



HAL
open science

Conception et exploitation d'une sonde électronique d'auscultation des réseaux d'assainissement urbains non visitables

Mourad Bedrani

► **To cite this version:**

Mourad Bedrani. Conception et exploitation d'une sonde électronique d'auscultation des réseaux d'assainissement urbains non visitables. Hydrologie. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1983. Français. NNT: . tel-00520782

HAL Id: tel-00520782

<https://pastel.hal.science/tel-00520782>

Submitted on 24 Sep 2010

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.

NS 11648 (2)

NS 11648 (2)

THESE

présentée pour l'obtention du Diplôme
de

DOCTEUR - INGENIEUR

EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

par

M o u r a d B E D R A N I

SUJET DE THESE :

CONCEPTION ET EXPLOITATION D'UNE SONDE
ELECTRONIQUE D'AUSCULTATION DES RESEAUX
D'ASSAINISSEMENT URBAINS NON VISITABLES

soutenu LE 9 décembre 1983

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

MM. F. VALIRON	Président
J. LAMOURE	Examineur
G. DUPUY	Examineur
J. CHESNEAU	Examineur

28



*Cette thèse a été préparée sous
l'égide de
l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
grâce à une bourse de recherche
attribuée par l'Ecole.*

A ma femme

A notre fils

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au CERGRENE à Paris et dirigé par M. J. LAMOURE que je tiens à remercier pour la qualité de ses conseils, son aide de tous les instants et ses encouragements.

Ma gratitude va à M. Le Professeur VALIRON qui a bien voulu présider le Jury ainsi qu'à MM. CHESNEAU et DUPUY qui ont accepté d'en faire partie et à M. REINBOLD (†) qui a organisé et dirigé les campagnes d'essais sur le terrain et qui, par suite de circonstances dramatiques, n'a pu assurer le rapport de cette thèse.

Je remercie vivement MM. BURGERT et RUDELLE de CR2M pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans le couplage des électroniques de mesure et plus particulièrement pour l'originalité de la conception de l'électronique de mesure.

Je remercie M. FAVART, Président de CENELT, qui a mis à ma disposition les moyens matériels pour la réalisation de la chaîne de mesure et l'intégration de la mesure de conductivité dans le bulbe. Je suis reconnaissant envers l'ensemble du personnel de CENELT pour leur aide et l'excellence de leur accueil.

Je suis très reconnaissant envers l'ensemble du personnel du CERGRENE pour les aides permanentes et l'excellence de leur accueil. Je remercie plus particulièrement Mademoiselle CLAMAGIRAND pour son aide précieuse dans l'utilisation du VAX de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Je remercie l'ensemble du personnel de la SLEE pour l'organisation et le pilotage des campagnes d'essais sur le terrain.

Je remercie Mademoiselle CACCIATORE et Madame RODE pour le soin qu'elles ont apporté à la réalisation pratique de cette thèse.

Je remercie enfin tous ceux qui ont su m'aider à surmonter les découragements passagers qu'induit le travail de chercheur.

RESUME

Partant de l'hypothèse que, d'une part, aucun rejet ne peut se trouver à une température rigoureusement identique à celle des eaux drainées dans le réseau, et que, d'autre part, la température de la nappe phréatique est systématiquement plus basse que celle de différents rejets domestiques ou industriels, nous avons conçu une sonde autonome à double paramètre : température et conductivité, baptisée Ichthyotherme, pour l'auscultation des réseaux.

L'appareil développé est couplé à un microordinateur qui sert à la commande de la mesure, au traitement et à la sauvegarde des données et enfin, à la gestion de la distance ; la corrélation "paramètre-distance" est établie en fonction du temps (cadence de la mesure).

Le système développé est défini par une liaison "On-Line" (distance en temps réel) permettant le traitement des données en "Batch-processing".

Différents types de réponse des entrées d'eaux parasites ont été obtenus lors des essais d'auscultations de réseaux effectués en région parisienne. La stabilité de la mesure de la température obtenue dans des réseaux ne recevant pas d'eaux parasites présente un grand intérêt : toute entrée d'eau parasite ou rejet se traduit donc par une variation de la température.

Une approche mathématique des rejets thermiques dans un écoulement turbulent est abordée et les simulations effectuées à l'aide d'un modèle de diffusion Gaussien correspondent aux résultats obtenus sur le terrain. Deux notions ressortent des résultats obtenus : la notion d'infiltration et la notion de drainage. Ce modèle en outre, détermine les limites théoriques de détection des eaux parasites à l'aide du paramètre "température".

