟ | Quels sont les éléments de tuyauteries, de plomberies qui sont nécessaires pour installer une citerne ? A quel moment de la construction devez-vous intervenir ? واش يلزمك من tuyauteries, plomberies pour installer une citerne ? واش هي المرحلة من البيان الي تدخل فيها الخدمة تاعكم ؟ |
| Dysfonctionnements الأعطال | Quels sont les dysfonctionnements usuels que vous avez pu constater dans les systèmes de stockage ? (علاه موالف يحبس سيستم) / واشنو هما المشاكل الي تشوفهم بزاف يتعاودو و يحبسو سيستم ؟ | Est-ce que des problèmes sont plus récurrents que d'autres dans l'installation et la maintenance des systèmes de stockage ? Est-ce que des configurations particulières de construction peuvent poser problème ? كايين مشاكل ولا اعطال يتعاودو بزاف في L'installation et la maintenance des systèmes de stockage ? قادر وين البنيان هو يدير مشكل في سيستم ؟ |
| Surpresseurs | Etes-vous sollicité également pour l'installation des surpresseurs ? موالفين يعيطولكم باه تركيبو لي سوبريسور ؟ | Est-ce que l'installation d'une citerne nécessite l'installation d'un surpresseur ? et vice-versa ? Y a-t-il des clients qui les demandent plus que d'autres ? (Étages supérieurs ? zones de basse pression... ?) كي تركيب سيستيرنا ادا يلزم تركيب معاها un surpresseur ? كايين حالات وين ناس تطلبها كثر ؟ |
| Branchements توصيلات | Fait-on appel à vous pour brancher un client sur le réseau ? موالفين يعيطولكم باه تبرونشي زبون عندك بيزو ؟ | Est-ce que ces demandes n'émanent de personnes qui viennent de s'installer dans une nouvelle habitation ? Pouvez-vous décrire les étapes de l'opération ? هذي الخدمة يطلبوها عادة الي جاو يسكنو جدد؟ تقدر تقولنا كيفاه (مراحل) باه تركيب؟ |
| Tarifs التكاليف | Quels sont les tarifs adoptés pour une prestation de plomberie liée : au stockage, à l'installation de surpresseurs, à l'installation de branchements, et à la maintenance ? شحال تسقام خدمة يدك (بلومي) في plomberie stockage, à l'installation de surpresseurs, à l'installation de branchements, et à la maintenance ? | Quels sont les tarifs de plomberie par rapport à l'achat des équipements ? Est-ce que l'offre a évolué depuis les années 90 واش هي سومة الي يخدم بيها البلومي كي تقارنها مع Matérielles ? زادة الخدمة من لعوام تاع تسعينات ؟ |

3. Conducteurs/ Propriétaires de camions citernes

| Thèmes | Questions | Relances |
|--|---|--|
| Evolution de l'activité تطورات النشاط | Pouvez-vous décrire l'évolution de l'activité de desserte par camions-citernes entre les années 90, 2000 et 2010 par rapport à aujourd'hui ? تقدر تقولنا كيفاه طورت الخدمة تاع توزيع الماء تاع سيترنة بين عوام التسعينات. ٢٠٠٠. ٢٠١٠ و دوكا؟ | Avez-vous perçu une demande croissante envers des activités par rapport à d'autres, entre l'alimentation en intermittence et le H24 ? كايين خدمات شفتمهم زادو كي تبدل سيستام بين L'alimentation en intermittence et le H24 ? |
| Capacité disponible القدرة المتوفرة | Quel est le nombre et la capacité unitaire des camions que vous avez à disposition ? شحال عندكم من كاميو تاع سيترنة ؟ و شحال ترفد السيترنة ؟ | Est-ce qu'ils sont disponibles tous les jours ? et sont-ils entièrement remplis ? Comment de temps les vider vous prend-il ? كايين كل يوم ؟ و دامن معمرين ؟ شحال ييقاو باه يتفرغو قاع ؟ |
| Zones de desserte نطاقات الخدمة | Quelle est la zone de desserte que vous couvrez ? واش هما البلايص الي تخدمو فيهم بزاف ؟ | Est-ce qu'il y a une affectation géographique entre les conducteurs/propriétaires des camions-citernes ? ou bien pouvez-vous desservir n'importe quel quartier de la ville, de la commune ? كايين تعيين عندو علاقة بلمنطقة تاع سائق و مول الكاميو ؟ تقدر و توزعو لاي مكان ؟ |
| Evolution ponctuelle التطورات المحددة | Est-ce qu'il y a une évolution saisonnière de l'activité ? كايين أوقات تزيد فيهم الخدمة كيما الصيف مثلا ؟ | Est-ce que vous avez une plus forte demande pendant des périodes de l'année ou lors d'événements particuliers ? Lesquels ? تزيد الخدمة في وقت معين من العام ولا لا ؟ واش هما ؟ |
| Interrelations avec l'opérateur الترايط مع المسير | Est-ce que vous avez des accords avec l'opérateur du réseau ? هدرتو مع مع سيال ولا المسؤولين و مدولكم الأوكي باه تخدمو ؟ | Est-ce que l'opérateur fait appel à vous dans certaines circonstances ? comme lorsqu'il y a une interruption ou une crise au niveau de l'approvisionnement ? موالف يعيطلكم سيال على كاش خدمة ؟ كي يحبس الما ولا يتقطع ؟ |
| Source d'eau منبع المياه | D'où provient l'eau des camions-citernes ? منين تعمرو الماء تاع سيترنا ؟ | Etes-vous sujets à des aléas d'approvisionnement de la ressource ? Etes-vous lié à l'approvisionnement réseau ? نتوما تان يروحلكم كايين وقت يروحلكم فيه الما ؟ راكم متصلين (رابطين) ب Réseau ? |
| Logistique d'acheminement/accessibilité لوجستيات التوجيه / الوصول | Comment se fait l'acheminement de l'eau depuis le camion-citerne à l'usage ? كيفاه توصل الماء من سيترنا للدار تاع السيد الي طلب الماء ؟ | Est-ce qu'il y a des points de stationnements au niveau des quartiers/ des rues ? comment se fait le transport de l'eau jusqu'au domicile de l'utilisateur ? كايين وي تاري في حومة ولا قدام الدار ؟ كيفاه تلحق الما حتى للدار ؟ |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Formules et prix de vente صيغ السعر و البيع</p> | <p>Quels sont les formules et les prix de vente de l'eau délivrée par camion-citerne ? كيفاه تحسبو السومة تاع الماء الي توزعوه بلكاميو تاعكم؟ و شحال يسقام كلش؟</p> | <p>Combien est payé le litre ? peut-on acheter un litre ou bien y a-t-il un minimum de volume à acheter ? Est-ce qu'il y a une distinction entre le prix de l'eau et le prix d'acheminement/accessibilité ? Est-ce qu'un usager habitant plus loin de point de la ressource paierait plus qu'un usager qui en serait plus près ? Existe-t-il des possibilités d'abonnement ? شحال تحسب اللتر؟ كايين حد ادني تاع اللترات الي تقدر تشرها؟ كايين فرق بين سعر تاع اللتر تاع الماء و سعر تاع توصيل و تركيب؟ السغر يتبدل بين ا لي ساكن قريب للعين و الي بعيد؟</p> |
| <p>Moyens de contact وسائل الاتصال</p> | <p>Comment les usagers peuvent-ils vous contacter ? كيفاه موالفين ناس يعيطولكم؟</p> | <p>Est-ce que ça se fait par téléphone ? du bouche à oreille ? ou par un autre moyen ? يعيطولكم بتلفون ولا باه؟</p> |

4. Fournisseurs de citernes/surpresseurs

| Thèmes | Questions | Relances |
|---|--|--|
| Intérêt de l'offre de stockage الهدف من عرض التخزين | Qu'est ce qui vous a poussé à investir dans la vente des systèmes de stockage d'eau ? واش الي خلاك تستثمر في بيع systèmes de stockage d'eau ? | Pensez-vous qu'il existe un besoin de stockage de l'eau du réseau ? يلزم تخزين الماء العين ؟ |
| Description de l'offre de stockage وصف عرض التخزين | Quels sont les systèmes de stockage disponibles sur le marché ? واش هي les systèmes de stockage الي كايين في المارشي ؟ | Quels sont les différents types de réservoirs et de citernes / bâches ? et quels sont les systèmes dans lesquels ils s'inscrivent ? واش كايين كاع الأنواع تاع réservoirs et de citernes / bâches ? واش من سيستام يتركبو فيه ؟ |
| Description de l'offre de surpresseurs وصف عرض المضخات | Quels sont les systèmes et les gammes de surpresseurs disponibles ? واش هما الأنواع تاع Les Surpresseurs الي كايينين ؟ | Quelles sont les pompes que vous proposez ? واش هوما les pompes الي تشوفوهم ملاح ؟ |
| Description de l'offre globale وصف العرض العام | Est-ce que les deux offres sont packagées dans une seule offre globale ? موالفين تحسبو الزوج خدمات هذو في افقر واحد ؟ | Est-ce que les configurations suivantes sont possibles ? Réservoirs sans surpresseurs/ Réservoirs avec/ et surpresseurs sans système de stockage هذو تركيبات كايينين ؟ Réservoirs sans surpresseurs/ Réservoirs avec/ et surpresseurs sans système de stockage |
| Evolution de l'activité تطورات النشاط | Pouvez-vous décrire l'évolution de l'activité d'installation des systèmes de stockage entre les années 90, 2000 et 2010 par rapport à aujourd'hui ? تقدر تقولنا كيفاه طورت الخدمة تاع l'installation des systèmes de stockage بين عوام التسعينات. ٢٠٠٠. ٢٠١٠ ودوكا ؟ | Avez-vous perçu une demande croissante envers des activités par rapport à d'autres, entre l'alimentation en intermittence et le H24 ? كايين حاجات زادة فيهم الخدمة كي تبدل السيستام من l'alimentation en intermittence et le H24 ? |
| Evolution de l'activité de maintenance تطورات نشاطات الصيانة | Assurez-vous la maintenance de ces systèmes ? تضمنو الخدمة تاع هذو les systèmes ? | Qui assure la maintenance des citernes une fois que vous les livrez ? كي توزعو سيترنات من بعد شكون يضمن الخدمة تاعهم ؟ |
| Fréquence de la maintenance ترددات الصيانة | Quelle est la fréquence de la maintenance de ces systèmes ? (Maintenance conseillée et réelle) شحال متوسط تاع المرات الي يتصلح فيهم هذا سيستام ؟ (شحال من مرة يلزم و شحال من مرة موالفين يخدموه) | Est-ce que cette fréquence dépend du type de régime ? de facteurs géographiques ? عدد المرات هذا عندو علاقة بسيستام ؟ ولا بلمكان ؟ |
| Lien avec des plombiers العلاقة مع السمكريين | Qui assure la prestation d'installation ? شكون يضمن L'installation ? | Avez-vous des plombiers ou des accords avec des plombiers externes ? Où bien est-ce l'usager qui s'occupe de la partie installation, une fois que vous avez vendu le système ? كايين بلومبي ماشي خدامين عندكم لكن تعيطولهم ؟ ولا مول الدار هو الي يتكفل بكش بعد ما توزعولو السلعة ؟ |

| | | |
|--|--|--|
| Types d'installations préconisées par les clients انواع التجهيزات المطلوبة من طرف الزبائن | Quelles sont les installations les plus achetées par les clients? Comment cette tendance a-t-elle évolué? واش هما les installations الي يشروهم و يستعملوهم بزاف? و كيفاه حتى ولات هكا? | Quels types de réservoirs (capacité, matériau...) sont les plus populaires auprès des clients? Est-ce que cette tendance était similaire lors de l'alimentation en intermittence? واش النوع الي يمشي بزاف في السوق? كانت من بكرى هكا حتى في وقت l'alimentation en intermittence? |
| Types d'installations conseillées par les fournisseurs انواع التجهيزات المقترحة من طرف الموردين | Quels sont les systèmes les plus performants? Qu'une famille moyenne à Alger/ à Tipaza devrait se procurer? واش هما لي سيستم الي يصلحو بزاف? الي عالية متوسطة من عاصمة ولا تيبازة قادرة تشريها? | Quel système de stockage réussit à assurer une desserte en bonnes conditions? واش هو السيستم الي يضمن توصيل مليح بلا مشاكل? |
| Dysfonctionnements usuels constatés dans les systèmes de stockage الاعطال العملية الملاحظة في انظمة التخزين | Quels sont les dysfonctionnements usuels que vous avez pu constater dans les systèmes de stockage? واش هما مشاكل الي يتعاودو بزاف (تصليحات الي ديروهم بزاف) في les systèmes de stockage? | Est-ce que des problèmes sont plus récurrents que d'autres dans l'installation et la maintenance des systèmes de stockage? Est-ce que des configurations particulières de construction peuvent poser problème? البلومي مطلوبين بزاف dans l'installation et la maintenance des systèmes de stockage? قادر البيان يدير مشكل? |

5. Vendeurs d'eau embouteillée

| Thèmes | Questions | Relances |
|--|--|--|
| Description de l'offre وصف العرض | Quelles sont les différentes marques d'eau embouteillée qu'il y a sur le marché? Quelles sont les différentes capacités (volumes) de bouteille? واش هما الماركات تاع الما تاع لقرع (سعيدة) الي كاينين بزاف في المرشي? شحال يرفدو من ليتر? | A part Saida et Ifri, quelles sont les marques d'eau les plus courantes sur le marché dans les deux villes d'Alger et de Tipaza? A part les formats usuels de 1,5 litres et 50cl, existe-t-il d'autres formats répandus? كاين ماركات يمشو هما كثر في المرشي? من غير لقرع تاع ١٥ ل و ٥٥ سل كاين وحدوخرين? |
| Evolution de l'activité de vente des bouteilles d'eau avant les années 2000, entre 2000 et 2010, et après 2010 ٢٠٠٠ تطور نشاط بيع زجاجات المي اه، بين ٢٠٠٠ و ٢٠١٠، وما بعده | Pouvez-vous décrire l'évolution de l'activité de vente de l'eau embouteillée entre les années 90, 2000 et 2010 par rapport à aujourd'hui? تقدر تقولنا كيفاه طورت الخدمة تاع بيع تاع ماء تاع لقرع (سعيدة) بين عوام التسعينات. ٢٠١٠. ٢٠٠٠ و دوكا? | Avez-vous perçu une demande croissante envers l'eau embouteillée, entre l'alimentation en intermittence et le H24? زاد المرشي تاع الما سعيدة كي تبدل السيستم l'alimentation en intermittence et le H24? |
| Prix de vente سعر البيع | Quel est le prix de vente d'un litre d'eau en bouteille? شحال يتباع لتر واحد تاع الما? | Est-ce qu'il y a des gammes de prix? كاين حدود تاع سومة? |

| | | |
|---|---|---|
| <p>Existence de différentes gammes/qualités de l'eau en bouteille توفر مختلف انواع نوعيات مياه العبوة</p> | <p>Est-ce que toutes les eaux embouteillées livrent la même qualité d'eau ? قاع الماء تاع لقرع يوزع نفس نوعية تاع الماء ؟</p> | <p>Y a-t-il des eaux de table et des eaux minérales ? Y a-t-il des ventes d'eau embouteillée non industrialisée ? كاين ما تاع العنصر و ما تاع العين ؟ كاين وين يبيعو ماء تاع المنبع ماثي من مصنع ؟</p> |
| <p>Comparaison avec le réseau مقارنة مع الشبكة</p> | <p>La qualité de l'eau embouteillée est-elle toujours supérieure à celle de l'eau du réseau ? دايمن نلقاو نوعية تاع الماء لقرع خير من تاع العين ؟</p> | |
| <p>Sources المصدر</p> | <p>Quelles sont les sources de l'eau embouteillée ? منين يجي الماء تاع لقرع ؟</p> | <p>L'alimentation par réseau s'approvisionne-t-elle parfois des mêmes sources ? L'alimentation par réseau تكون موصولة من نفس المنبع (المصدر) ؟</p> |
| <p>Usages de l'eau embouteillée استخدامات المياه المعبأة في زجاجات</p> | <p>A quel usage est destiné l'eau embouteillée ? واش موالفين يخدمو بما تاع لقرع ؟</p> | <p>Est-ce qu'il y a plusieurs usages, en fonction des gammes d'eau disponibles ? Est-ce que l'eau embouteillée est exclusivement réservée à la boisson, à la cuisine ? على حساب الماء كايين بزاف حاجات يخدمو بيه هذاك الماء ؟ الماء تاع لقرع يستهلكوه غير للشرب ؟</p> |
| <p>Relation avec l'interruption de service العلاقة مع انقطاع الخدمة</p> | <p>Quelles sont les zones où la consommation de l'eau embouteillée est la plus forte ? واشنو هما البلايص (المناطق) الي يتباعو فيهم القرع بزاف ؟</p> | <p>Est-ce que ces zones sont concernées par des interruptions de service fréquentes ? هذو لبلايص يروحلهم الماء بزاف ؟</p> |

.8 Équations régissant la modélisation hydraulique classique des réseaux d'eau potable

1) *Composantes du modèle mathématique d'un réseau d'eau potable*

Le modèle mathématique du réseau comprend [Vairavamoorthy, 1994] :

- a. Un ensemble de variables d'état choisies pour décrire le fonctionnement du réseau :
Les grandeurs caractéristiques du réseau à considérer sont les hauteurs piézométriques et débits au niveau des points représentatifs du réseau.
- b. Un ensemble d'équations caractéristiques relatives aux variables d'état pour chaque élément de réseau :
Afin de décrire le réseau, il est nécessaire de trouver au moins autant d'équations descriptives que de variables d'états, le premier set d'équations est les relations pression/débit pour les éléments du réseau (conduites, vannes, pompes, réservoirs, etc.)
- c. Un ensemble d'équations de réseau qui fournissent une description mathématique complète du réseau :
Le deuxième set d'équations comprend celles qui décrivent le comportement du réseau dans sa globalité, notamment les équations de conservation de la masse (équation de continuité) et de l'énergie (Équation de pertes de charges).
- d. Une méthode de résolution pour résoudre les équations du réseau, pour obtenir une solution en régime permanent :
Comme le système d'équations à résoudre est non linéaire, il est nécessaire d'appliquer des méthodes de linéarisation afin de générer un ensemble de solutions.

2) *Propriétés structurelles du réseau*

a. *Topologie du réseau*

Un réseau de distribution de l'eau potable comprend, en plus des réservoirs d'ali-

mentation, des conduites, auxquelles il faut ajouter des vannes, des pompes, des systèmes de purge et des régulateurs de pression pour assurer la bonne circulation de cette eau courante.

b. *Représentation mathématique*

Mathématiquement, un réseau spatial peut être modélisé sous la forme d'un graphe $G = G(N, E)$, où N est l'ensemble des nœuds et E est l'ensemble des bords reliant les nœuds. Dans un réseau de distribution d'eau, les nœuds pourraient être des réservoirs, des réservoirs et des jonctions de tuyaux.