L'interprétation des résultats d'auscultation pré-suppose une connaissance du site de mesure relative aux industries raccordées, au niveau de la nappe phréatique sous-jacente, à l'alimentation en eau potable, etc. Ces connaissances deviennent indispensables dès qu'il s'agit de surveiller la qualité des rejets à l'aide du paramètre conductivité. Une approche systémique des eaux parasites est abordée dans cette thèse et quelques données de base sont établies pour rendre aisé un dressage de diagnostics juste et précis.

Les trois approches développées dans cette thèse, l'approche analytique, l'approche mathématique et l'approche systémique, permettent d'apprécier les limites de détection des eaux parasites et facilitent l'interprétation des résultats à partir du matériel étudié.

MOTS-CLES

Acquisition, analyse, auscultation, automatisme, autonomie, bit, capteur, cellule, chronogramme, commande, détection, diagnostic, diffusion, eau parasite, infiltration, interface, interruption, logique, microordinateur, microprocesseur, modèle, programme, processus, rejet, réseau, simulation, station d'épuration, sonde, système, tâche, température, transport.

TABLE DES MATIERES

	pages
REMERCIEMENTS	
RESUME	
MOTS CLES	
ABREVIATIONS	
NOTATIONS	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES ANNEXES	
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>PREAMBULE</u>	5
<u>PREMIERE PARTIE</u> : les mesures effectuées par l'ICHTYOTHERME	
AVANT-PROPOS	10
I - La mesure de la température	12
I.1. Choix et présentation du capteur de température	12
I.2. Caractéristiques du capteur	12
I.3. Montage du capteur	13
II - La mesure de la conductivité	14
II.1. Définition de la mesure	14
II.2. Choix de la cellule de conductivité	15
II.3. Caractéristique du capteur : la constante de cellule	16
II.4. Description du capteur	16
II.5. Montage du capteur	17
II.6. Principe de mesure	17
II.6.1. Description du conductimètre	19
II.6.1.1. Etalonnage de la mesure	19
II.6.1.2. Variables influençant la mesure	20
III - Sauvegarde des données	20

IV - Les circuits de mesures	21
IV.1. Electronique de mesure	21
IV.1.1. Alimentation	22
IV.1.2. Convertisseur Analogique Numérique (CAN)	22
IV.1.3. Stockage des mesures	23
IV.1.4. Logique de commande et de lecture	23
IV.1.5. Sorties vers l'interface	24
IV.2. Couplage des deux électroniques de mesures	24
IV.3. Mesure de la distance	25
IV.3.1. Principe de mesure de la distance	25
IV.3.2. Montage du générateur d'impulsions	26
V - Présentation de l'Ichtyotherme	26
V.1. Le bulbe de protection de l'électronique	26
V.2. Le montage des capteurs	27
V.3. Le relais bistable	28
V.4. Utilisations connexes	28
V.5. Améliorations de la mesure	29
VI - Conclusion	30

DEUXIEME PARTIE : Présentation de la chaîne de mesure
et principe de fonctionnement

HISTORIQUE	32
AVANT-PROPOS	34
I - Présentation de la chaîne de mesure et principes d'utilisation	35
I.1. La chaîne de mesure	35
I.2. Principe de fonctionnement	35
I.2.1. Lancement de la mesure	36
I.2.2. Mesure de la distance	36
I.2.3. Lecture des mesures	36
I.2.4. Sauvegarde et traitement des mesures	37
II - Commandes de lancement et d'acquisition de la mesure	37
II.1. Présentation du matériel informatique	37
II.1.1. Description de l'interface G.P.I.O.	38

II.1.2. Possibilités de gestion offertes par l'interface G.P.I.O.	38
II.1.3. L'horloge interne	39
II.2. Le traitement des données	39
II.2.1. La structure des différents programmes	40
II.2.2. Principales interruptions utilisées	41
III - Définition du système de traitement	42
VI - Conclusion	43

TROISIEME PARTIE : Modélisation des rejets d'eau chaude
dans un écoulement froid et interprétation
des mesures in-situ

AVANT-PROPOS	45
I - Formulation générale d'un problème de rejet dans un écoulement froid	46
II - Hypothèses simplificatrices	47
III - Développement du modèle adapté	49
III.1. Choix des paramètres du modèle	50
III.2. Résultats des simulations	52
III.2.1. Répartition des températures	52
III.2.2. Les limites de détection des rejets	53
IV - Interprétations des mesures in-situ	54
IV.1. Comptage de branchements de "particuliers"	54
IV.2. Détection des eaux parasites	55
IV.2.1. Bilan de fonctionnement du réseau : inspection à poste fixe	55
IV.2.1.1. Hypothèses et définition	55
IV.2.1.2. Résultats des inspections	56
IV.2.1.3. Analyses des résultats	56
IV.2.2. Recherche des eaux parasites	57
V - Conclusion	59

<u>QUATRIEME PARTIE</u> : Auscultation des réseaux : approche systémique des eaux parasites	
AVANT-PROPOS	61
I - Définition du système et choix des caractéristiques	62
II - Les ouvrages	63
III - Les eaux collectées - Leurs caractéristiques	64
III.1. La température	65
III.2. La conductivité	66
IV - La géotechnique et la topographie	67
V - L'hydrologie et l'hydrogéologie	68
V.1. La nappe phréatique	68
V.1.1. La température	68
V.1.2. La conductivité	69
V.2. Les rivières	69
VI - Les industries	69
VII - Classification des eaux parasites	70
VII.1. Caractéristiques des variations des débits	70
VII.2. Définition des mots infiltrations et captages	70
VII.3. Temps de réponse	71
VIII - Conclusion	71
CONCLUSION GENERALE	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	

ABREVIATIONS

1. Institutions

A.F.B.S.N.	Agence Financière de Bassin Seine-Normandie
A.Q.T.E.	Association Québécoise des Techniques de l'Eau
C.E.M.A.G.R.E.F.	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
C.E.N.E.L.T.	Compagnie d'Engineering Electronique
C.E.R.G.R.E.N.E.	Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement
C.R.2.M.	Conseil et Réalisation en Mesure et Micro- informatique
E.N.I.T.R.T.S.	Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires
E.N.S.P.	Ecole Nationale de la Santé Publique
E.P.F.L.	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
I.R.C.H.A.	Institut de Recherche Chimique Appliquée
L.A.M.S.A.D.E.	Laboratoire de Management Scientifique et Aide à la Décision
L.H.M.	Laboratoire d'Hydrologie Mathématique
M.I.T.	Massachusetts Institute of Technology
S.H.F.	Société Hydrotechnique de France
S.L.E.E.	Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage
T.S.M.	Techniques et Sciences Municipales

2. Techniques

CAN	Convertisseur Analogique/Numérique
C.MOS	MOS (métal-oxyde-semiconductor) complémentaire
CO	Chargeur Onduleur
C.T	Compte Tours
EP	Eau Parasite
GRAFCECT	Graphe de Commande Etape-Transition
GI	Générateur d'Impulsions
GPIO	Général Purpose Input and Output
H.P.	Hewlett Packard
LED	Diode Electroluminescente
STEP	Station d'Épuration des Eaux Usées
RAM	Random Access Memory
TTL	Transistor transistor logic

NOTATIONS

A,S	aire	L^2
C	salinité	ML^{-3}
Cp	chaleur spécifique à pression constante	$L^2T^{-2} \text{ Kelvin}^{-1}$
D	coefficient de diffusion ou diffusivité thermique	L^2T^{-1}
DT ou T_m	différence de température après mélange	celsius
DTI ou T_r	différence de température au rejet	celsius
g	accélération	LT^{-2}
h	profondeur lame d'eau en mouvement	L
m	masse	M
λ	coefficient de biodégradation	T^{-1}
ρ	masse volumique	ML^{-3}
β	coefficient d'expansion thermique	celsius^{-1}

ϵ	coefficient de diffusion moléculaire	L^2T^{-1}
$p^*=p+\rho g x_i \delta_{iz}$	pression	$ML^{-1}T^{-2}$
r	rayon d'une section circulaire	L
t	temps	T
T	température	celsius
V	vitesse locale instantanée dans le canal	LT^{-1}
\bar{V}	vitesse moyenne locale	LT^{-1}
\vec{U}	vecteur vitesse de composantes U_i	LT^{-1}
μ	viscosité dynamique	$ML^{-1}T^{-1}$
x,y,z	coordonnées dans un système d'axes cartésiens orthonormés	L
q ou QI	débit d'infiltration	L^3T^{-1}
ν	viscosité cinématique	L^2T^{-1}
δ_{iz}	symbole de KRONECKER (égal à 1 si $i=z$ et à zéro autrement)	

notations particulières

$$\exp(x) = e^x$$

$$\Delta = \text{Laplacien}$$

Les grandeurs surlignées d'une barre correspondent à des grandeurs moyennées dans le temps, celles munies d'un point correspondent à des débits.