Les réseaux d'eau peuvent être ramifiés et/ou maillés (voir figures ci-dessous).



c. *Éléments*

Le tableau suivant dénombre les principaux éléments d'un réseau d'eau potable [Walski et al., 2003] :

| Type | Élément | Fonction |
|-------|-------------------|---|
| Noeud | Jonction | Retire de l'eau du système (demande) |
| | Réservoir | Fournit de l'eau au système (source) |
| | Cuve | Conserve l'eau pour répondre à la demande de pointe |
| Lien | Conduite | Transporte l'eau d'un nœud à l'autre |
| | Pompe | Augmente la charge hydraulique en cas de différence d'élévation ou de perte de charge |
| | Vanne de contrôle | Contrôle le débit et/ou la pression |

3) *Les variables d'état du réseau*

Les charges aux nœuds et les débits dans les conduites du réseau sont les variables d'état utilisées pour décrire le comportement d'un réseau [Vairavamoorthy, 1994].

- La charge hydraulique représente une hauteur de colonne d'eau et est définie par :

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z$$

Où :

$\frac{p}{\rho g}$: Hauteur de pression $\frac{V^2}{2g}$: hauteur cinétique z : la cote sol

Selon la configuration du réseau, la hauteur cinétique peut être négligeable devant les autres termes, ainsi la charge hydraulique, exprimée en mètre (m) s'assimile à la hauteur piézométrique définie par l'équation :

$$H = \frac{p}{\rho g} + z$$

Dans la suite, les vitesses étant négligées, nous considérons la hauteur piézométrique, que nous appellerons charge, plutôt que la charge hydraulique totale comme variable d'état.

- Le débit dans une conduite, exprimé en m³/s est la quantité de fluide qui traverse une section droite S (en m²) de cette conduite par unité de temps, il s'exprime en fonction de la vitesse comme suit :

$$Q = S \times V$$

4) **Equations caractéristiques des éléments du réseau**

Le débit dans chaque élément du réseau est lié à la perte ou gain de charge à travers cet élément par des équations caractéristiques qui sont largement traitées en littérature [Germanopoulos, 1988] :

a. *Conduites*

Plusieurs équations empiriques ont été développées pour les relations débit/charge, elles prennent généralement la forme suivante :

$$Q_{ij} = R_{ij} \operatorname{sgn}(H_i - H_j) |H_i - H_j|^n$$

Où :

- Q_{ij} : débit dans la conduite, connectant les nœuds i et j
- H_i et H_j : Charges aux nœuds i et j
- $\operatorname{sgn}(X)$: Signe de X
- R_{ij} : Constante de la conduite, dépendant de sa longueur, son diamètre et sa rugosité.

Pour le cas particulier de l'équation de Hazen-Williams, qui est valable pour la gamme de vitesses des conduites habituellement rencontrées dans les réseaux d'approvisionnement en eau, la valeur du paramètre n est 0,54. Et $R_{ij} = \beta \frac{C_{ij} D_{ij}^{2,63}}{L_{ij}^{0,54}}$ où C_{ij} est la constante de frottement de Hazen-Williams, D_{ij} et L_{ij} sont le diamètre et la longueur de la conduite, respectivement, et β est une constante dépendant du système d'unités utilisé.

Par exemple, si le débit est exprimé en litres par secondes, $\beta = 278.53$ [Germanopoulos, 1988]

b. Réservoirs

Pour un réservoir dont le point d'alimentation est situé en haut du réservoir, (le tuyau de sortie étant toujours au fond), si le réservoir est à charge constante H_f , son équation caractéristique est la suivante :

$$Q_{ij} = \begin{cases} R_{ij} |H_i - H_f|^n & H_i \geq H_f \\ 0 & H_i < H_f \end{cases}$$

Le débit entre i et j ne sera pas fonction de la charge H_j mais plutôt fonction de la charge constante H_f , à l'inverse de tous les autres éléments hydrauliques connectés au nœud j , dont les équations caractéristiques seront exprimées en fonction de la charge H_j .

c. *Vannes*

L'équation caractéristique de la vanne dépend du type de vanne considéré :

Vanne anti-retour : permet l'écoulement dans un seul sens

Vanne réductrice de pression (PRV) : produit une pression/ charge constante de sortie (H_{prv}) pour une gamme de pressions d'entrée

$$Q_{ij} = \begin{cases} R_{ij}|H_{prv} - H_j|^n & H_i \geq H_{prv} \geq H_j \\ R_{ij}|H_i - H_j|^n & H_{prv} > H_i \geq H_j \\ 0 & H_{prv} < H_j \end{cases}$$

Vanne de contrôle :

$$Q_{ij} = VR_{ij}sgn(H_i - H_j)|H_i - H_j|^n$$

Où V est un paramètre de contrôle continu de la vanne qui peut varier de 0 (vanne fermée) à 1 (vanne complètement ouverte). C'est ce type de vanne qui est généralement utilisé pour contrôler le planning de distribution d'eau dans un réseau en intermittence.

d. *Pompes*

Paraboliques :

De manière générale, une approximation de la relation débit/ charge d'une pompe peut être faite par une courbe parabolique :

$$H_j - H_i = A Q_{ij}^2 + B Q_{ij} + C$$

Où :

- A, B et C sont des constantes décrivant la pompe, généralement obtenues à partir des données du fabricant.

- $H_j - H_i$: Gain de charge à travers la pompe

- Q_{ij} : Débit délivré, dont la valeur est obtenue en résolvant l'équation de deuxième degré en choisissant la racine négative, si l'équation ne présente pas de solution réelle, le débit est considéré nul.

Pompes à charge fixe :

Une pompe à charge constante installée dans un tuyau reliant les nœuds i et j est utilisée pour soulever la charge au nœud i d'une quantité déterminée :

$$Q_{ij} = R_{ij} \operatorname{sgn}(H_i + H_p - H_j) |H_i + H_p - H_j|^n$$

Où H_p : est l'augmentation fixe de la charge au nœud i.

5) *Équations descriptives du réseau*

a. *Lois gouvernantes*

Ces équations décrivent les propriétés de connectivité du réseau et sont au nombre de deux [Mays, 1999] :

- Conservation de masse : la variation du stock est égale à la différence entre l'entrée et la sortie du système. Dans un système sans accumulation, et en l'absence de production/consommation de matière, le débit massique d'un fluide est conservé. Autrement, le terme source ou de consommation est ajouté à l'équation pour équilibrer le bilan.

La continuité de flux à chacun des nœuds i du réseau est exprimée comme suit :

$$\sum_{j \in J_i} Q_{ij} + C_i = 0$$

Où :

- Q_{ij} : débit dans l'élément hydraulique reliant les nœuds i et j
- C_i : consommation au nœud i
- J_i : tous les nœuds connectés au nœud i

— Conservation d'énergie :

Cette relation est dérivée du premier principe de la thermodynamique qui stipule que pour n'importe quel système, au cours d'une transformation, l'énergie n'est ni créée ni détruite, elle est convertie en travail ou en chaleur. L'énergie considérée est la somme de l'énergie potentielle, l'énergie cinétique, et l'énergie interne du système. Dans le cas des systèmes hydrauliques, cette dernière composante (interne) est négligée.

La différence d'énergie entre deux points est donc égale à la somme des pertes de frottement et des pertes singulières, et de l'énergie ajoutée au flux dans les composants entre ces points.

Plus particulièrement, au niveau d'une boucle fermée du réseau, la somme algébrique de toutes les pertes de charge est nulle :

$$\sum_{\forall i, j \in M_m} \delta_{ij}^m \Delta h_{ij} = 0$$

Où la somme englobe tous les éléments de la maille M_m ; Δh_{ij} est la perte de charge au niveau de l'élément entre les nœuds i et j et δ_{ij}^m est égale à 1 si l'écoulement est dans le sens de la maille et -1 sinon.

b. Formulations

A partir de ces lois fondamentales, et de la topologie du réseau qu'on a vue plus haut, trois formulations alternatives sont couramment exprimées pour l'analyse des réseaux de distribution d'eau potable : des formulations nodales, en boucle ou en fonction du débit [Germanopoulos, 1988].

- La formulation nodale considère les hauteurs piézométriques aux nœuds comme variables d'état et en substituant Q_{ij} dans l'équation de continuité plus haut par son expression en charge, moyennant les équations caractéristiques des éléments du réseau, elle définit un système d'équations en fonction des charges aux nœuds.
- - La formulation en boucle considère les débits correctifs communs dans les boucles indépendantes comme variables d'état. Le processus de résolution est initialisé par un système de débits qui vérifient les équations de continuité aux nœuds. Ensuite, les débits sont corrigés dans chaque maille de telle façon à ce que les équations de pertes de charge de la maille soient également vérifiées, sans que les équations de continuité ne soient violées.
- Les équations de débit : Dans cette formulation, les variables d'états sont les débits au niveau de tous les éléments. Cette formulation fait appels aux équations de continuité nodale et aux équations de pertes de charges dans les boucles et des pseudo boucles (Les pseudo-boucles consistent en un ensemble de tuyaux reliant deux nœuds fixes. La perte de charge totale sur l'ensemble des conduites reliant les nœuds de tête fixes (ou « autour de la pseudo-boucle ») doit être égale à la différence d'élévations entre eux ΔH_f .

Dans chacune des formulations considérées plus haut, il y a autant d'inconnues que d'équations indépendantes, le système peut donc être résolu et un état d'équilibre peut être obtenu. Cependant, la nature non linéaire de ces équations fait surgir la nécessité d'avoir recours à des méthodes de linéarisation pour les résoudre numériquement.

6) *Solution numérique : Méthodes de linéarisation*

Nous verrons dans ce qui suit des méthodes de linéarisation qui peuvent être utilisées pour chacune des formulations précitées, ces méthodes seront explicitées pour la formulation nodale, mais les autres formulations utilisent les mêmes méthodes [Lefkir, 2000].

a. *Méthode de Hardy-Cross*

Elle se décline en 3 étapes :

- 1- Supposer une charge initiale pour chaque nœud inconnu du système, qui vérifie l'équation de conservation d'énergie dans les mailles.
- 2- Pour chaque nœud, calculer une correction de charge qui tend à satisfaire l'équation de continuité à ce nœud, l'expression de la correction est la suivante :

$$\Delta H^{it} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ij}^{it} + C_i)}{n \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}^{it}}{(Q_{ij}^{it}/R_{ij})^{1/n}}}$$

- 3- Répéter la deuxième étape pour les charges actualisées jusqu'à satisfaire un critère de convergence donné $(Q_{ij}^{it} + C_i < \epsilon)$.

b. *Méthode de linéarisation de l'équation de perte de charge*

Proposée par Wood et Charles (1972) reprise par Lejeune et ses collaborateurs en 1985 [Wood and Charles, 1972, Lejeune and Rugh, 1985], la méthode de linéarisation consiste à résoudre, par un processus itératif, un système d'équation linéaire composé des équations de continuité aux nœuds d'une part et des équations de mailles linéarisées d'autre part. La linéarisation de la perte de charge par rapport au débit donne un aspect laminaire au régime d'écoulement [Ormsbee, 2006].

Les équations descriptives du réseau deviennent :

- Pour chaque nœud : $\sum_{(j \in J_i)} Q_{ij} = q_i$ $oq_i = -C_i$
- Pour chaque maille : $\sum_{(\forall i, j \in M_m)} R'_{ij} Q_{ij} = 0$ $oR'_{ij} = 1/(R_{ij})^n$

Le problème donc revient à résoudre le système linéaire suivant :

$$A \cdot Q = b$$

Où :

- A : Une matrice composée de m lignes relatives aux équations de mailles contenant les valeurs de résistances hydrauliques (R'_{ij}) des tronçons de la maille, plus nn lignes relatives aux équations de continuité aux nœuds affectées de signes + ou - selon le sens d'écoulement.

- b : Un vecteur de m composantes nulles et nn composantes q_i

La solution Q_k obtenue à l'itération l du système précédent constitue un paramètre permettant la correction de la résistance $(R'_{ij})_k$ par une nouvelle valeur $(R'_{ij})_{k+1}$ tel que :

$$(R'_{ij})_{k+1} = (R'_{ij})_k (Q_{ij})_k$$

Un nouveau système linéaire à résoudre est ainsi formulé. Le processus itératif s'arrête lorsque la différence des débits obtenus entre deux itérations devient négligeable.

c. Méthode de Newton-Raphson

Cette méthode résout toutes les équations de continuité aux nœuds simultanément au lieu de les traiter une par une, comme c'est le cas de Hardy-Cross. Nous détaillons dans ce qui suit la résolution de la formulation nodale, mais elle a également été appliquée aux formulations en mailles [Epp and Fowler, 1971].

La formulation nodale, en termes de charges aux nœuds inconnues H , pour un réseau avec nn nœud en pression, est la suivante :

$$\begin{aligned}
 f_1(H_1, H_2, \dots \dots \dots, H_{nn}) &= 0 \\
 f_2(H_1, H_2, \dots \dots \dots, H_{nn}) &= 0 \\
 &\vdots \\
 f_{nn}(H_1, H_2, \dots \dots \dots, H_{nn}) &= 0
 \end{aligned}$$

Qui peut être formulée comme suit :

$$f_i(H) = 0 \qquad i = 1, \dots, nn$$

L'objectif est d'obtenir un vecteur solution H^* qui satisfait cette équation. L'algorithme commence par un vecteur d'approximation initial H^k qui est proche du vecteur solution H^* . En appliquant la méthode de Newton Raphson un système d'équations linéaires est résolu pour obtenir un vecteur correctif δH^k

Une approximation améliorée est ensuite calculée : $H^{k+1} = H^k + \delta H^k$

Où δH^k est obtenue à partir des équations linéaires suivantes :

$$\nabla f_i(H^k)^T \delta H^k = -f_i(H^k) \qquad i = 1, \dots, nn$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\delta f_1}{\delta H_1} & \dots & \frac{\delta f_1}{\delta H_{nn}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\delta f_{nn}}{\delta H_1} & \dots & \frac{\delta f_{nn}}{\delta H_{nn}} \end{bmatrix}^k \begin{bmatrix} \delta H_1^k \\ \vdots \\ \delta H_{nn}^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 H^k \\ \vdots \\ f_{nn} H^k \end{bmatrix}$$

La matrice des dérivées premières de $f(H)$ s'appelle la matrice jacobienne.

La procédure itérative se termine lorsque : $\|\delta H^k\| < \epsilon$

Où $\|x\|$ est la norme euclidienne de x ; et ϵ est une tolérance spécifiée.

Les dérivées premières des équations de continuité dans la formulation nodale n'étant pas continues, des difficultés numériques peuvent survenir lors de l'utilisation de cette méthode, notamment lorsqu'on se retrouve avec des éléments du réseau pour lesquels $H_i = H_j$. Une solution temporaire est d'enlever ces éléments du réseau pour la simulation. Ensuite, les propriétés de convergence de cette méthode sont faibles globalement mais très bonnes au voisinage de la solution [Burden et al., 1981]. La solution risque donc de diverger si la valeur initiale s'éloigne trop de la solution, afin de remédier à ça, une modification de la taille du pas d'itération au début de la procédure :

$$H^{(k+1)} = H^k + \alpha \delta H^k$$

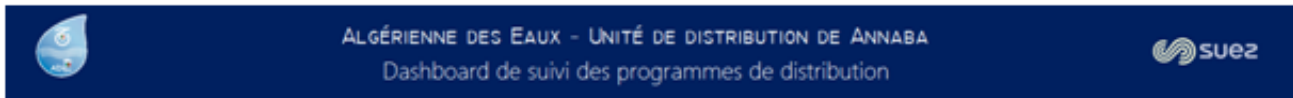
La valeur de α doit être choisie de manière à minimiser $\|f(H^k + \alpha \delta H^k)\| = (\sum_{i=1}^m [f_i(H^k + \alpha \delta H^k)]^2)^{\frac{1}{2}}$

d. *Autres méthodes*

Des méthodes heuristiques existent également, ces dernières sont basées essentiellement sur la méthode de Hardy-Cross comme modèle d'analyse. Elles consistent à remplacer un réseau réel par un réseau équivalent, fictif, dont toutes les conduites portent un diamètre unique fixe (respectivement qui ont une longueur fixe), avec des longueurs inconnues (respectivement des diamètres inconnus). Les longueurs équivalentes (respectivement diamètres équivalents) sont déterminées en résolvant le système d'équations non linéaire. Enfin, des méthodes utilisant la théorie des graphes existent également, ainsi que des combinaisons des méthodologies précitées avec des méthodes de programmation mathématique [Lefkir, 2000].

.9 Mode d'emploi de l'outil dégradé pour le suivi des programmes de distribution

Outil de monitoring : (Programmes journaliers.xlsm)



1. PRÉSENTATION DE L'OUTIL

L'outil se compose des éléments suivants :

1e feuille : Mode d'emploi

2e feuille : Contacts

11 feuilles : Santons, Casbah, Toche, Sidi Aissa, Zaafrania I, Zaafrania II, Zaafrania III, Plaine Ouest, Fakharine, Oued Forcha, Sidi Achour

14e feuille : Bilan hebdomadaire

15e feuille : Global

2. MODE D'EMPLOI UTILISATEUR

a) Définition des Usagers à contacter pour vérifier la conformité des programmes de distribution : (jusqu'à alimentation de la base de données)

La feuille "Contacts" est à renseigner par les membres du CATO à partir des appels/réclamations qu'ils reçoivent de la part des consommateurs.

L'objectif est d'avoir au moins un contact pour chacune des zones suivantes : Santons, Casbah, Toche, Zaafrania I, Zaafrania II, Zaafrania III, Plaine Ouest, Fakharine, Oued Forcha et Sidi Achour.