LISTE DES FIGURES

	pages
Figure 1 Principe de mesure de la conductivité à 4 électrodes	18
Figure 2 Disposition des électrodes dans la cellule de mesure	18
Figure 3 Réduction du problème de 3 dimensions à 2 dimensions	48
Figure 4 Données du modèle de diffusion	48
Figure 5 Evolution des isothermes	48
Figure 6 Approche systémique des eaux parasites	62
Figure 7 Modèle du flux du système d'assainissement	63
Figure 8 Température, pluies, débits à l'entrée d'une STEP.	65

LISTE DES ANNEXES

Annexe I	Le "mouchard" des égouts - "Le Monde" 12.10.83
ANNEXE I bis	Caractéristiques techniques de l'Ichthyotherme
ANNEXE I ter	Présentation de la chaîne de mesure
Annexe II	Chronogramme 1 = logique de commande
Annexe II bis	Chronogramme 2 = logique de lecture
Annexe III, page 1	Auscultation réseau Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 2	Auscultations réseaux Magneville, Liancourt, (version 1)
Annexe III, page 3	Auscultations réseaux Méru, Villers-St-Leu, (version 1)
Annexe III, page 4	Auscultations réseaux Méru, Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 5	Auscultation réseau St-Leu d'Esserent, (version 2)
Annexe III, page 6	Auscultation réseau Pont-St-Maxence, (version 2)
Annexe III, page 7	Auscultation réseau Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 8	Auscultation réseau Creil (simulation), (version 2)
Annexe III, page 9	Auscultation réseau Liancourt (1), Fismes (version 2)
Annexe III, page 10	Auscultation réseau Fismes, (version 2)
Annexe III, page 11	Auscultation réseau Fismes, (version 2)
Annexe III, page 12	Auscultation réseau Joigny, (version 2)
Annexe III, page 13	Auscultation réseau Creil, (version 2)
Annexe IV	Tableaux conductivités
Annexe IV bis	Correspondance conductivité-concentrations
Annexe IV ter	Etalonnage conductivité

Annexe V, page 1	<u>Température mélange fonction température rejet</u>
_____	r = 2 cm, x = 20 cm
Annexe V, page 2	_____ r = 2 cm, x = 1 m
Annexe V, page 3	_____ r = 2 cm, x = 5 m
Annexe V, page 4	_____ r = 5 cm, x = 5 m
Annexe V, page 5	_____ r = 3 cm, x = 40 cm
Annexe VI, page 1	<u>isothermes sur 15 m</u>
_____	QI = 4l/s, DTI = 1°C
Annexe VI, page 2	_____ QI = 1l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 3	_____ QI = 2l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 4	_____ QI = 3l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 5	_____ QI = 4l/s, DTI = 5°C
Annexe VI, page 6	_____ QI = 3l/s, DTI = 8°C
Annexe VII, page 1	<u>Différence température fonction distance mélange à DT constant</u>
_____	r = 2 cm, DT = 0,1°C
Annexe VII, page 2	_____ r = 2 cm, DT = 0,2°C
Annexe VII, page 3	_____ r = 5 cm, DT = 0,1°C
Annexe VII, page 4	_____ r = 5 cm, DT = 0,2°C
Annexe VIII, page 1	<u>Débit apport fonction distance mélange à DTI constant</u>
_____	r = 2 cm, DT = 0,1°C
Annexe VIII, page 2	_____ r = 2 cm, DT = 0,2°C
Annexe VIII, page 3	_____ r = 5 cm, DT = 0,1°C
Annexe VIII, page 4	_____ r = 5 cm, DT = 0,2°C
Annexe IX	Inspection à poste fixe
Annexe X, page 1 à 4	Listing programmes Ichtyotherme
Annexe XI	Listing programmes simulation isotherme
Annexe XII	Listing programme VAX, simulation eaux parasites
Annexe XIII, page 1&2	Organigramme - Programme Ichtyotherme

I N T R O D U C T I O N

La politique suivie en France depuis une dizaine d'années en matière de protection de l'environnement a été fondée sur la construction et l'exploitation de stations d'épurations des eaux usées. Au cours de cette période, environ 7000 stations d'épurations (STEP) ont été construites, soit une moyenne de deux stations par jour [57].