Les informations à renseigner pour chaque contact sont les suivantes :

| Station | Zone | Nom | Téléphone | Adresse | Centre | Accepte d'être contacté | Autre |
|---------|------|-----|-----------|---------|--------|-------------------------|-------|
|---------|------|-----|-----------|---------|--------|-------------------------|-------|

- La colonne "Station" est obligatoire et doit correspondre à l'une des zones : Santons, Casbah, Toche, Zaafrania I, Zaafrania II, Zaafrania III, Plaine Ouest, Fakharine, Oued Forcha ou Sidi Achour.
- La colonne "Zone" est facultative, et correspond à un découpage plus fin que celui de la station.
- La colonne "Nom" est obligatoire, et correspond au nom du consommateur à contacter
- La colonne "Téléphone" est obligatoire, et correspond au numéro de téléphone du consommateur à contacter
- La colonne "Adresse" est facultative, et correspond à l'adresse (n°, rue/bd ou quartier, et étage) du consommateur à contacter
- La colonne "Centre" est obligatoire, et correspond au centre de distribution correspondant à la zone considérée (à actualiser en fonction du nouveau découpage)
- La colonne "Accepte d'être contacté" renseigne le souhait du consommateur d'être contacté ou pas pour vérification du planning de distribution, elle prend la valeur "Oui" quand c'est le cas, "Non", quand la personne ne veut pas être contactée, elle devra être supprimée par la suite, et "Autres" lorsque le consommateur a des restrictions ou des créneaux qui lui conviennent mieux pour l'appel.

| Station | Zone | Nom | Téléphone | Adresse | Centre | Accepte d'être contacté | Autre |
|---------|-----------------|----------------|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|-------|
| SANTONS | Caroubier | Ouessi | 0771959173 | caroubier ville 96 | Centre 1 - Annaba | | |
| | Vieille ville | Pupe | 038411940 | place carthage vieille ville | Centre 1 - Annaba | Oui Non Autre | |
| | Centre ville | Guesmi | 0658434544 | rue toiba mohamed la colonne | Centre 1 - Annaba | | |
| | Sheraton | Hotel Sheraton | 38 45 20 00 | Boulevard Victor Hugo | Centre 1 - Annaba | | |
| CASBAH | Tours Belvédère | Ben Boubakeur | 0698382225 | Tours Belvédère TRB | Centre 1 - Annaba | | |

La colonne "Autre" est à remplir uniquement si le consommateur souhaite être contacté à des créneaux définis, auquel cas les créneaux en question doivent être renseignés.

La feuille "Contacts" est à remplir jusqu'à ce que le CATO ait suffisamment de contacts pour la vérification des horaires de livraison, idéalement, 28 contacts par Zone seraient suffisants, afin de mettre en place un roulement d'un appel par contact toutes les 4 semaines.

b) Renseignement des dates de la semaine : (tous les dimanche)

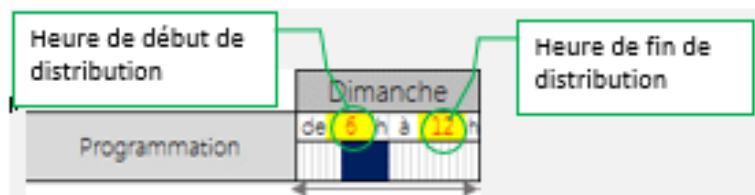
1. En chaque début de semaine, ouvrir la feuille "Santons" pour renseigner les dates encadrant la semaine, et le numéro de semaine.



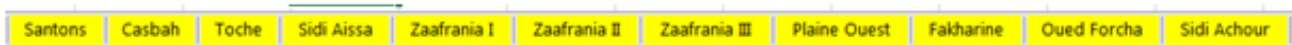
2. Renseigner les dates dans les espaces jaunes en haut de la feuille "Santons", selon le format "Jour/Mois/Année", le premier espace doit contenir la date du dimanche du début de la semaine, et le deuxième espace, celui de samedi de la fin de semaine.

c) Renseignement du programme de distribution : (tous les jours)

1. Pour un jour donné, renseigner, pour chacune des feuilles des zones d'alimentation, les horaires de distribution prévus. Pour chaque zone, une heure de début de distribution, et une heure de fin de distribution doivent être renseignées.



Les 11 feuilles à remplir sont les suivantes :



2. Dans chacune des feuilles, aller au tableau "Programmation", puis renseigner au niveau du jour de la semaine (dimanche, lundi, mardi, mercredi, jeudi, vendredi, samedi ou dimanche), dans les espaces en jaune, l'heure de début de distribution et l'heure de fin de distribution, telles qu'annoncées par les chefs de centres).

3. Le renseignement des horaires de distribution prévus doit obéir aux règles suivantes :

- a- Si une zone n'est pas desservie le jour en question, renseigner 0 (zéro) pour l'heure de début de distribution et 0 (zéro) pour l'heure de fin de distribution
- b- L'heure de fin de distribution doit toujours être strictement supérieure à l'heure de début de distribution (à l'exception de quand elles sont toutes les deux égales à zéro)

- c- Si la distribution comment à minuit, indiquer 0 (zéro) comme heure de début de distribution. Si la distribution se termine à minuit, indiquer 24 comme heure de fin de distribution

d) Renseignement des heures de distribution réelles : (tous les jours)

| | Dimanche | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi | Samedi |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Programmation | de 6 h à 12 h | de 6 h à 12 h | de 6 h à 12 h | de 0 h à 0 h | de 6 h à 12 h | de 6 h à 12 h | de 6 h à 12 h |
| Vérification terrain | de 6 h à 12 h | de 7 h à 11 h | de 7 h à 10 h | de 17 h à 19 h | de 7 h à 11 h | de 8 h à 12 h | de 20 h à 22 h |

1. Pour le même jour, et pour chacune des zones, aller au tableau "Vérification terrain", et le remplir suite aux renseignements récupérés auprès des consommateurs contactés de la zone, l'heure réelle de début de distribution, et l'heure réelle de fin de distribution.

2. Les mêmes règles que pour le renseignement des heures de début et de fin du programme de distribution (tableau programmation) sont applicables à ce tableau (Vérification terrain) aussi.

e) Paramétrage des seuils d'alimentation : (à renseigner une fois, facultatif)

1. Les seuils qui définissent l'indicateur de défaut de livraison en fonction de la durée d'alimentation ont été définis comme suit :

- a- si la durée d'alimentation est de moins de 3h, la distribution est jugée insuffisante
- b- si la durée d'alimentation est entre 3 et 7, la distribution est jugée moyenne
- c- si la durée d'alimentation est supérieure à 7h, la distribution est considérée suffisante

2. Ces seuils sont des paramètres qui peuvent être modifiés en fonction des actions qui sont entreprises en terme d'apport des ressources et de réduction des pertes

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Durée minimale d'alimentation | 3 |
| Durée intermédiaire d'alimentation | 7 |
| < 3 | Insuffisante |
| entre 3 et 7 | Moyenne |
| plus que 7 | Suffisante |

Valeurs paramétrables

f) Sauvegarde de la saisie journalière : (tous les jours)

Chaque jour, à la fin de la saisie, et pour chacune des zones de distribution, cliquer sur le bouton "Sauvegarder la saisie"



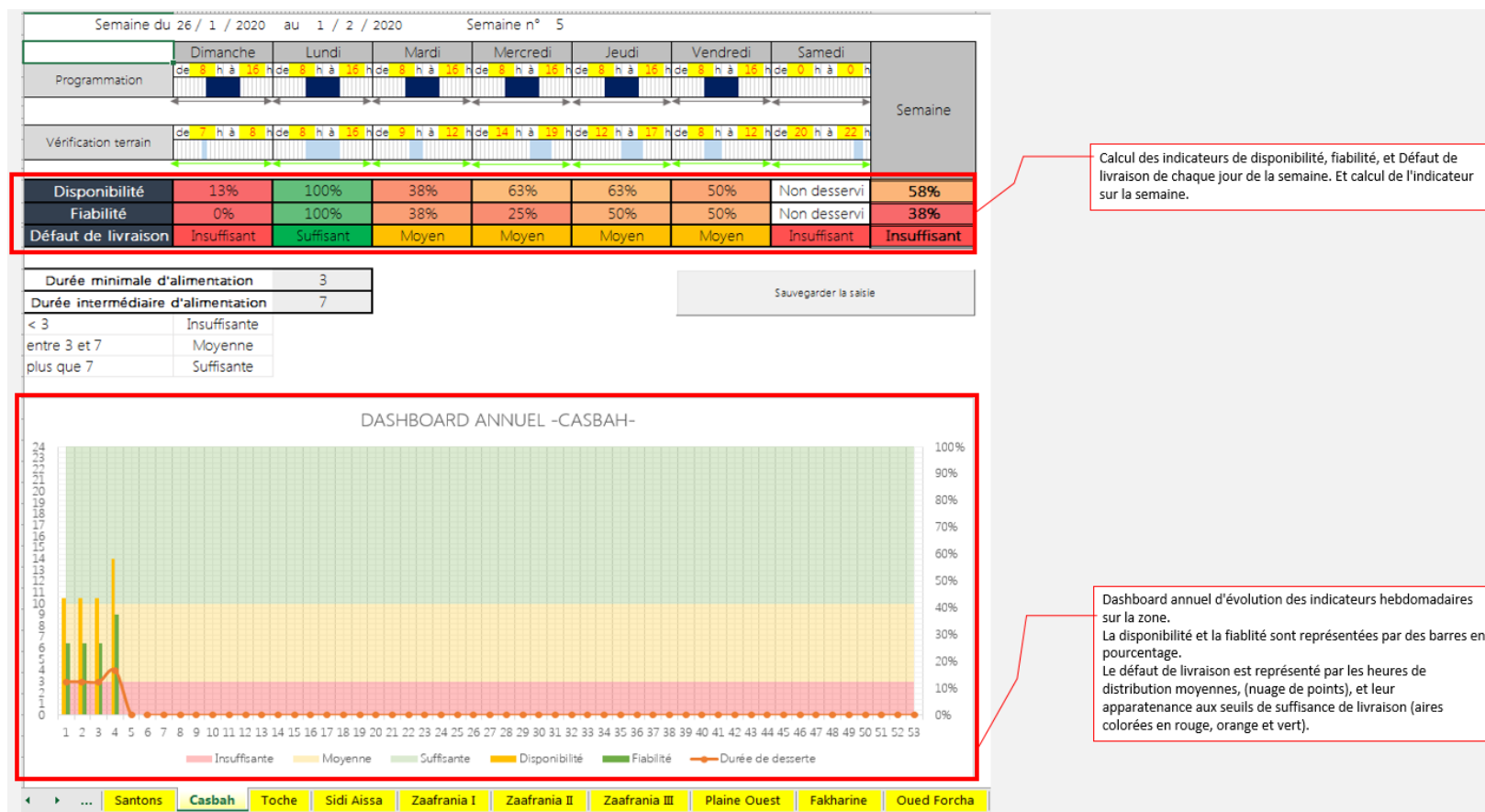
g) Résultats

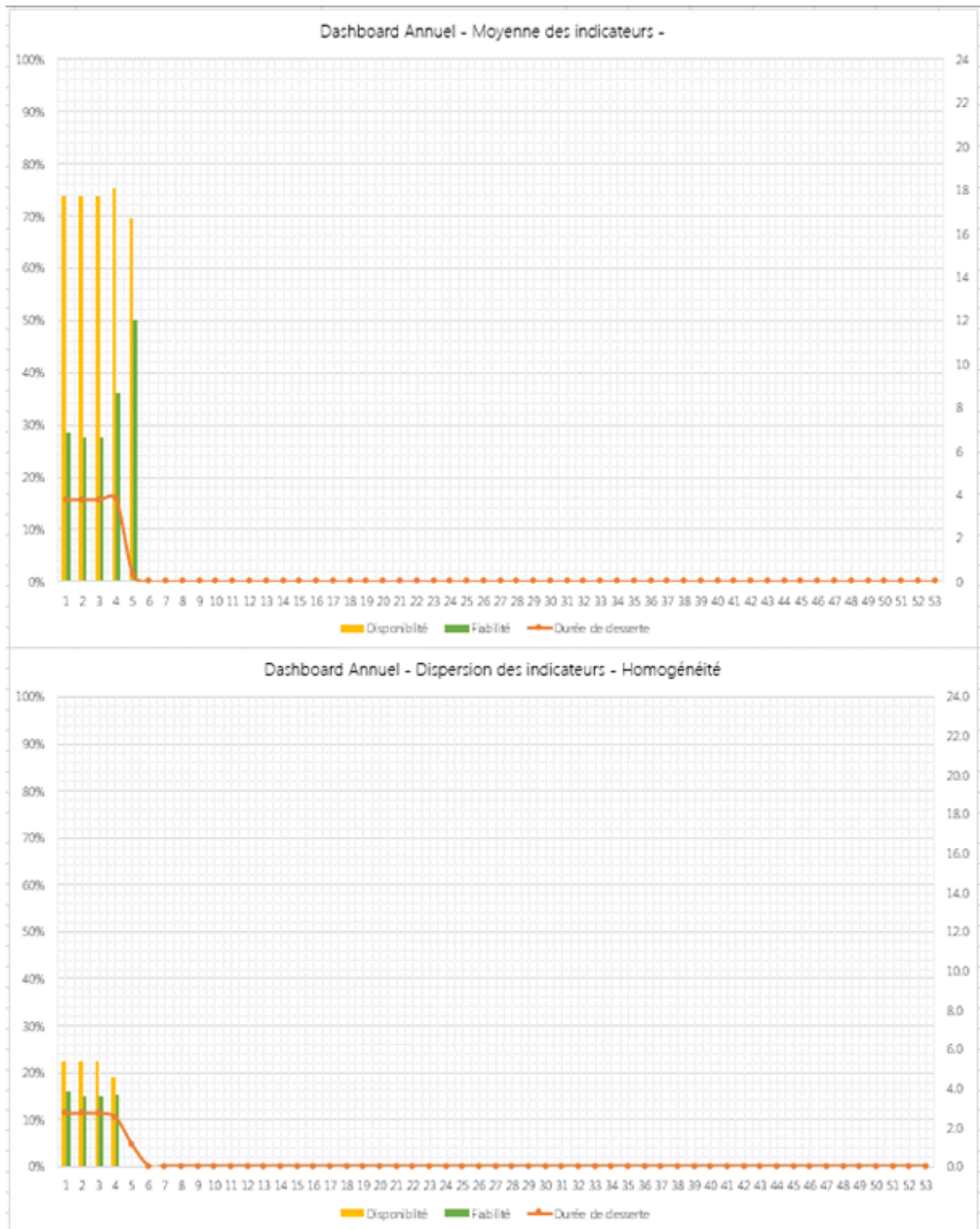
3 types de résultats peuvent être constatés sur 3 dimensions temporelles :

Résultat 1 : Calcul des indicateurs de conformité par jour et par zone de distribution

Sur chacune des feuilles correspondant aux zones de distribution, une fois la saisie terminée, un calcul automatique des indicateurs de conformité au programme de distribution est fait, à savoir : la disponibilité de l'eau, la fiabilité de la distribution et le défaut de livraison.

Un dashboard annuel qui trace l'évolution des trois indicateurs se met également à jour automatiquement, une fois la saisie sauvegardée pour la zone.





.10 Spécifications de l’outil d’aide à la décision pour le Master Planning

.10.1 General Requirements

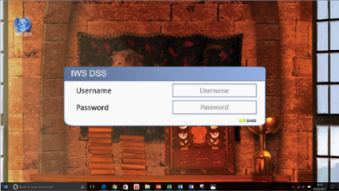
The DSS tool is designed to be used mainly for planning strategic structural operations to improve Intermittent water supply. The tool is designed to be able to provide essential elements for different situations :

- Contract bidding by providing the following main functions :
 - Water demand, resources availability and network capacity assessment
 - Water demand, resources availability and network capacity forecast
 - Action plan establishment, based on the forecast and the targets.
- Spatial and chronological visualization and follow up
 - Water balance by administrative and hydraulic zones
 - Network performance evolution
 - Actions performance following up
 - Strategic plan following up and adjustment

The tool will have user-friendly interfaces and be easy to use. It is destined to be used world widely so it should be international with the following requirements :

- Multi-language
- Multi money system
- Multi-unit system

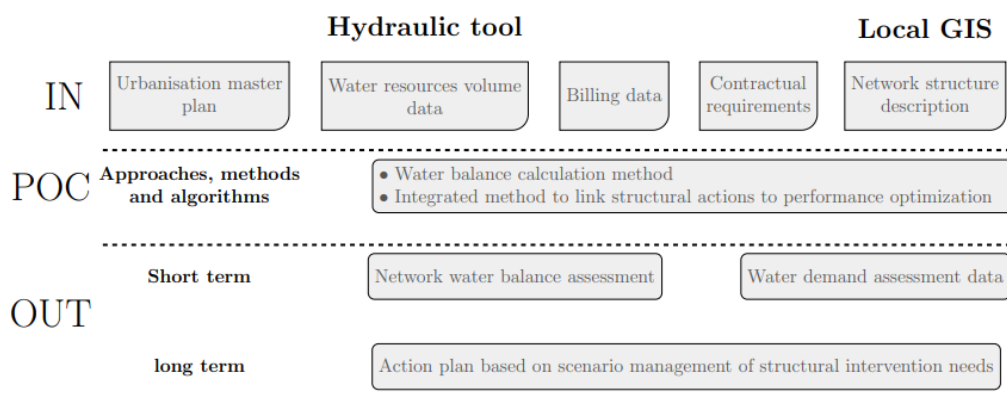
.10.1.1 Different levels of access rights

| User profile | Usage |
|---|--|
| Administrator | <ul style="list-style-type: none"> • Manage user access to application • Guarantee the availability of server |
| Experts  | <ul style="list-style-type: none"> • Update input data and control data quality • Set up the parameters for different modules: e.g., ratio of physical losses • Evaluate the supply balance condition with provided information such as the characteristics of the network, water losses, demographical and other information. • Set up analysis performance and strategic forecast scenarios (based on the displayed action plan) • Follow up the performance evolution • Manage the common database for performance indicators |
| Client level 1: e.g. Local authority decision maker | <ul style="list-style-type: none"> • Consult and follow up network water balance • Consult the strategic scenarios results • Follow up the actions performance |
| Client level 2: e.g. Strategic planning manager | <ul style="list-style-type: none"> • Create Forecasts and Induce changes in some parameters of the Forecast • Create and modify the strategic scenarios |

.10.1.2 Interface with other systems

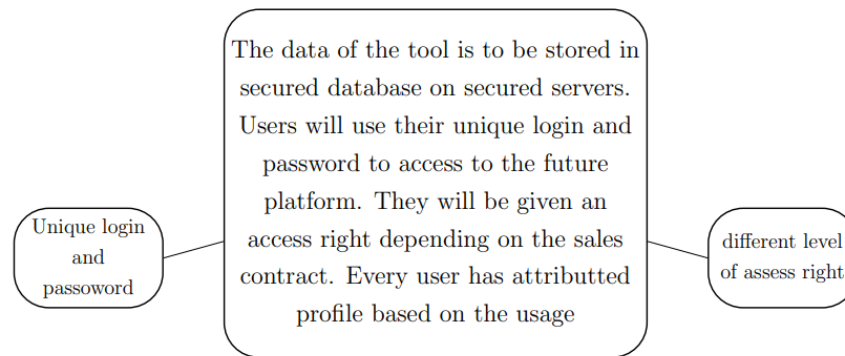
The tool requires inputs from different systems :

- Hydraulic management tool
- Hydraulic model
- Asset description tools ...



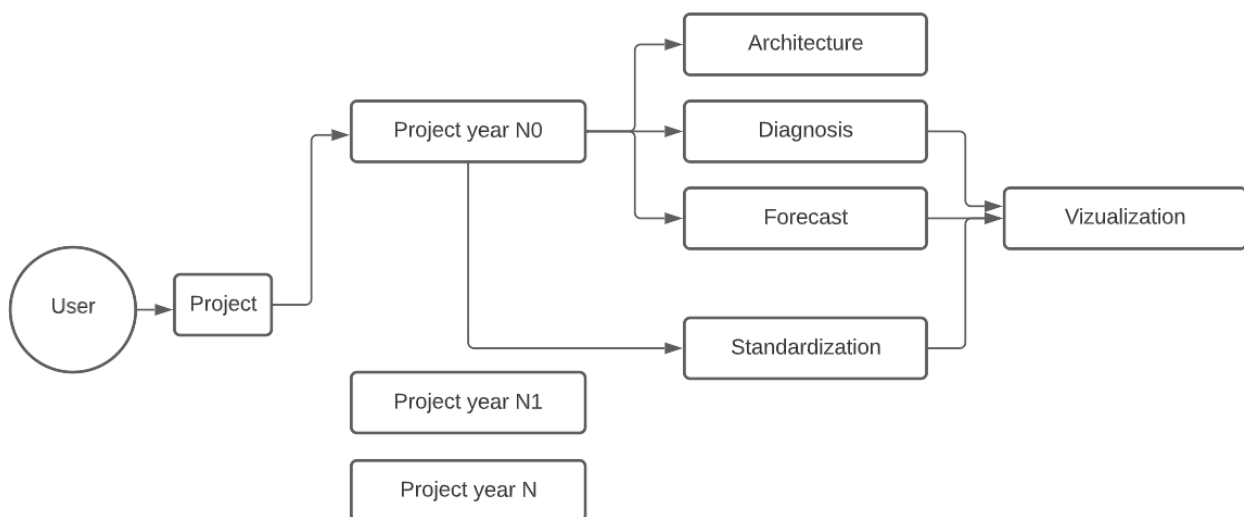
The hydraulic tool and the model are to simulate the hydraulic behavior and provide resource input data, and get demand information. The GIS gives the networks description and allows the spatial visualization display.

.10.1.3 Security and access right



Profil oriented access right

.10.1.4 General navigation structure

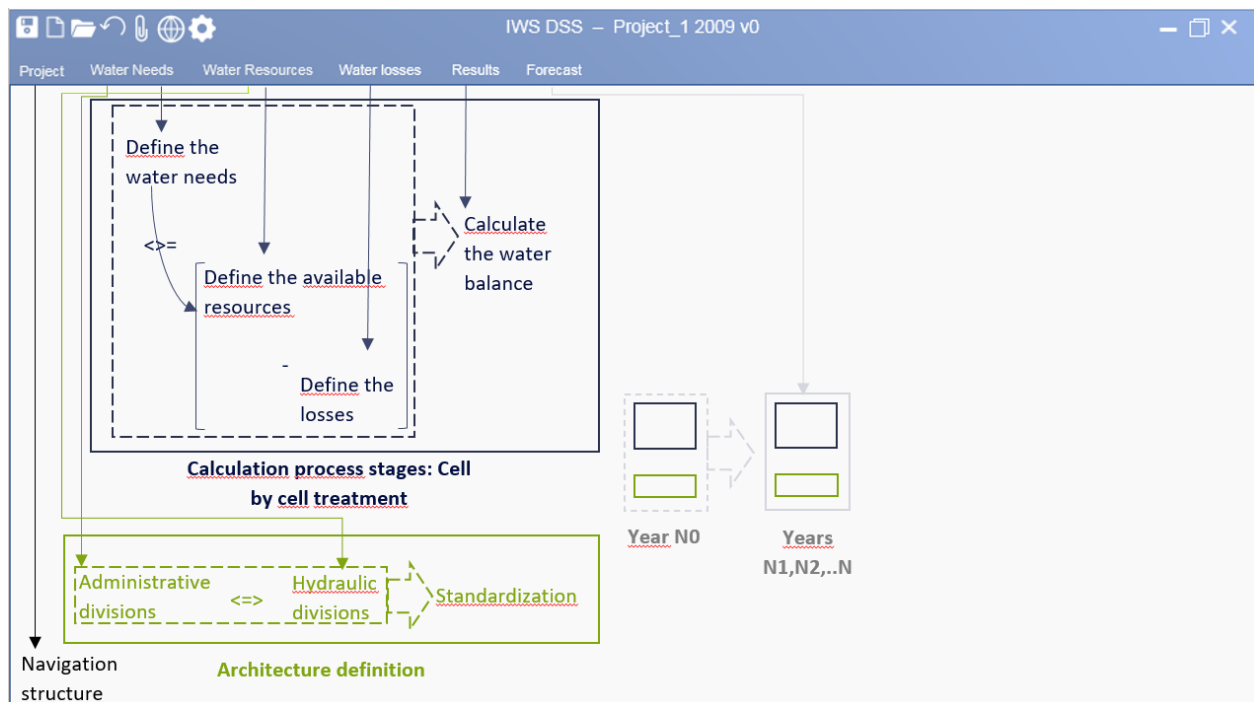


Once the user is logged, depending on his access right, he can either open an existing project or create a new one.

Create a new project : In order to unify the notation, the user must enter a name and a year for any new project, while the tool automatically generates an incremental ID to differentiate between different projects un the same area at the same time.

Open an existing project : The tool must offer to the user the possibility of opening a project, duplicating it, and deleting it.

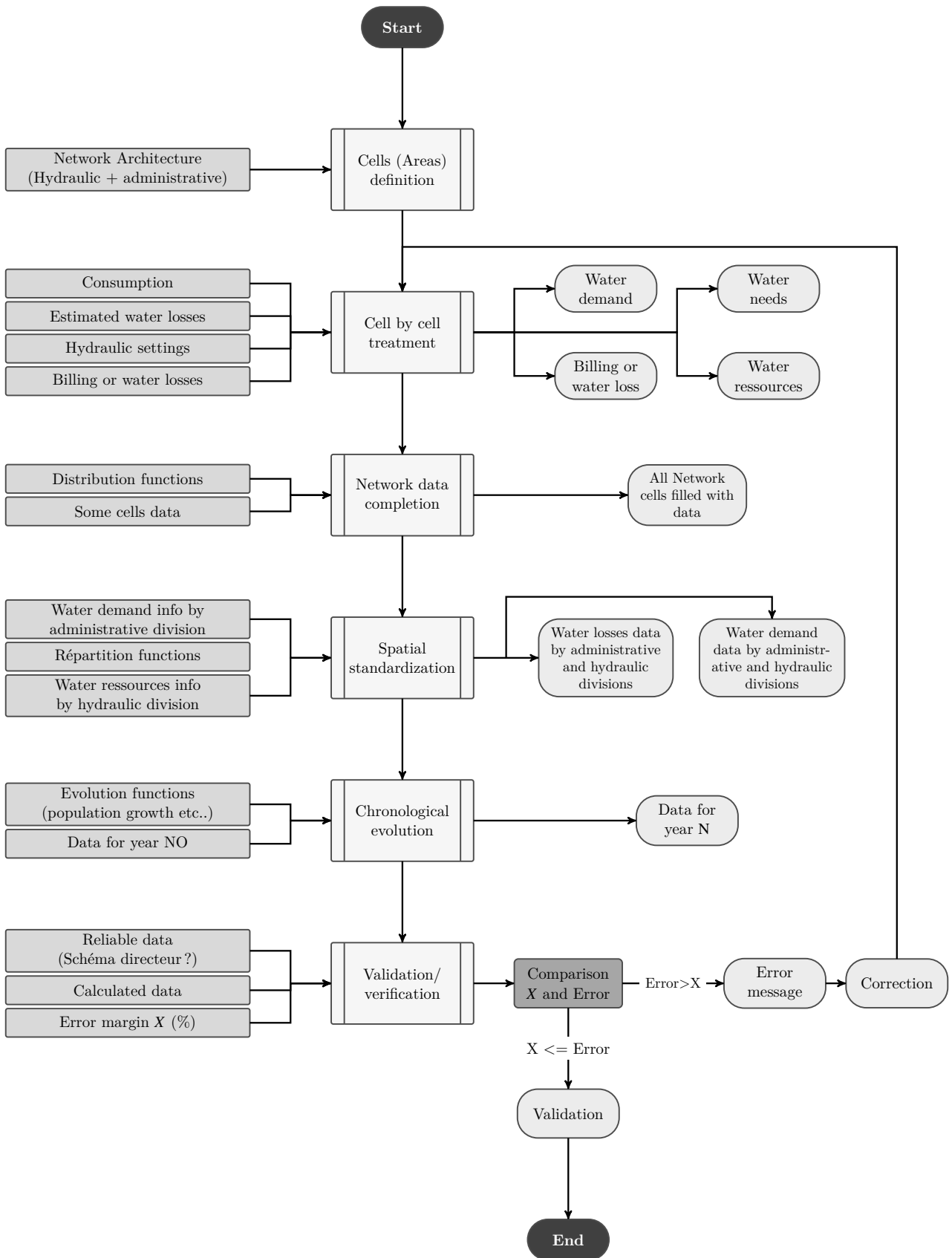
The follwing figure displays a presentation of the simulation process stages :

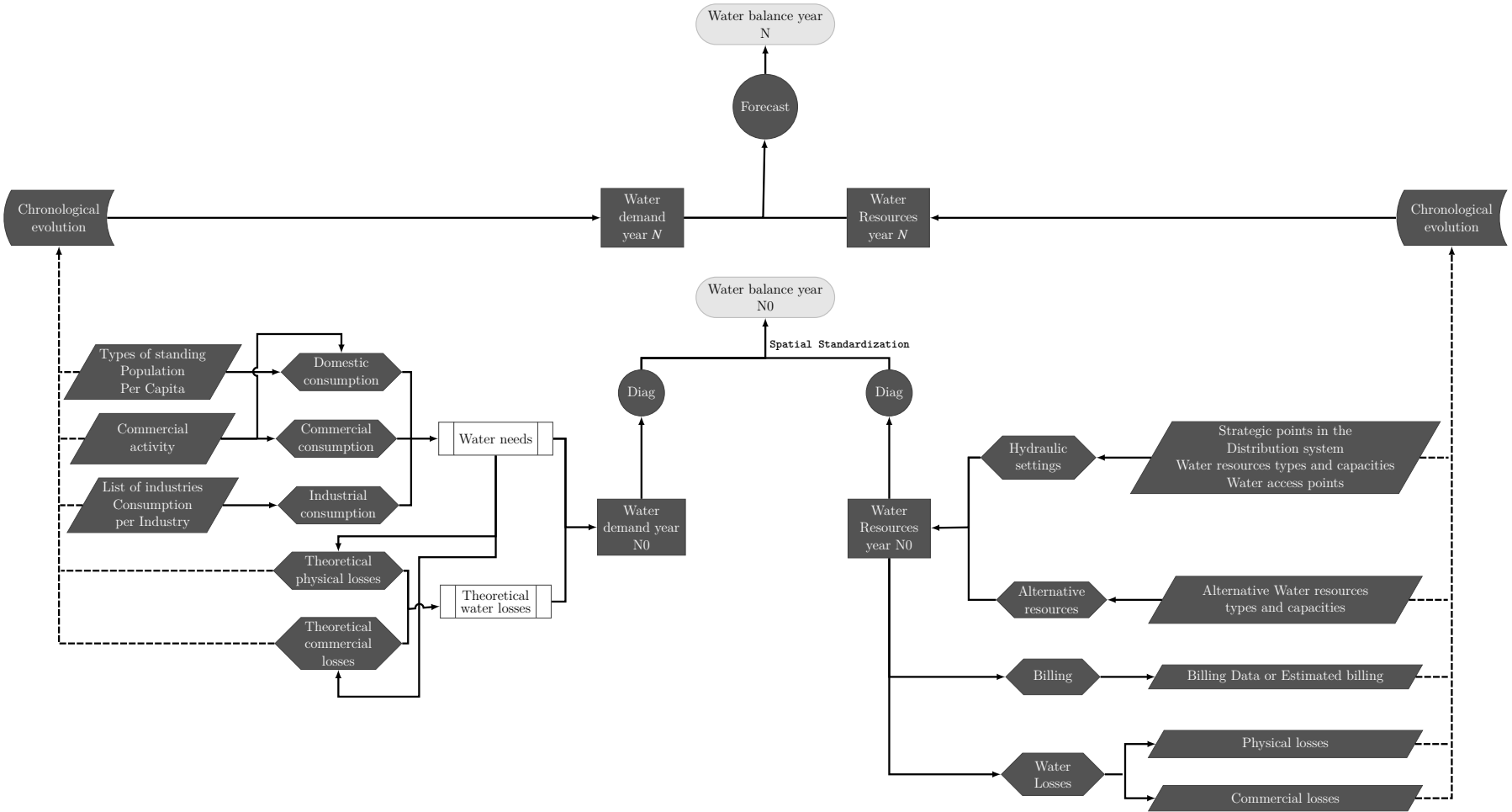


- Project creation
- Architecture definition (the administrative divisions are defined in the « water needs » tab, while the hydraulic divisions are defined in the « water resources tab »)
- Cell by cell treatment : data entry at the water needs, water resources and water losses tabs.
- Standardization : done at the level of the water resources tab (through the allocation of resources)
- Water balance : the calculation follows the entry of the water needs, the water resources and the water losses data.
- Results display : allows the visualization of the entrance data and the calculated indicators
- Forecast : Chronological evolution of the entry data and the indicators

.10.1.5 Modules and workflow

The modules defined above can be grouped together in the following logigramme :





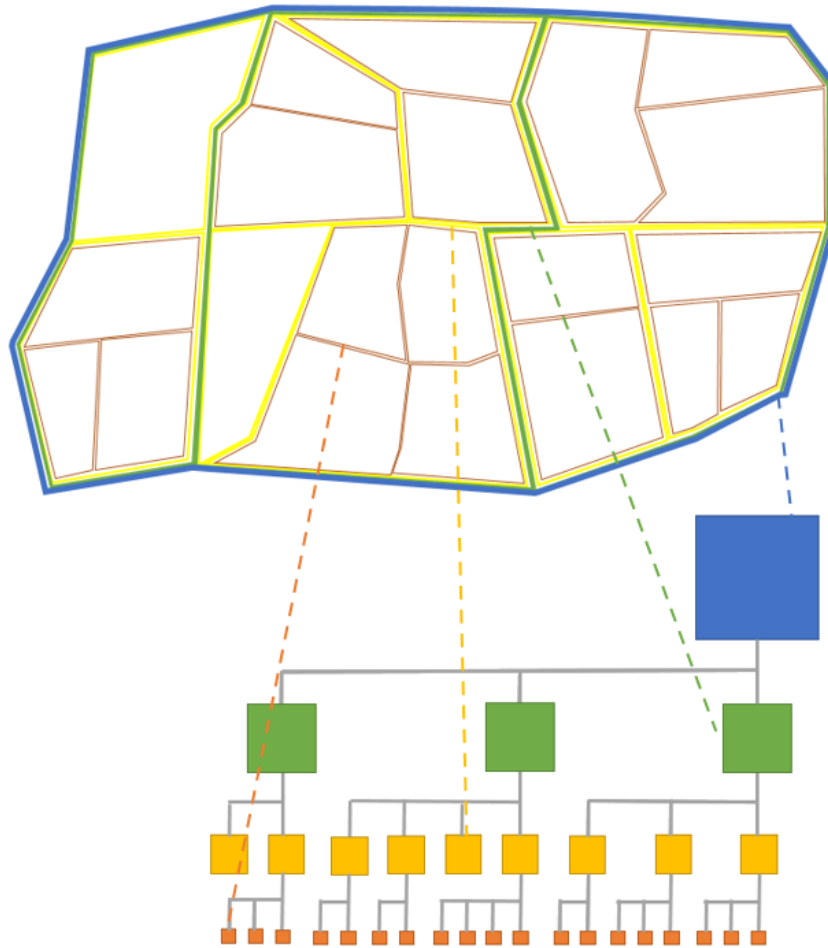
.10.2 Modules

.10.2.1 Module 1 : Architecture

For the initial year, the tool offers to the user the possibility of defining the administrative and the hydraulic architectures of the network by either drawing the administrative/hydraulic divisions by hand (According to a predetermined key affecting a color to each level of detail (city, district, neighborhood ... etc)), or importing the administrative/hydraulic divisions from a georeferenced file or table. The obtained conceptual schemes of the network correspond to two tree diagrams, where each level of detail is a range of similar cells. In any case, the tool asks from the user a confirmation of the number of zones in each division.

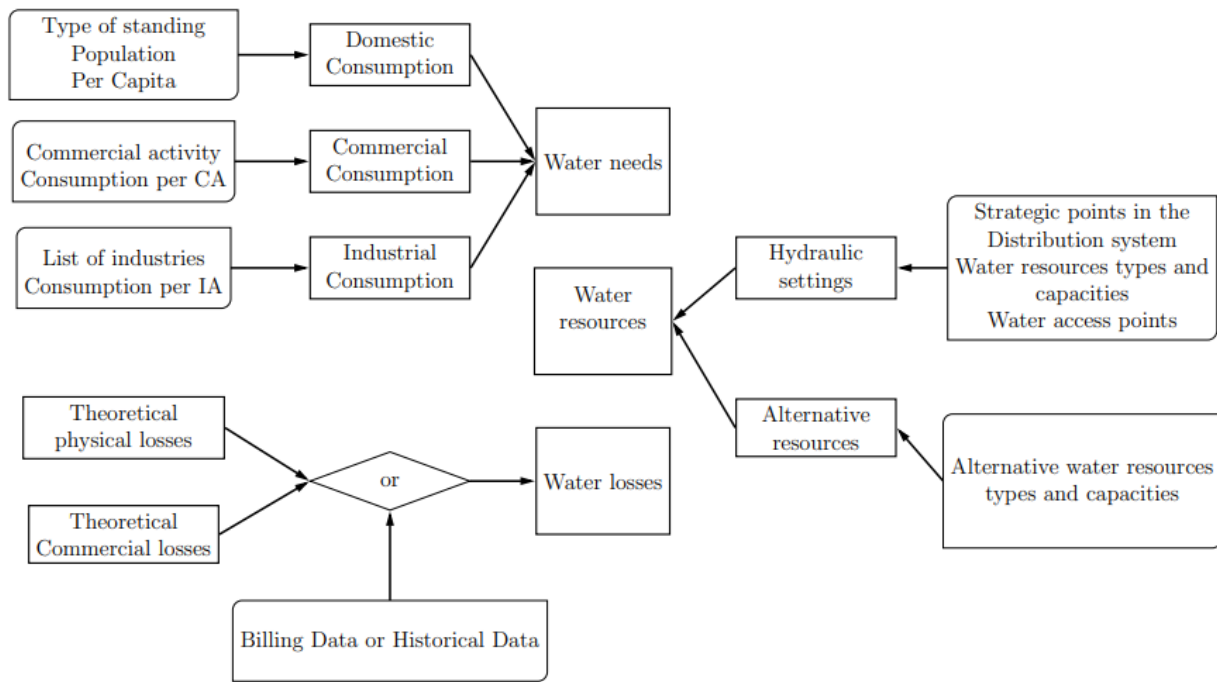
N.B : In the initial configuration, the user must include all the administrative areas that will eventually be created/populated in one of the next years of simulation, the information related to those areas will be set to zero at the beginning to be entered later.