En règle générale, ces stations ne réalisent pas les performances qu'on attendait d'elles, bien que la plupart n'ait pas encore atteint une charge correspondant à la charge nominale de dimensionnement. Une des principales causes de ce mauvais fonctionnement est l'arrivée d'eaux parasites, diluant les effluents et par là-même, perturbant le fonctionnement de ces ouvrages.

A l'heure actuelle, les services locaux d'exploitation des réseaux disposent de caméras vidéoscopiques permettant l'inspection des réseaux d'assainissement. Ces appareils très performants ont cependant des limitations ; ils ne permettent pas de caractériser le type et la qualité de l'effluent parasite mais surtout ils imposent des contraintes d'exploitations sévères notamment curage préalable du réseau, obturation temporaire de la canalisation et surveillance permanente de l'image.

Les autres méthodes de recherche d'eaux parasites reposent sur des investigations de durées variables. Les observations et mesures sont faites de regard en regard et le temps requis pour ce type de recherche est souvent très long. Les résultats obtenus sont intéressants mais trop souvent incomplets. Il faut rappeler aussi que ces recherches nécessitent un personnel qualifié sans compter sur la lourdeur administrative qui pèse sur toutes ces méthodes.

En raison des coûts engendrés par ces inspections et le temps d'obtention de résultats satisfaisants, il s'agissait donc de concevoir un matériel permettant des auscultations de réseaux sans aucune préparation du site et assurant des résultats in-situ à des coûts moindres. L'aspect économique de cette méthode n'est pas abordé dans cette thèse. Nous nous sommes principalement consacrés dans cette recherche à la technique de mesure des paramètres choisis, à l'automatisation de la méthode d'auscultation de réseaux et à l'interprétation des résultats.

Notre objectif est de réaliser un appareil autonome et entièrement automatisé que l'on pourrait appeler "Sonde thermométrique ou Ichtyotherme" destiné à détecter des entrées d'eaux parasites et des branchements de particuliers ou d'industries à l'intérieur des réseaux d'assainissement.

Le paramètre physique qui se prête le mieux à la traduction de l'information liée aux phénomènes d'infiltrations ou de rejets des eaux "parasites" est la température. Ce paramètre, quoique très intéressant pour la détection des eaux "parasites", ne nous permet pas de caractériser leur "qualité". Aussi, nous avons incorporé à cet appareil un deuxième module électronique pour la mesure de la conductivité : paramètre physicochimique, caractéristique de la qualité de certaines eaux.

La nature même des eaux usées impose un matériel robuste, fiable et de manipulation facile.

Les différentes options prises sont développées dans cette thèse.

Dans une première partie, nous exposons les notions relatives à la mesure de la température et de la conductivité pour justifier les différents choix. Ensuite, la sonde de mesure à deux paramètres est présentée et les principes de fonctionnement de la sonde avec les différentes options sont expliqués. Enfin, nous discutons le choix de la mesure de distance et présentons le matériel.

Dans une deuxième partie, nous présentons la chaîne de mesure en vue des auscultations de réseaux d'assainissement et donnons les principes de fonctionnement. Nous décrivons ensuite les programmes de traitement informatisé commandant la mesure et la saisie des données enregistrées et réalisant l'exploitation de ces données. Enfin, nous expliquons quelques techniques de fonctionnement des automatismes.

Une troisième partie est consacrée à l'approche mathématique des entrées d'eaux "parasites" dans les réseaux d'assainissement. Une application est développée à partir d'un modèle de diffusion gaussien à coefficient constant. Aucun développement mathématique n'est exposé dans cette partie, seules quelques formules importantes sont utilisées et discutées. Les notions générales exposées dans cette partie sont essentiellement tirées de [43], [97], [107]. L'interprétation des résultats est faite à partir des mesures de température obtenues lors de différents essais, la mesure de conductivité n'étant opérationnelle que depuis septembre 1983.