- If the user imports a shapefile, the tool establishes the links between the polygones or polygones describing the zones (area, sub-area...), and generate the corresponding tree diagram.
- The Cells' IDs are defined to indicate the relationship between the cells.
- The extracted number of area levels (levels of the tree diagram) is checked with the user.
- If the areas are drawn, the user must first enter the number of area levels
- The inputs of the module are mainly from the Network structure description and the administrative definition data of the Area, we use the GIS as input tool to illustrate the fonctionnalités.
- Once the spatial data is aquired from the GIS (or georeferenced file), the module's objective is to associate a geographic object (Polygone, or Polyline), representing an Administrative Zone to a defined cell with an order inside the arborescent representation of the Network



.10.2.2 Module 2 : Cell by cell treatment

For the initial year, at the level of the areas for which we have available data (cells), the user must fill in water needs, water resources and water losses parameters. The information for water needs is generally entered at the level of the administrative divisions. A spatial standardization operation is done if needed. (cf. module 3) An initial operation of global characteristics (categories of population, global water consumption, global network linear...) definition is required. The user has the possibility to apply those values to all the zones for a quick simulation, and modify them later on manually. After the general characteristics are defined, the user should select the zone (cell) to fill. The tool offers the possibility for the user to enter the data cell by cell, on individual windows, or on a table. The selection done on the zone in the map should be mirrored by a selection in the tree diagram, and a selection of the corresponding line in the corresponding table : the user should be able to fill in any of those view. In the table view, the

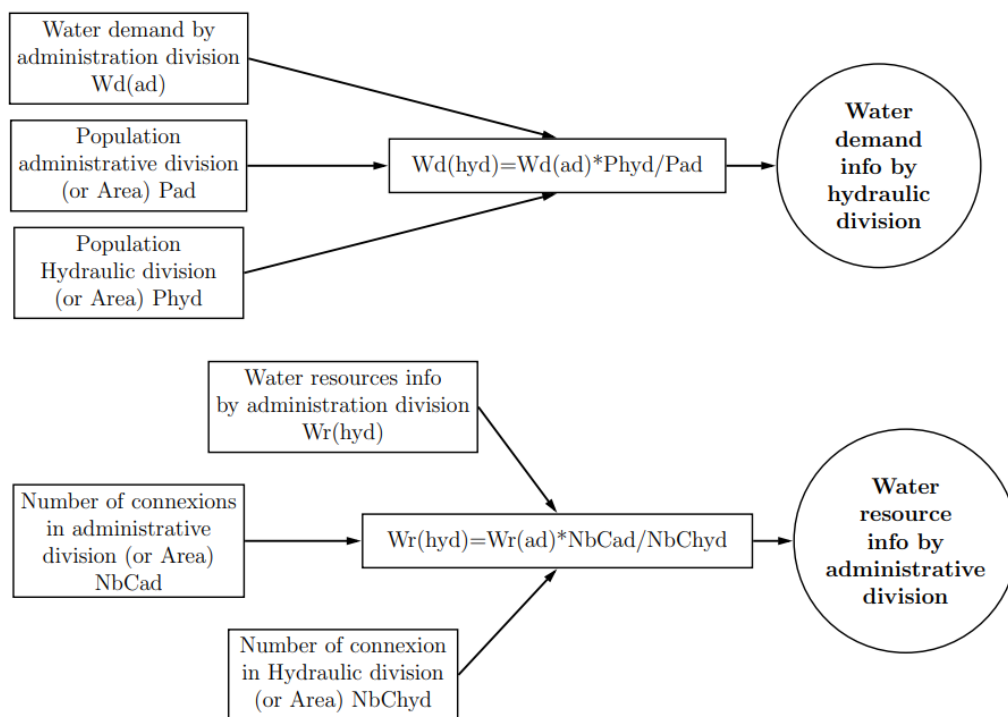


user should have the possibility to import the data directly from an excel sheet with a predefined format. This would save the time for the user from having to copy paste the entry data, if it is calculated on excel beforehand. Before affecting the water resource data to the cells, if the information is available by hydraulic sector, the user should start by defining the architecture of the hydraulic divisions. A similar approach to what has been done for the administrative divisions should be conducted. The result is a drawing of the zones with a corresponding tree diagram and a table. The user can upload the administrative divisions in the background in order to relate. The resources can be approximately placed on the drawing, an index is automatically generated for every resources of each type. After the resources have been placed, their nominal capacity, and real production data are entered for each one of them. The input method can be the same as the one described for the domestic consumption. To fill the cells with the water losses data, the user should have the choice either to enter historical data, billing data, or do the allocation manually. The historical data requires the entry of a number of year. (the tables will be configured on that basis.). For each of the chosen calculation methods, the user should have the choice to proceed by hydraulic or administrative zones, the conversion to one or the other division will be done according to the repartition functions of the spatial standardization (cf. module 3). The input method can be the same as the one described for

the domestic consumption and the resource allocation tabs, on the table view, by year and by zone. If the losses are allocated manually, the repartition function (from the average loss value to the water losses by zone) must be chosen by the user. Even if the user choses a repartition function, the operator has the possibility to change those values, if he has additional info.

.10.2.3 Module 3 : Spatial standardization

As the hydraulic division is likely to differ from the administrative one, a transformation of the entry data to the opposing architecture is necessary to establish the water balance later on.



Repartition functions examples

The spatial standardization is based on the imputation of repartition functions and ratios of indicators such as :

- The population
- The number of connexions
- The linear of the network
- The rate of breakage

- The area
- Etc...

The resource allocation should allow a distribution of the resources by administrative zones and by hydraulic zones.

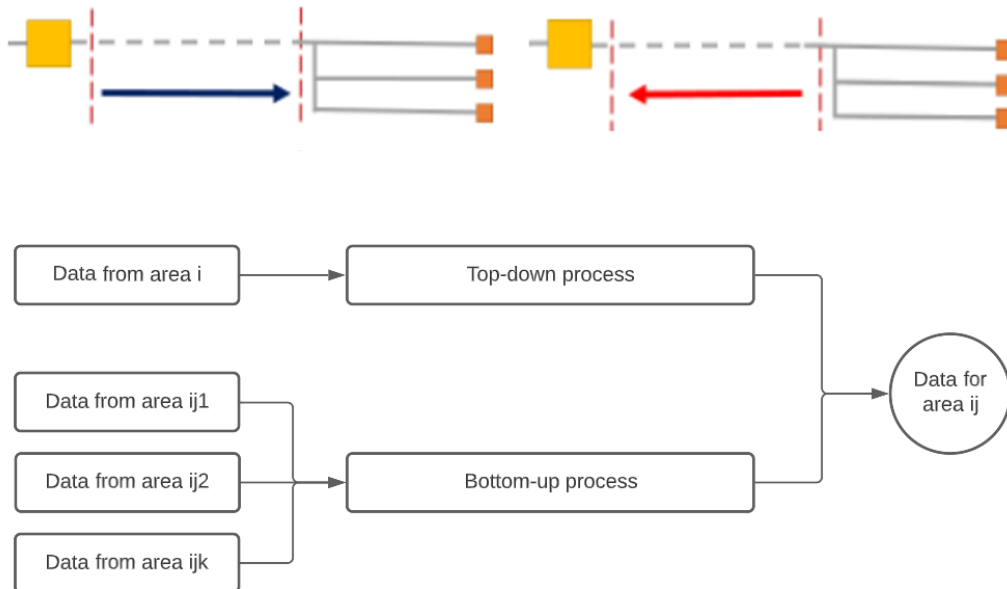
The user selects the repartition function for each value field, and can modify the data manually in the table view as well.

Further repartition functions can be deduced from the allocation of the resources, and applied on the rest of data.

.10.2.4 Module 4 : Network Data Completion

As the available data won't likely cover the level of detail required by the tool, some assignment rules can be used to fill in the blanks for the cells with incomplete parameters.

The completion process can either be Top down or Bottom up, or both.



- Top down process : For a given year, the water demand information of a cell C_{ij} (Area ij) can be deduced from the parameters of the cell C_i (Area i), using distribution factors.

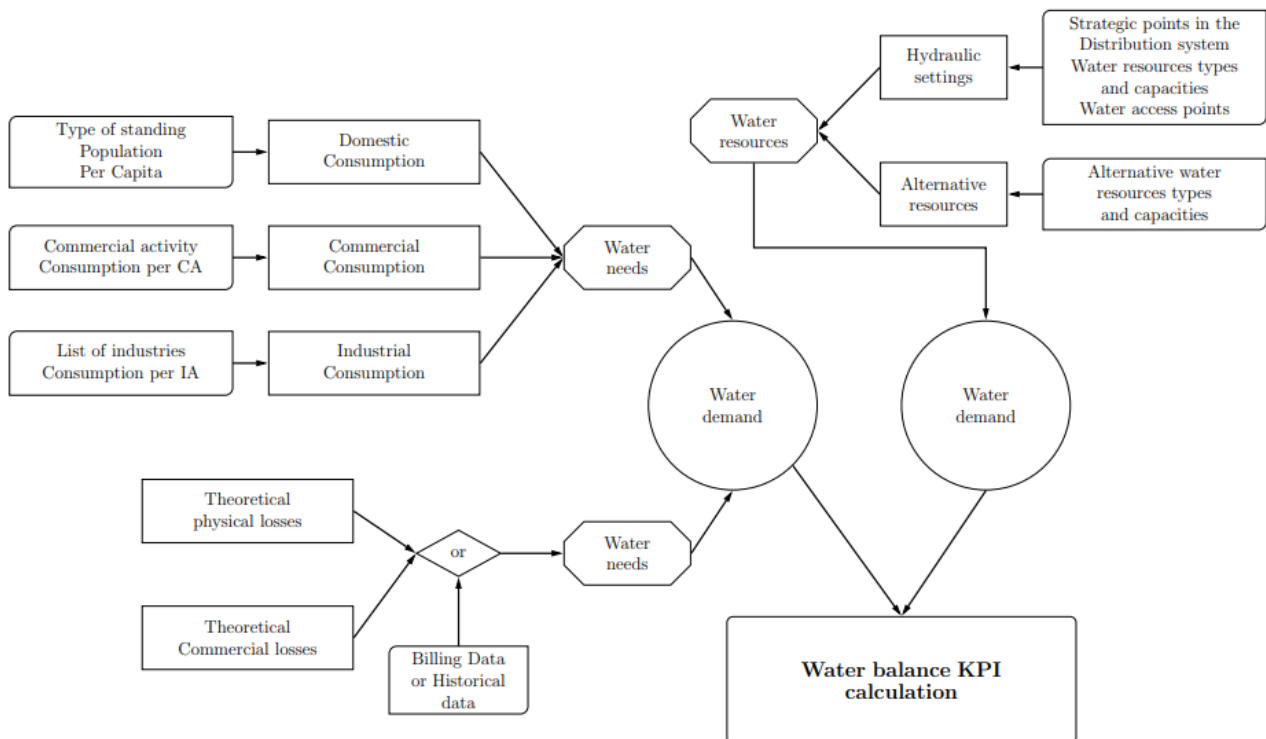
$$XC_{ij} = f(XC_i)$$

- Bottom up process : Conversely, the parameters of a cell C_i (Area i) can be deduced from a generally summative function of the parameters of its child cells.

$$XC_i = g(XC_{i1}, XC_{i2}, \dots, XC_{ij})$$

.10.2.5 Module 5 : Global Water Balance

Once all the cells have the water needs, water resources and water losses data entered, the tool calculates the water balance indicators per zone, and the user can display the results.



.10.2.6 Module 6 : Diagnosis Results

The results are displayed in the three windows :

- Geographical display
- Chart display
- Table display

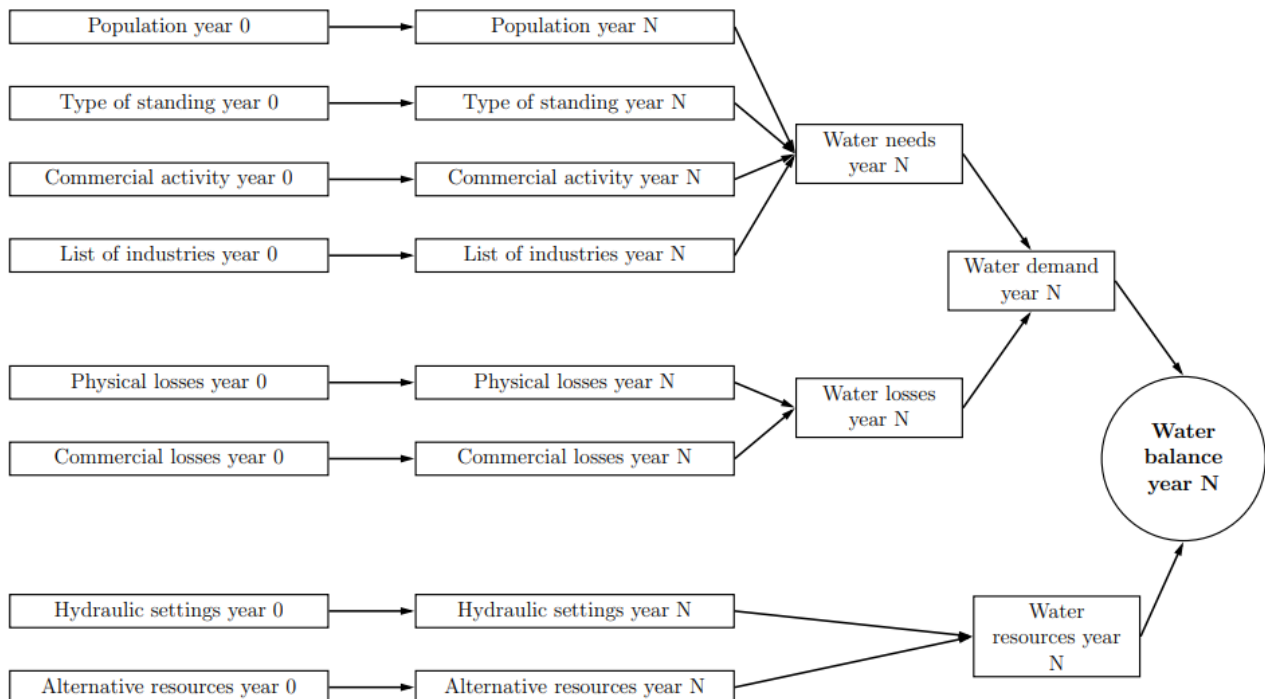
This implies choosing a representation level and a type of division (By hydraulic zones, or by administrative zones).

The can display one to many indicators, and suggest corresponding charts.

.10.2.7 Module 7 : Chronological Evolution

The tool must calculate the parameters of a year $n+1$ based on the values of the year n parameters, using evolution functions such as grow rates, but also offer to the user the possibility of manually entering potentially available values in other data sources (master management plans, etc...)

The user shall also have the possibility to enter part of the historical information (minimum 3 to 5 years).



Once the Diagnosis is concluded, the user can generate various future simulations on a defined number of years.

The scenario number index is generated automatically to differentiate two forecast simulations for the same diagnosis.

As for the diagnosis, the forecast requires filling water needs, water resources and water losses data, with the implied spatial standardization.

The data entry is carried out in the same way as for the diagnosis, with two exceptions :

For some characteristics, such as the population for example, the user can choose evolution functions that automatically calculate its value per year.

Input data are entered per year.

As for the diagnosis, the results, per year, should be displayed in three windows :

- Geographical display
- Chart display
- Table display

This implies choosing a representation level and a type of division (By hydraulic zones, or by administrative zones).

The screens should be able to display one to many indicators, and suggest corresponding charts.

The second way of displaying the results is to show the indicators' evolution over time. An animation through the years could be implemented for that, along with evolution charts and tables.

After the display of the forecast results, two kinds of comparison should be unlocked :

- A comparison between two years of the same simulation
- A comparison between two simulation of the same project.

.10.2.8 Module 8 : Validation / Verification

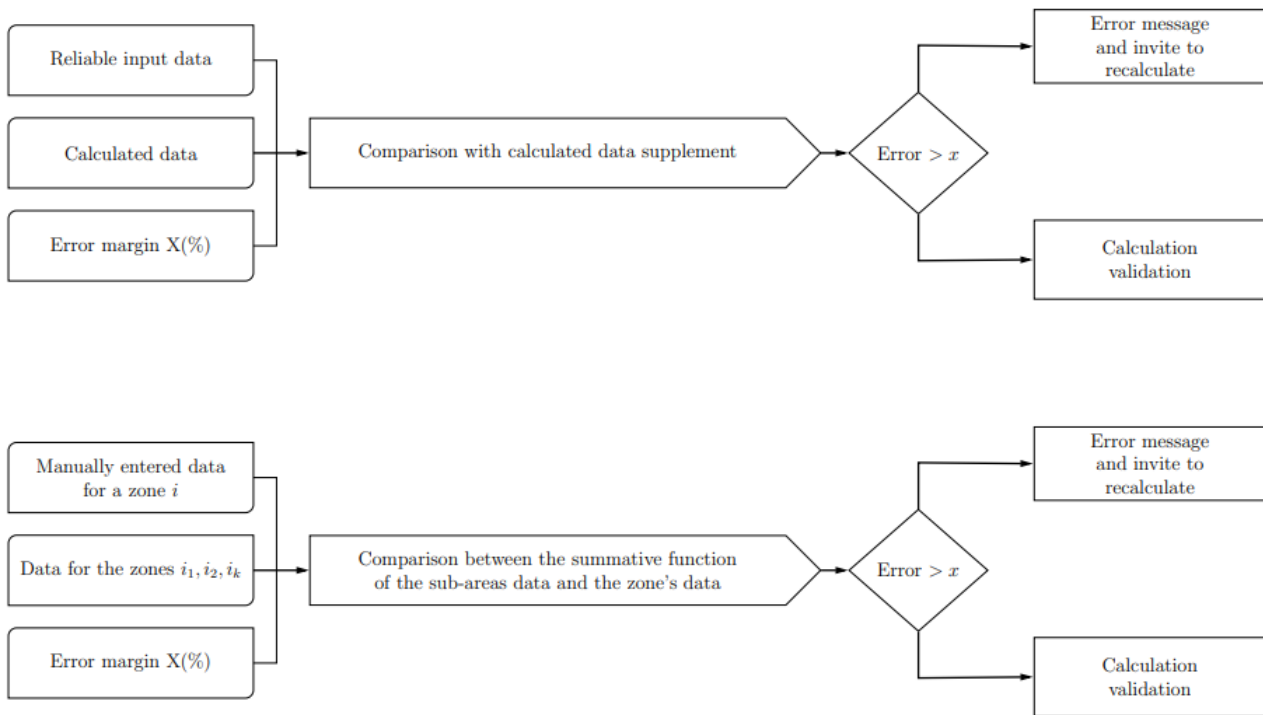
The transition from a small division to a higher division is made according to rules of summation, however the development plan may contain projections of evolution for these values to the next level.