Enfin, dans la quatrième et dernière partie, nous montrons qu'à l'occasion d'essais sur le terrain, nous pouvons être confrontés aux problèmes de nappe à température variable, d'alimentation en eau potable des communes visitées, des "qualités" des nappes du point de vue de la conductivité, des types d'industries raccordées, etc. C'est pourquoi, l'interprétation des résultats ne peut ressortir d'une méthode rigoureuse. Une vision beaucoup plus globale du problème de l'assainissement nécessite une technique d'approche par l'analyse des systèmes. L'idée centrale est que tous les éléments d'un système sont plus ou moins interdépendants. Des connaissances plus vastes sur l'hydrogéologie de la région inspectée, son industrialisation, ses sources d'alimentation en eau potable deviennent alors indispensables pour une approche du sous-système "transport des eaux usées".

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une meilleure gestion des réseaux d'assainissement et a fortiori d'un meilleur fonctionnement des stations d'épuration. C'est à notre connais-

sance l'une des premières en France qui aborde dans cette perspective le problème de l'auscultation et de la gestion des réseaux d'assainissement. Elle n'aurait certainement pas eu lieu sans le concours financier de la Société Lyonnaise des Eaux.

P R E A M B U L E

Il y a quelques années, l'objectif principal de l'assainissement était d'éloigner les eaux usées et pluviales des habitations afin d'assurer la protection sanitaire des populations. La détérioration croissante de la qualité des milieux récepteurs a conduit les collectivités locales à la construction de stations d'épuration des eaux usées (STEP) et à la recherche d'un fonctionnement optimal de ces petites "usines".

Malgré la volonté de satisfaire les objectifs de rejet fixés lors de leur dimensionnement, le rendement obtenu dépasse rarement les 70% de la charge totale ; beaucoup de ces stations fonctionnent à moins de 40% [103].

Assurer une qualité constante de l'eau épurée suppose à priori une bonne connaissance des eaux brutes reçues en tête de stations (débit, charge,...) et une gestion efficace des organes de commande à l'intérieur de la station. En réalité, un nombre très faible de stations fonctionne sous ces conditions. Les principaux désordres constatés ont pour causes :

- une mauvaise connaissance des débits admis en tête de stations
- une absence de mesure de la "qualité" des eaux à l'entrée de stations.

Les fluctuations du débit et de la qualité des eaux à l'entrée des stations difficilement prévisibles diminuent le rendement d'épuration en provoquant un "lavage" de la biologie ou en perturbant la biologie.

L'automatisation du fonctionnement du traitement biologique passe obligatoirement par un contrôle continu du débit et de certains indices biologiques classiques (indice de Molhman, etc.).

Aussi, la gestion automatique des stations d'épurations pose-t-elle des problèmes délicats à résoudre : n'est-il pas nécessaire de s'attaquer tout d'abord aux principales causes de ce mauvais fonctionnement à savoir les débits et la qualité des eaux usées envoyées à la STEP, ces deux paramètres étant nécessairement liés entre eux ?

C'est donc principalement aux eaux "parasites" - sur lesquelles nous reviendrons dans notre quatrième partie - que nous nous attaquons en recherchant en priorité les moyens de les détecter.

Il s'agit des eaux ne devant pas emprunter le système de transport des eaux usées et qui sont à l'origine de multiples perturbations tant au niveau de la station d'épuration qu'au niveau du réseau d'assainissement.

Le phénomène des eaux parasites dans les réseaux d'assainissement apparaît pour tous les types de réseaux existants (unitaire, séparatif, pseudoséparatif) cependant, l'accent est mis notamment sur les réseaux séparatifs. En effet, ces réseaux directement raccordés aux stations d'épurations sont souvent responsables de la mauvaise collecte des eaux. Les autres types de réseaux disposent de déversoirs d'orage et sont donc "autorisés" à rejeter des eaux non traitées à l'exécutoire pendant de forts orages. Il arrive souvent que ces rejets soient continus ; alors là, sont mis en cause soit le mauvais dimensionnement du déversoir d'orage, soit l'admission d'eaux parasites.

Ces eaux "parasites" ou eaux "propres" ont des origines diverses : infiltrations d'eaux de nappe, captage de sources, introduction périodique d'eau de rivière ou d'eau de mer, admission d'eaux pluviales, déversement du trop plein des réservoirs d'eau potable et fonctionnement permanent de chasses d'eau. Il est donc souhaitable de localiser les entrées d'eaux parasites en vue d'en diminuer la plus grande partie possible. D'autre part, il est important d'agir pendant les périodes de haute nappe et sans aucune restriction due aux conditions climatiques ou à l'emplacement du site. En bonne logique, il faudrait pouvoir ausculter les réseaux

chaque fois que les conditions climatiques permettent des entrées d'eaux parasites.

Il est également essentiel de connaître les réponses du réseau sous différentes conditions pour "apprécier" son fonctionnement. Des contrôles en postes fixes sur de longues périodes continues sont nécessaires pour établir des diagnostics de réseaux et de stations.

En raison de la complexité de la chaîne de l'assainissement des eaux usées, la gestion des réseaux d'assainissement et des STEP peut être approchée par l'analyse des systèmes.

D'un côté, il s'agit de réduire au maximum la quantité d'eaux propres drainées dans les réseaux d'assainissement. Mais il est clair que, dans certains cas, la suppression totale des eaux parasites peut entraîner des gênes considérables au niveau de la population (odeurs de putréfaction) et des dégâts importants résultant de la stagnation des eaux (corrosion des canalisations, etc.).

De l'autre, il faut absolument conserver la propriété d'autocurage des réseaux. Par contre, une augmentation des débits par rapport au débit d'autocurage ne serait nullement bénéfique.

Nous sommes donc en face d'un optimum économique à trouver...

En réalité, avant d'arriver à cette approche, il faut disposer d'un matériel adapté aux réseaux et permettant la détection et la localisation des eaux parasites et poser clairement le pro-

blème des limites du système allant au-delà du réseau et de la station et incluant notamment la nappe sous-jacente, la rivière et le milieu récepteur.

P R E M I E R E P A R T I E

Les mesures effectuées par l'ICHTYOTHERME

AVANT-PROPOS

De nombreux paramètres de nature physique, chimique ou biologique servent à caractériser les eaux usées. Parmi ces paramètres, un grand nombre d'entre eux impose une préparation de l'échantillon de mesure et requiert donc un temps de réponse souvent très long pour l'obtention des résultats.

Les seules grandeurs directement mesurables sont essentiellement physiques ; nous citerons la température, la conductivité, l'oxygène dissous.

L'objectif de notre recherche est une exploitation "in situ" des mesures effectuées avec une sonde ; les paramètres à utiliser doivent donc être directement mesurables et tout particulièrement sensibles aux entrées d'eaux parasites. Pour répondre à ces exigences, les informations attendues doivent être tirées de capteurs simples et robustes.

En outre, la méthode de mesure doit être :

- sensible, c'est-à-dire qu'elle doit posséder un pouvoir discriminateur (1). La mesure ne doit pas être trop sensible pour avoir une moyenne stable,
- juste donc fidèle et reproductible,
- aisément praticable, c'est-à-dire rapide, souple et ne nécessitant qu'un nombre restreint de manipulations.

Il se trouve que la température et la conductivité, en plus de la "valeur" de leur information respective dans la détection des eaux parasites, sont actuellement mesurables avec des capteurs réunissant les trois qualités précitées. Nous justifions, dans cette partie, les différents choix effectués dans la conception des capteurs et de l'électronique de mesure.

(1) *Le pouvoir discriminateur englobe le pouvoir séparateur et le pouvoir de résolution.*

Dans un premier paragraphe, nous expliquons la mesure de la température et discutons le choix du capteur.

Le deuxième paragraphe aborde le principe de mesure de la conductivité et présente le capteur le mieux adapté à nos conditions de mesure.

Nous présentons dans le troisième paragraphe, l'électronique de mesure avec la partie traitement du signal et mémorisation des données et justifions le choix de la méthode de mesure de la distance.

Enfin, nous présentons l'ichtyotherme, justifions les différents choix adoptés et suggérons des champs d'application connexes de cet appareil.

I - La mesure de la température

I.1. Choix et présentation du capteur de température

Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs de température. Il nous faut choisir le capteur le mieux adapté à nos conditions de mesure et offrant le plus de précision. Le capteur de température sélectionné est un composant électronique à circuit intégré. Cet élément comporte une source de tension de référence intégrée. Dans des conditions classiques d'emploi, il délivre une tension proportionnelle à la température de pente 10 mV/degré Kelvin. Le signal analogique délivré par le capteur correspond donc directement à la température du milieu étudié. L'étalonnage de l'électronique de mesure est spécifique pour chaque capteur et consiste en un réglage du signal pour une température donnée et connue.