As a result, to avoid differences, a good way to check is a comparison of values obtained by calculation with those projected by the plan.

If these differ more than $x\%$, an error message appears to the user for notification.

The same method can be implemented when the data entry is done manually, the transition from one zone to its subarea must comply with the summation rules, otherwise an error message must be displayed.



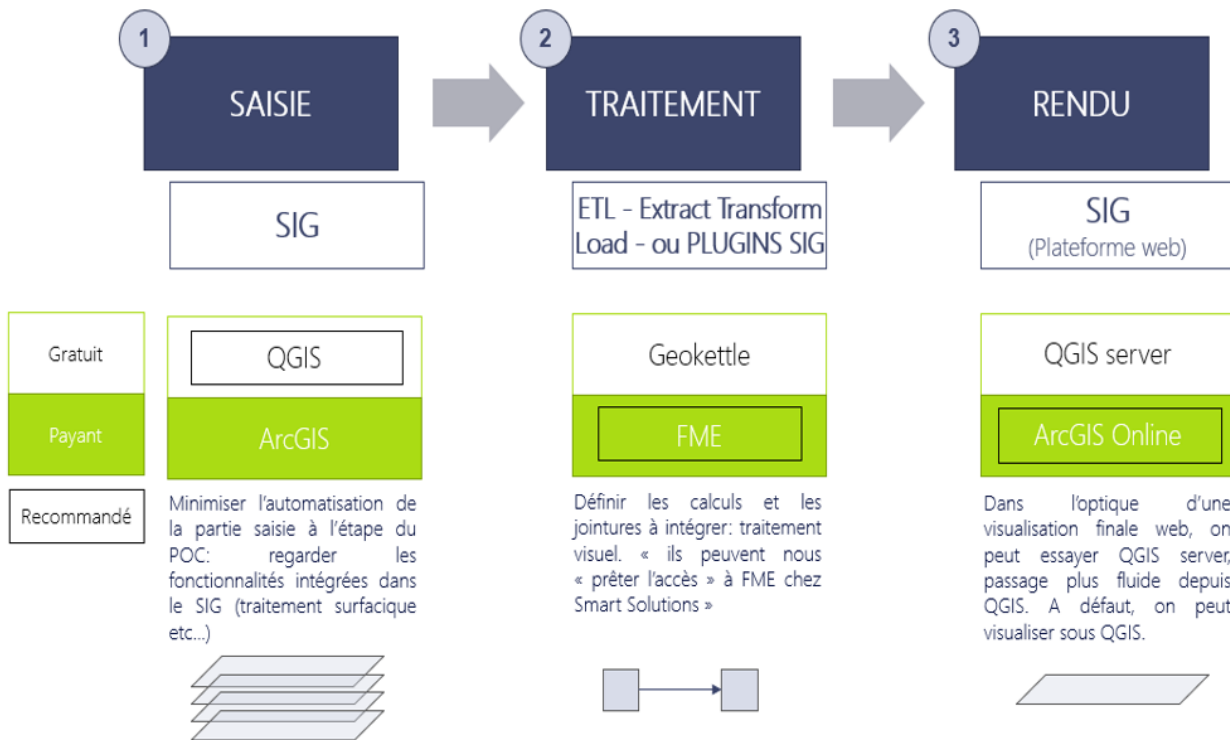


.10.3 Tool Development

The operation of the tool can be broken down into three phases :

1. A data entry phase
2. A processing and calculation phase
3. A visualization phase

As the tool has a strong geographical component and visual interest, the following diagram illustrates the steps and development supports proposed for each phase .:



The data are therefore entered at the level of a GIS tool, which has most of the necessary input functions, the work to be done at this level is in automating this step for all the projects to be created.

The processing of geographically located data is to be carried out in an ETL (Extract Transform Load), which is a data integration process that transfers raw data from a source system, prepares it for downstream use and sends it to a database, data warehouse or target server. In this process, the data transformation takes place on an intermediate server before loading onto the target. The idea here is to take advantage of the geographical processing possibilities offered by GIS and to outsource calculations on ETL.

As visualization is an essential step of the tool, it is desirable to make it on a web platform. It should be noted that these development tools are indeed proposals for the final tool, but some or parts of these tools have been deployed for the initial development of the tool's POC, focusing on the most representative features and those that can potentially be duplicated.

As developed above, for an intermittent drinking water network the tool allows to :

- Geographically represent the administrative and hydraulic zones linked to the network.
- Enter consumption data to calculate water requirements and place them by administrative zone.
- Capture the data of available resources on the network, and calculate the power supply capacity of the network, usually by zones or hydraulic sectors.
- Enter loss data on the network.
- Project the available data by administrative zone into data deducted by hydraulic zone and vice versa.
- Calculate the "water balance" (and other indicators) at the level of all geographical breakdowns

All these operations, which were carried out for a year N0, are either deducted or to be repeated for future years (N1, N2,... N) : The user must then have all the leeway to make changes to the structural and operational data of the network according to the action plans he plans to set up.

The visualization of the results is done both at the level of the year N0 as well as at the level of one or two future years, by choosing the scenarios to represent, where the user can display spatially the input data or the calculated indicators, graphs and tables can also be generated.

In what follows, we will detail the supports used, the functionalities validated in the POC, its development and evolution possibilities, and the next steps.

The POC (Proof of Concept) was used to validate the most important specifications of the tool to be developed, to verify the feasibility of the development and to open avenues of reflection on new uses.

.10.3.1 INPUT

QGIS

As indicated above, the logic of the tool is as follows : the user provides data on consumption,

resources and losses, and calculations of indicators and spatial representations of data are extracted from these data.

The software currently used at the CTD for the recovery, processing and visualization of farm GIS data is QGIS, a free, accessible and usable software on the majority of operating systems, it manages a large number of vector and raster data formats, and thanks to its architecture based on extensions, it can also support other formats, it is equipped with a simple and reactive interface, allowing intuitive use by experts.

The data capture can be done as for any GIS project, by creating or importing shapefiles of the network, and by entering attribute data (tabular data capture format).

Thus, administrative and hydraulic zones were represented by polygons (surface characteristics) while resources were represented by dots.

Most of the diagnostic functionalities of the tool can be covered in this way, but all the work of creation and adaptation should in this case be redone by the expert with each new project, hence the need for automation of this process.

Saving layer definition files

A QGIS shapefile is characterized by its type, attributes (types, calculation methods and relationships) and the relationships and joins it can have with other shapefiles of a GIS project.

The layer that represents the administrative zones for example is a polygon characterized by its identifier, its representation level, its name, its surface area, its population, the standing of its inhabitants, the shops and industries that are located there, its network linear, its connections, its losses... etc, and the relationships between these different attributes. To develop our POC, the method of storing this information that is specific to all administrative areas was to save the layer once defined as a layer definition file. Thus, we recorded an Administrative Zones layer, a Hydraulic Zones layer, and a Resources layer. When creating a project, the user only has to load them when he wants to define his layers : Layer > Add a layer > Add a vector layer > Data set : Browse, and from there he can load the layer definition file that corresponds to the shapefile he wants to create.

Note : it is preferable to store these files in a generic directory, and make copies of them in project directories so that they can be loaded easily.

Simplified data entry

The layers are defined and easily standardized. The second aspect to simplify is the data entry, which is numerous and which would be particularly difficult to enter manually in a list.

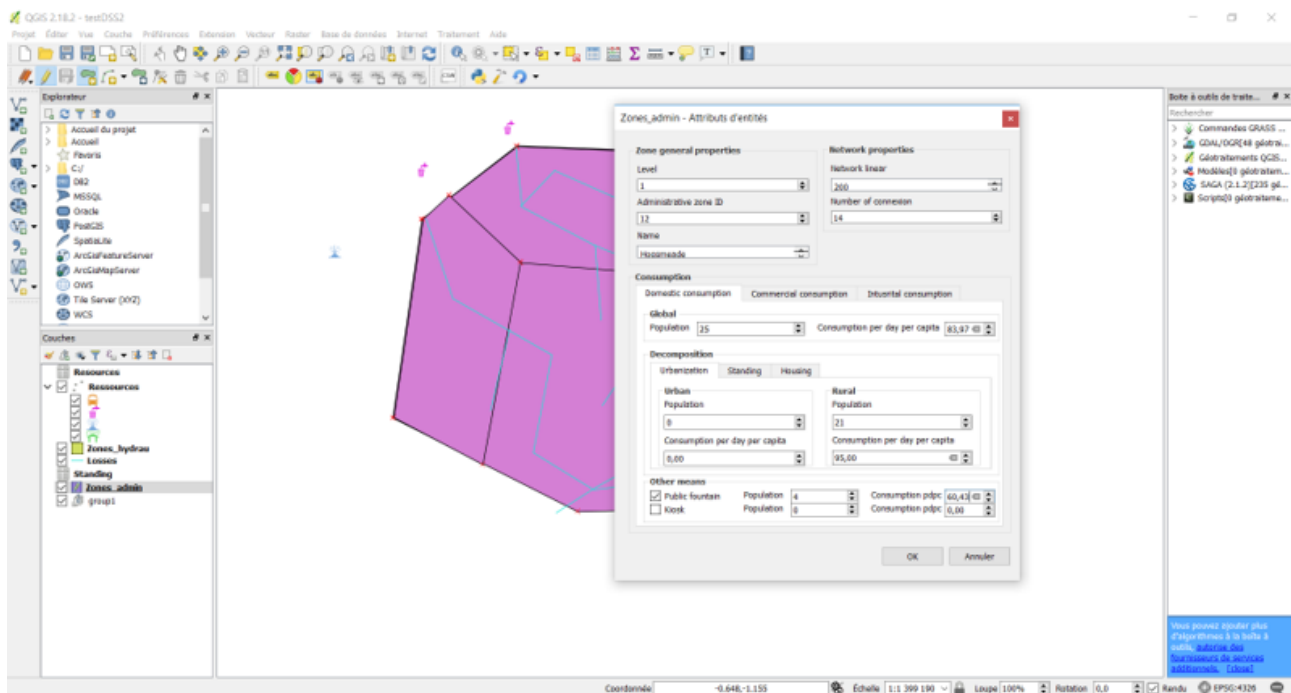
Simplification is done at two levels :

A The implementation of a generic entry for repeated values : This operation is useful for example in the case of per capita consumption by type of standing, where for a given network, the user does not need to enter the same value for each district, each commune, which have people in the same standing. The solution was to create spreadsheets attached to the layers that can be filled in by the user. Any value changes in these tables affect the value of this parameter throughout the network, and the user does not have to enter it each time.

(These. csv files are also to be loaded when creating the project).

B Enhancement of the input windows : By default, when drawing or modifying a layer, QGIS proposes an input form with all the attributes of the layer in the input fields. When a layer has a large number of attributes, this display quickly becomes cumbersome and impractical. The solution that has been adopted to solve this problem is the creation of custom forms under Qt Creator, (which is the software for creating the QGIS interface, Qt Designer is provided in the QGIS installation package, and includes widgets that are specially customized for QGIS), and attach them to the layer. The relationships between the different attributes and the form startup function are entered as a Python script linked to the form, which is automatically executed when creating or editing a layer element.

It should be noted that the manual creation of the form made it possible to both lighten and organize the window (by means of tabs, groups, etc.), but also to propose various input possibilities to the expert, while the programming of the boxes made it possible to limit errors.



Tabular input

Among the advantages offered by QGIS is the possibility of entering attribute data directly on a table, QGIS also allows you to import excel spreadsheet pages and attach them to a layer. This can make it much easier to enter data when experts have had to make preliminary calculations to generate their data already on spreadsheet.

It is preferable in the case of a join to have at least one common field identical with the layer, to support tabular input, an excel file containing the fields of each layer per sheet is provided in the dataset necessary to start the project under QGIS.

.10.3.2 Processing

Processing operations

For the development of the POC, we simply developed the diagnostic part and therefore the operations to be taken into account could be simplified enough to be exempted from scripting them on an ETL. Since it was discussed to get acquainted with the metadata architecture of QGIS, as well as programming under python for the implementation of the dialog window

startup functions, and for the scripting of certain relationships between layers, the calculations and joins to be integrated were done by means of QGIS plugins under Python.

a. ***Visible treatment***

Visible processing in this case is defined as the operations that are carried out following an action by the user, clicking on a button for calculating a KPI or viewing a map, in this case.

b. ***Hidden treatment***

Other operations are processed in the background, without the user needing to trigger them; these operations include the spatial standardization process, data complement, and verification and validation operations. The only interaction with the user is the error boxes in this case.

Python Plugins

QGIS is developed under C++ and its source code is open and freely modifiable, it notably admits the insertion of adapted plugins and the creation of applications, both developed under C++ or Python.

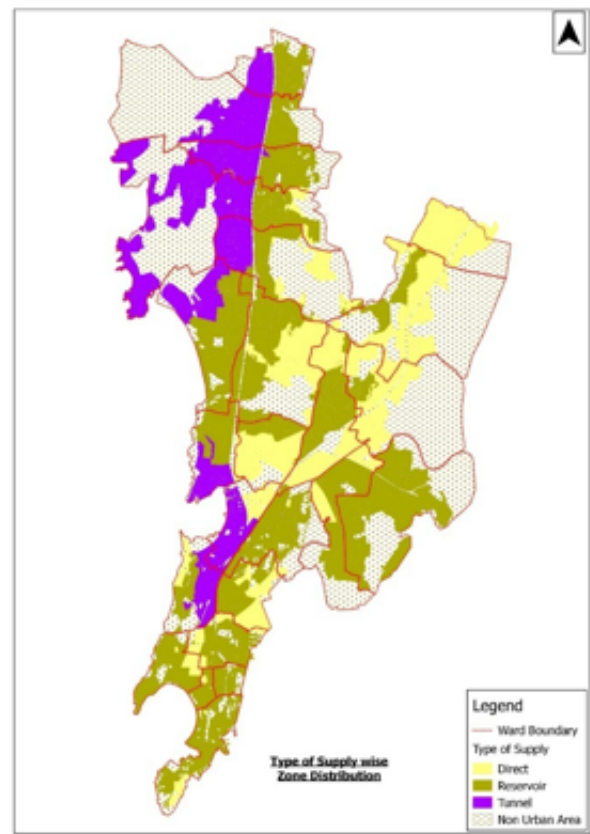
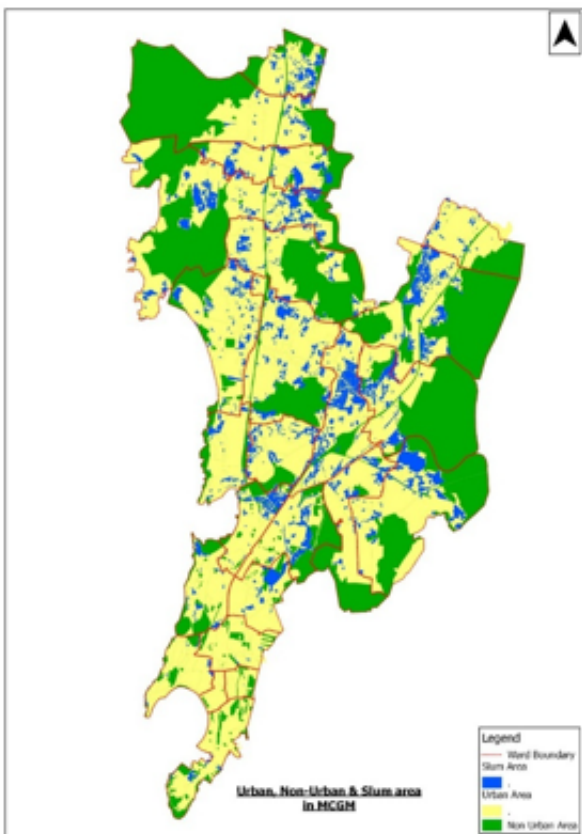
To start processing, it is necessary to activate the plugins at the start of the project, this operation is done intuitively on QGIS (But it is still necessary to have copied the plugin files in the main folder of all the plugins listed on QGIS. There would be a way to load them automatically, this solution is currently being explored).

Extensions, or plugins that have been developed, are dialog windows that allow you to generate new attributes (calculated indicators) in pre-existing layers, duplicate layers, or control the display parameters of one or more layers.

.10.3.3 Visualization

The visualization that the POC allows is the generation of spatialized maps and graphs specific to QGIS, as well as tabular results (extraction of attributes). The visualization is done by level and animations of maps can be generated (thanks to a pre-programmed QGIS plugin).

Examples of maps generated by QGIS for the city of Mumbai, representing the distribution of the population by type of standing (Urban, Non-Urban, and Unsanitary Areas), and the distribution by type of supply. (source : MWDIP-S03-REP-0053 - Revised Diagnosis Report H-West Ward)



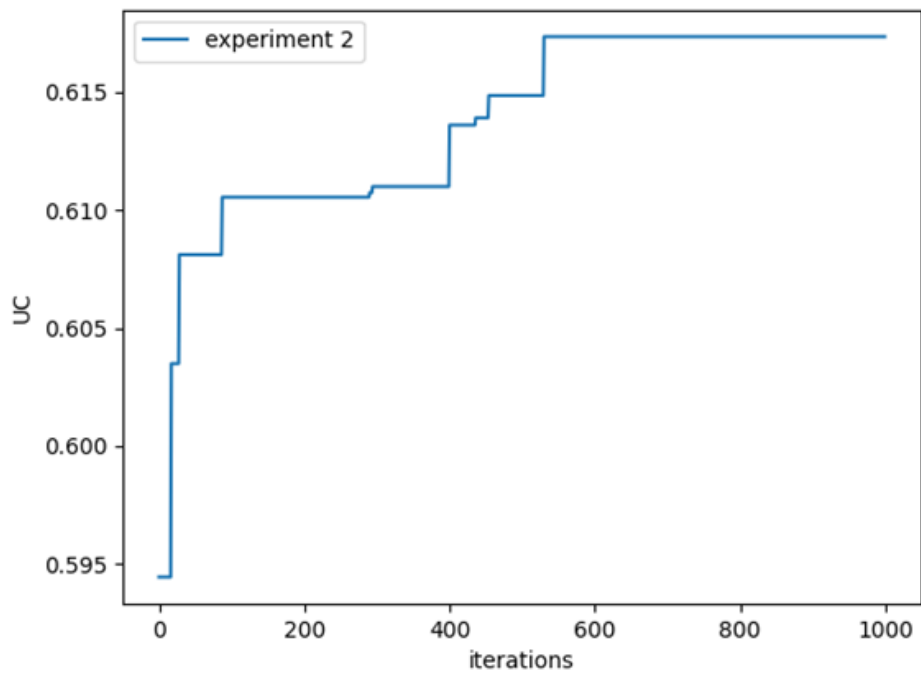
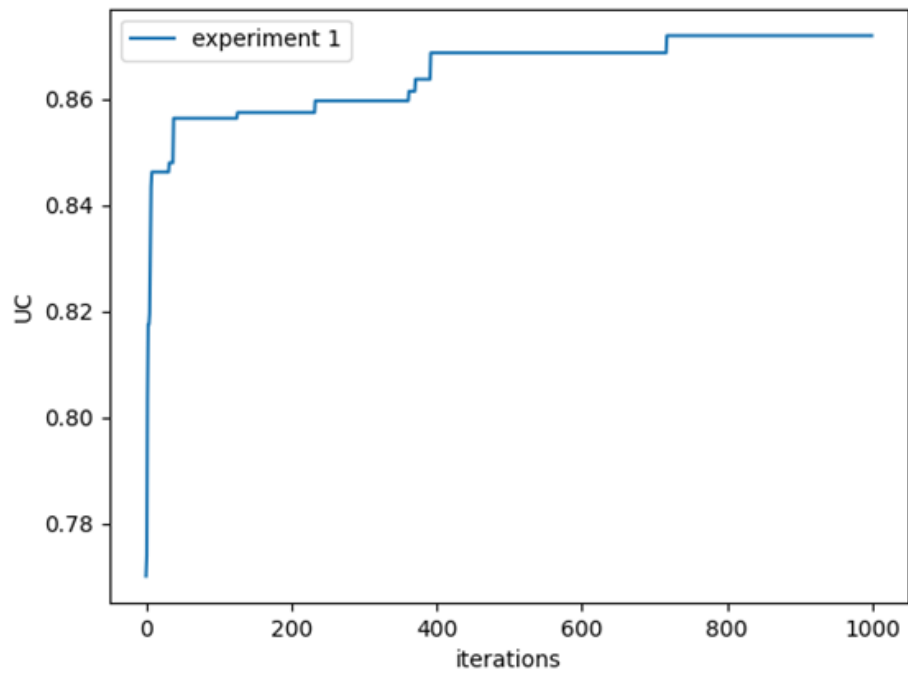
.11 Résultats d'expériences d'optimisation des transferts réalisée par l'algorithme PSO pour différentes valeurs de réponse à la demande par moyens alternatifs

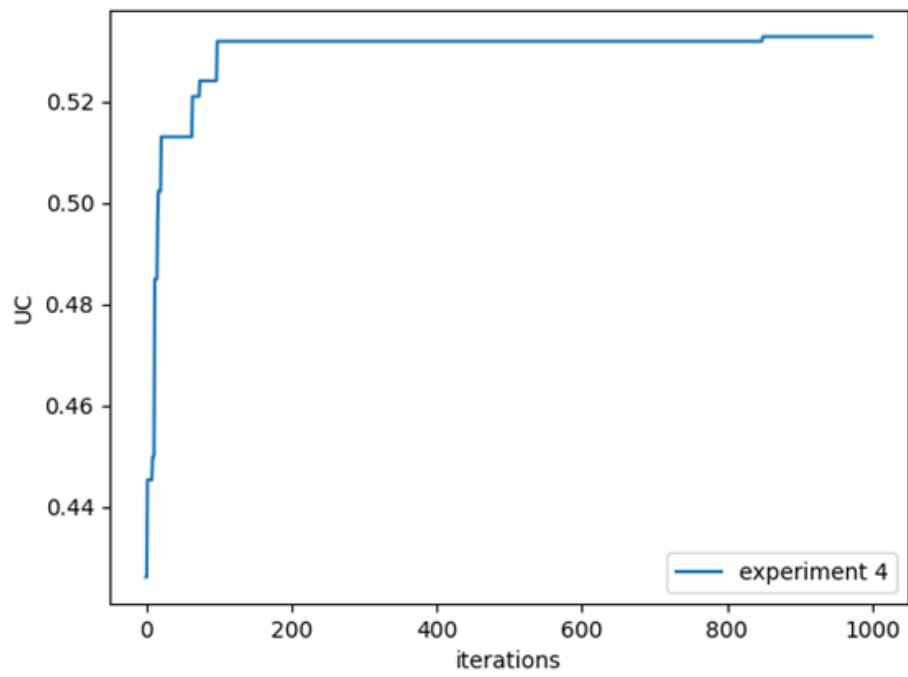
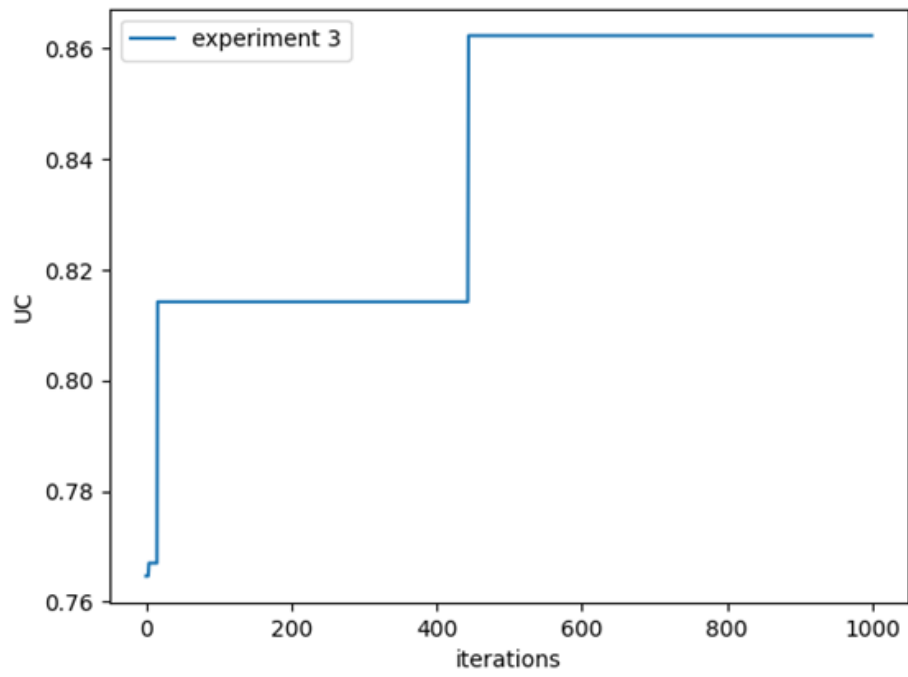
Nous considérons le même réseau Net3 modifié avec les zones d'influence définie en étape 2. Nous gardons les valeurs par défaut des paramètres explicatifs de a et b , à l'exception de la réponse à la demande par mesures alternatives, que nous faisons varier (nous considérons une approximation qui fixe une valeur de δ_i par zone, au lieu d'avoir une valeur par noeud de consommation).

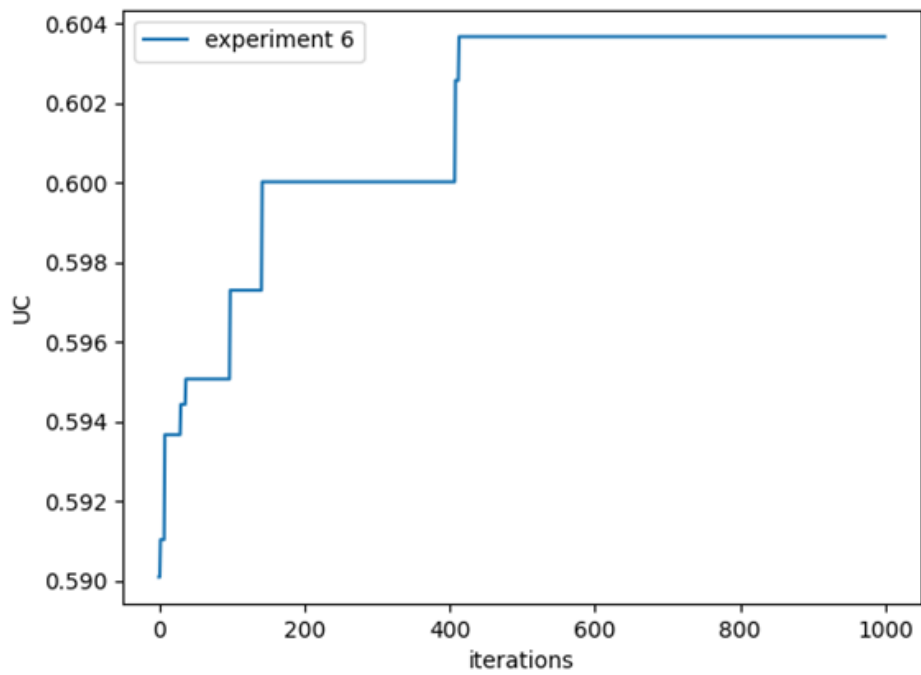
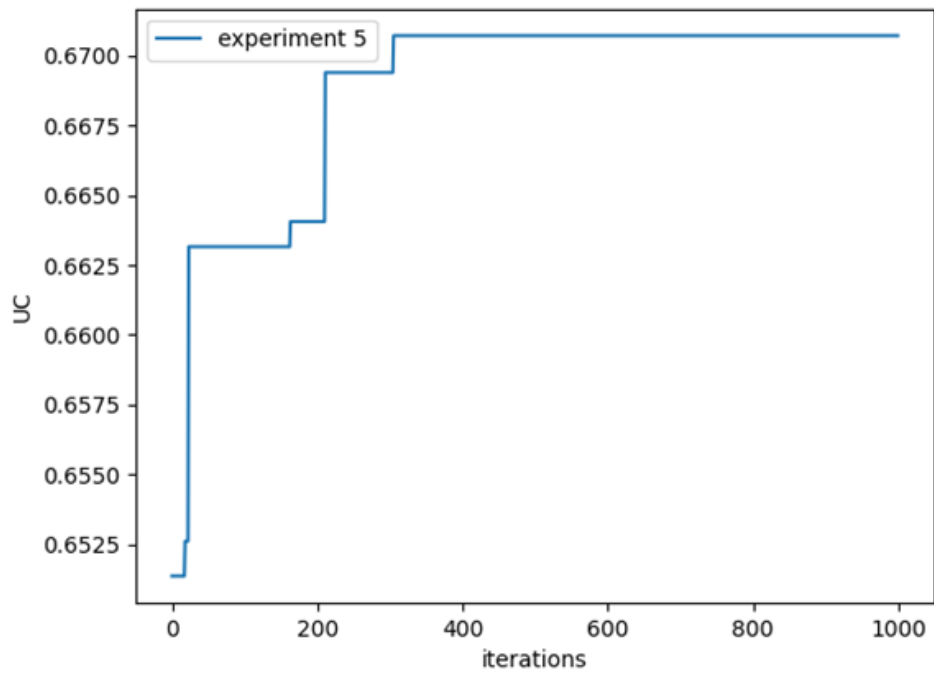
Le tableau suivant affiche les valeurs considérée de δ par expérience et par zone (nous faisons varier ces valeurs entre 0 et 0.75 qui représentent respectivement un service assuré complètement par réseau et un service où le réseau ne répond qu'au quart des besoins de l'utilisateur).

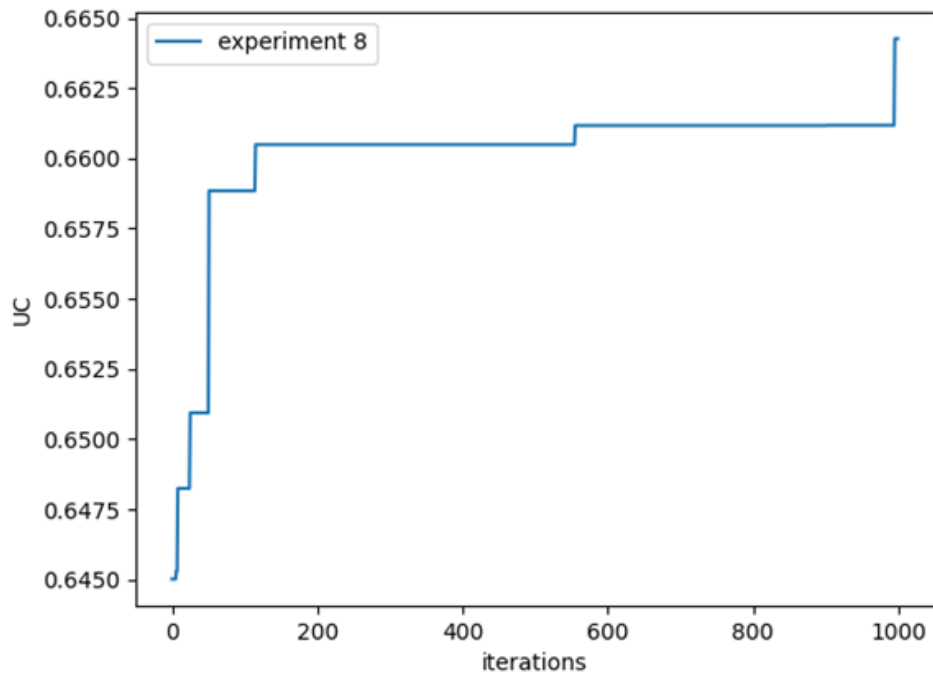
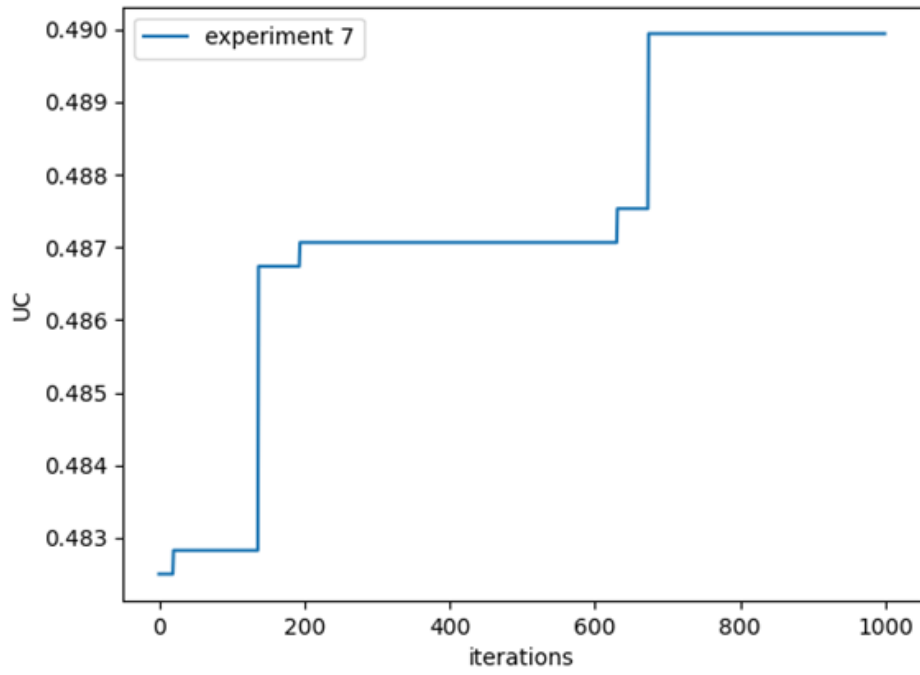
| Expérience | δ_1 | δ_2 | δ_3 |
|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 0.75 | 0 | 0.5 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 0.75 |
| 3 | 0.25 | 0.5 | 0.25 |
| 4 | 0.25 | 0.75 | 0 |
| 5 | 0.25 | 0 | 0.5 |
| 6 | 0.25 | 0.75 | 0.5 |
| 7 | 0.5 | 0.25 | 0.75 |
| 8 | 0.5 | 0.75 | 0.75 |
| 9 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |

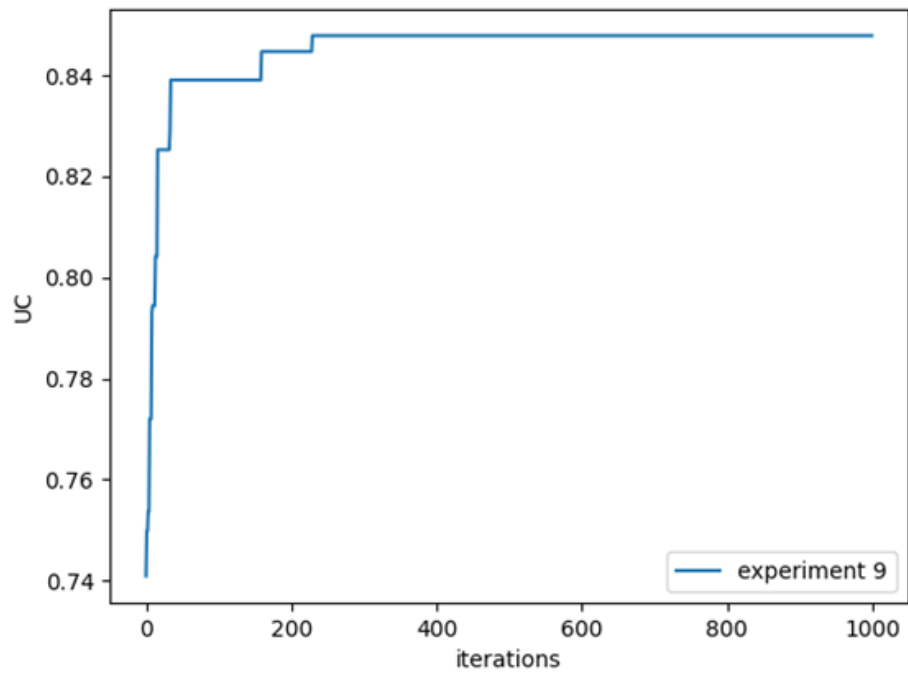
Cette considération permet de regarder des configurations déséquilibrées à l'état initial de répartition de la ressource. Les résultats obtenus démontrent une capacité d'amélioration du coefficient d'uniformité UC quelque soit son état initial. Les résultats sont améliorables si on procède au même processus d'optimisation (sur plusieurs itérations) que pour la variations des a et b . Il serait toutefois intéressant d'examiner les résultats obtenus sur une répartition réelle de la configuration de réponse à la demande dans un approvisionnement en intermittence.





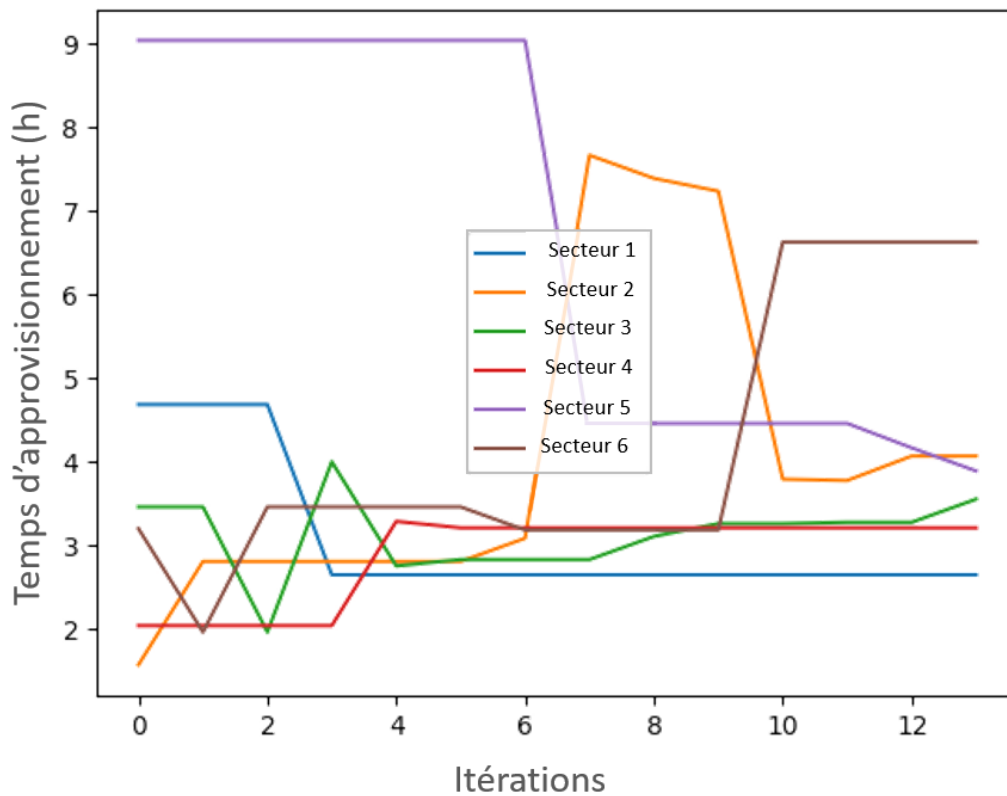






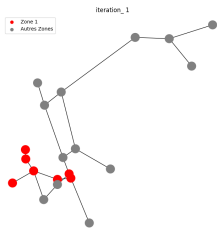
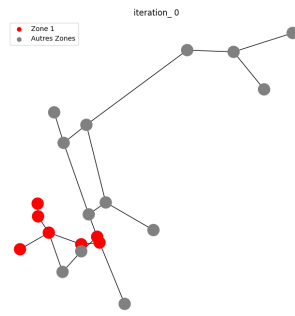
.12 Résultats de l'optimisation de la sectorisation sur la zone 3 du réseau Net3 modifié

Nous considérons dans ce qui suit la 3ème zone résultante de l'algorithme de délimitation des zones d'influence. Le principe de l'algorithme est de calculer une durée d'approvisionnement par secteur, puis de réaffecter les noeuds pendant chaque itération, de manière à faire converger la durée d'approvisionnement vers une valeur homogène entre secteurs. L'objectif est d'homogénéiser le temps d'approvisionnement (alors que les transferts homogénéiseraient la quantité d'eau reçue par les usagers). La figure suivante illustre l'évolution des durées d'approvisionnement sur la zone 3 pour 13 itérations.

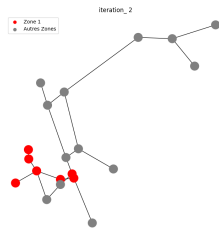


.12.1 Secteur 1

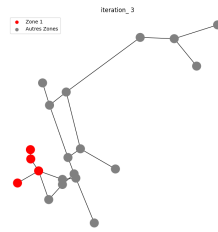
Voici l'évolution des noeuds du secteur 1 au bout de 13 itérations. Les noeuds affectés au secteur à chaque itération sont colorés, tandis que ceux des autres secteurs sont en gris.



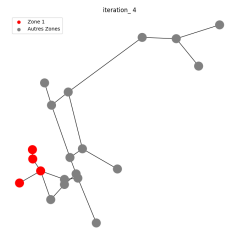
(a) itération 1



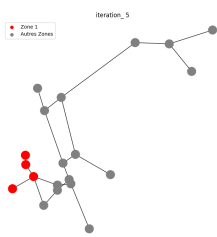
(b) itération 2



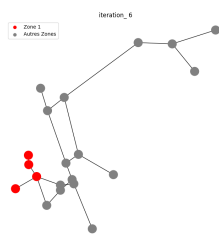
(c) itération 3



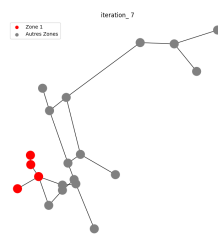
(d) itération 4



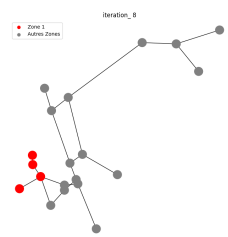
(e) itération 5



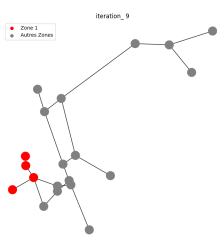
(f) itération 6



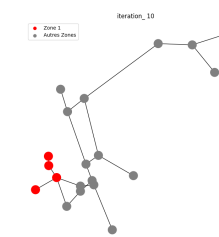
(g) itération 7



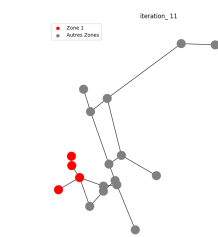
(h) itération 8



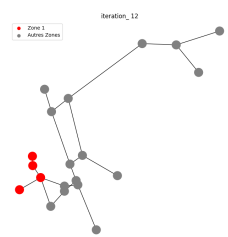
(i) itération 9



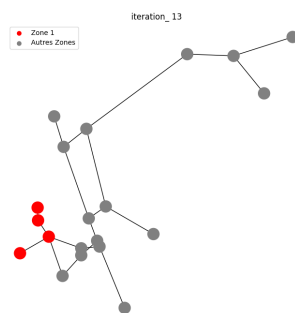
(j) itération 10



(k) itération 11

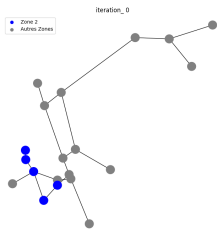


(l) itération 12

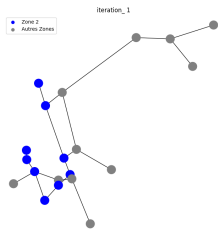


Nous avons pour cette zone une convergence dès la 3ème itération vers une durée d'approvisionnement proche de la moyenne sur l'ensemble du secteur global.

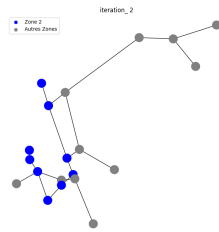
.12.2 Secteur 2



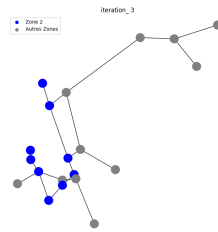
(a) itération 0



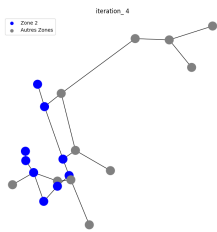
(b) itération 1



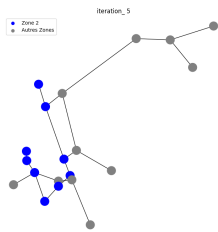
(c) itération 2



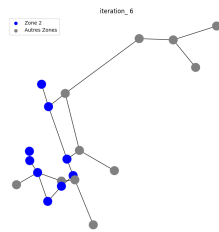
(d) itération 3



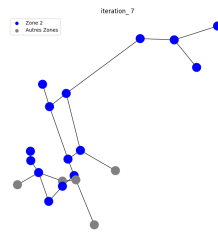
(e) itération 4



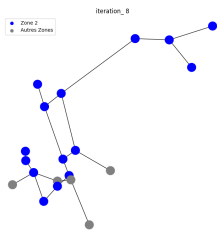
(f) itération 5



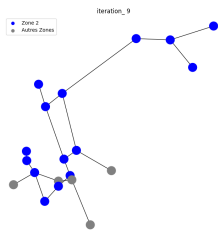
(g) itération 6



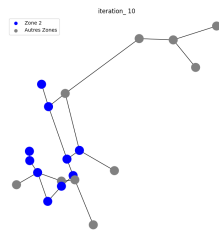
(h) itération 7



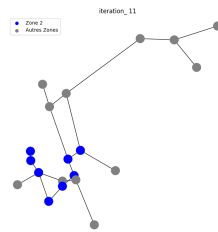
(i) itération 8



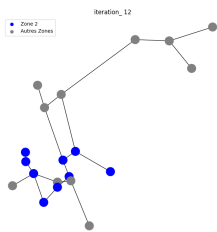
(j) itération 9



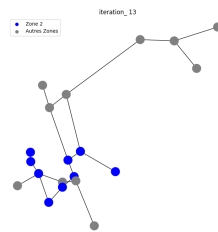
(k) itération 10



(l) itération 11

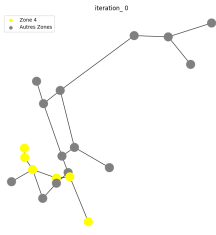


(m) itération 12

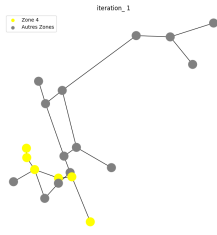


(n) itération 13

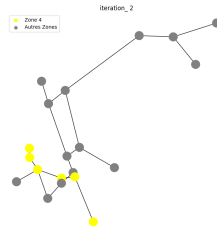
.12.4 Secteur 4



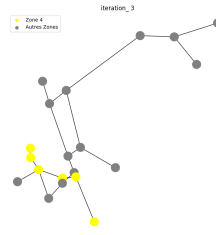
(a) itération 0



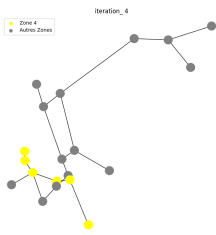
(b) itération 1



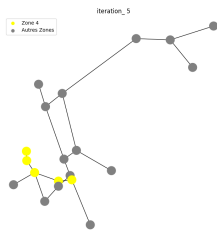
(c) itération 2



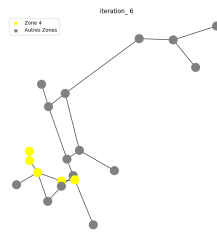
(d) itération 3



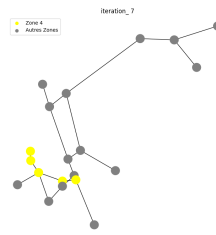
(e) itération 4



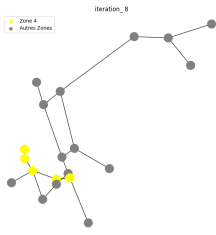
(f) itération 5



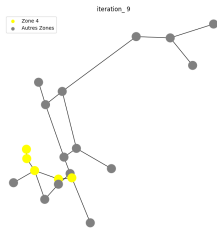
(g) itération 6



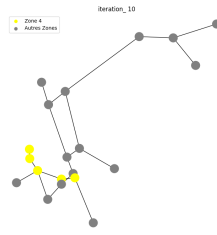
(h) itération 7



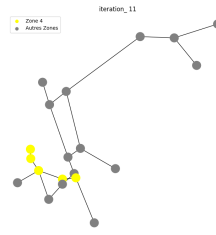
(i) itération 8



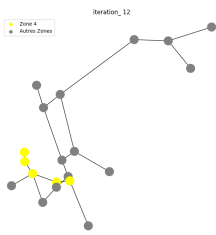
(j) itération 9



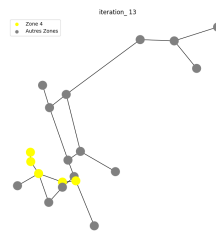
(k) itération 10



(l) itération 11

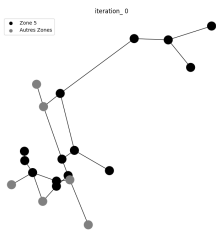


(m) itération 12

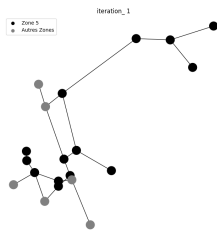


(n) itération 13

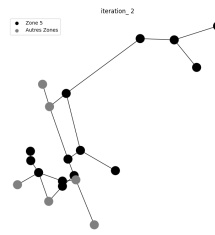
.12.5 Secteur 5



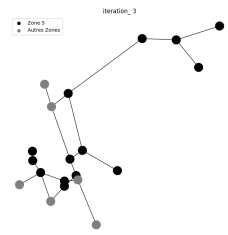
(a) itération 0



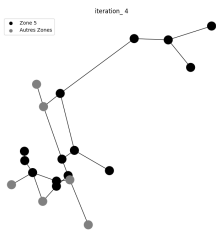
(b) itération 1



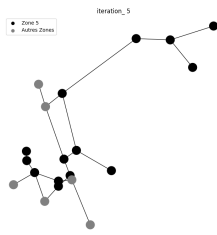
(c) itération 2



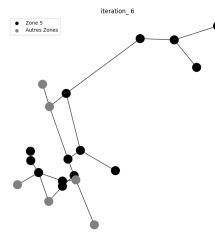
(d) itération 3



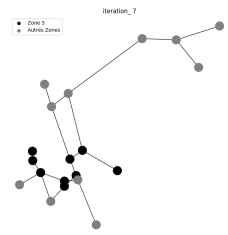
(e) itération 4



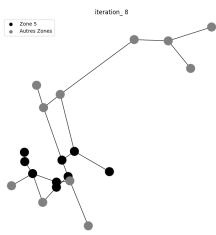
(f) itération 5



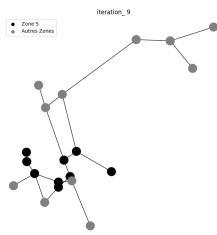
(g) itération 6



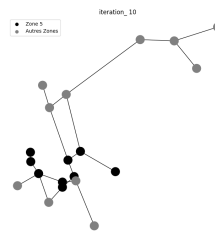
(h) itération 7



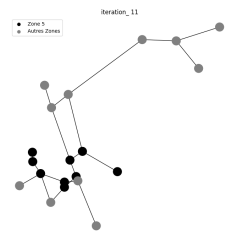
(i) itération 8



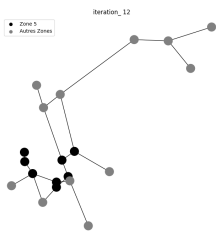
(j) itération 9



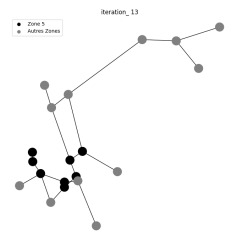
(k) itération 10



(l) itération 11

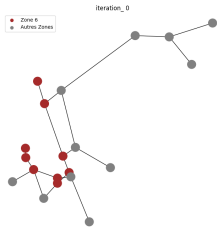


(m) itération 12

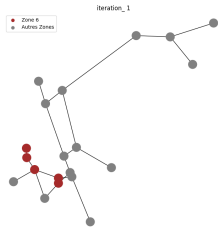


(n) itération 13

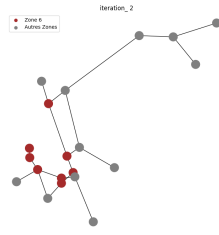
.12.6 Secteur 6



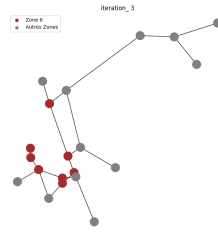
(a) itération 0



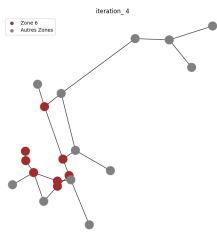
(b) itération 1



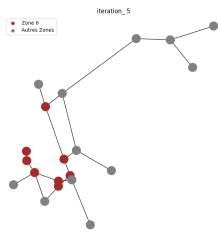
(c) itération 2



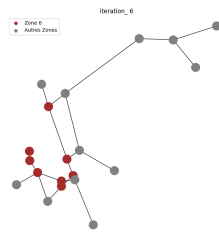
(d) itération 3



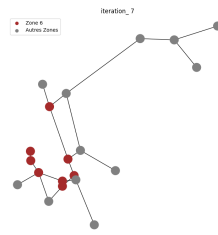
(e) itération 4



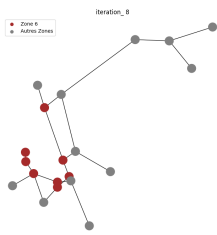
(f) itération 5



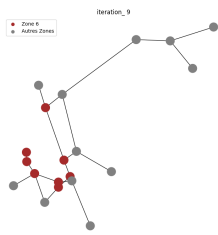
(g) itération 6



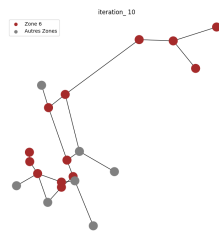
(h) itération 7



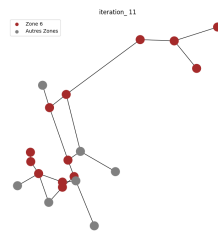
(i) itération 8



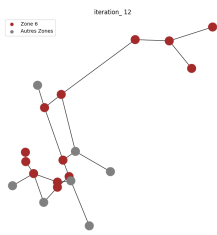
(j) itération 9



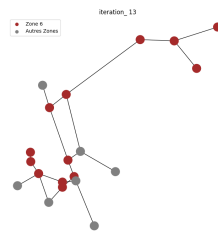
(k) itération 10



(l) itération 11



(m) itération 12



(n) itération 13