I.2. Caractéristiques du capteur

Les caractéristiques principales du capteur de température sont l'impédance de sortie, la stabilité, la linéarité, le temps de réponse et la sensibilité.

- l'impédance de sortie définit la condition de perception du signal électronique par l'instrument de mesure ;
- la stabilité dans le temps se traduit par un phénomène de dérive. Cette dérive quoique infime semble inévitable avec les semi-conducteurs ;
- la linéarité ou courbe de variation du signal fourni par le capteur en fonction de la température est généralement considérée comme une droite dans la gamme de mesure ;
- le temps de réponse caractérise la sensibilité du capteur aux variations de température. Il correspond au temps

nécessaire à un signal fourni par un capteur pour varier de 63% de l'échelle totale connaissant l'échelle de variation du paramètre [101]. Dans notre cas, ce temps s'élève à 3 secondes. Cette "rapidité" de mesure est un gros avantage devant les temps de réponse des capteurs usuels tels que les sondes au platine ou les sondes à thermocouples.

I.3. Montage du capteur

Le capteur choisi réalise la mesure de la température en se mettant en équilibre thermique avec le milieu environnant. Il est donc clair que le montage du capteur doit être isolé de tout corps ajoutant sa propre inertie thermique. Dans le cas contraire, le temps de réponse du capteur d'inertie connue se trouve modifié.

La mesure de la température est directement liée au transfert thermique entre le capteur et le milieu environnant et correspond à la température du capteur proprement dit.

Dans la définition du temps de réponse, le transfert thermique est essentiellement dû à la conduction. En réalité, pour des mesures de température des fluides en mouvement, la convection vient s'ajouter au phénomène de conduction, ce qui a pour avantage de diminuer sensiblement ce temps de réponse du capteur.

Par ailleurs, la liaison entre le capteur et le circuit de mesure doit être la plus courte possible afin d'éliminer l'influence des parasites et obtenir ainsi une exactitude de la mesure.

Sachant que le montage réalisé est destiné à être immergé dans des eaux usées, l'étanchéité du capteur et des câbles de liaison de celui-ci à l'électronique de mesure doit être parfaite.

II - La mesure de la conductivité

II.1. Définition de la mesure

Contrairement au paramètre température où la mesure est uniquement physique, la conductivité est une mesure physico-chimique.

Cette mesure traduit l'aptitude d'une eau à conduire du courant ; cela revient généralement à mesurer la résistance électrique d'une colonne cylindrique du liquide, de dimensions connues.

En négligeant les charges des colloïdes et des matières en suspension, la conductivité repose essentiellement sur la mesure des charges des matières solubles.

Sous l'effet de forces physiques dûes au frottement, chocs, etc., nous estimons que sur la durée d'une expérience, la conduction dûe à ces charges reste constante.

Il est certain qu'en présence d'un champ électrique, les mouvements ioniques s'ordonnent et la conduction électrique s'effectue avec transport de la matière. Les phénomènes de polarisation et d'encrassement des électrodes sont souvent observés pour des mesures réalisées à partir de deux électrodes sous tension continue.

La tendance actuelle est d'utiliser du courant alternatif pour éviter ce phénomène de polarisation des électrodes et de réaliser des mesures à l'aide de cellules à quatre électrodes pour réduire à son maximum l'encrassement du capteur.

Le principe de cette méthode de mesure est exposé dans les paragraphes suivants.

II.2. Choix de la cellule de conductivité

Les mesures de la conductivité des "eaux usées" se situent dans la gamme $500-15000 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. Par conséquent, le choix de la cellule de conductivité est tiré des tableaux fournis [annexe IV].

Dans ce cas précis, ce sont les cellules à 4 électrodes qui sont les plus appropriées. Se pose ensuite le choix des matériaux constituant ces cellules : d'un côté, les graphites, le platine ou encore l'acier inoxydable pour les électrodes et de l'autre, le PVC ou le Teflon pour l'isolant [7].

Cependant, l'acier inoxydable du type 316L est déconseillé en raison de la formation de couches superficielles d'oxydes de chrome plus particulièrement sur les électrodes, laquelle ralentie considérablement la cinétique de la réaction de transfert des électrons [56].

II.3. Caractéristique du capteur : la constante de cellule

D'une manière générale, les dimensions de la colonne de liquide dans laquelle se trouvent deux électrodes isolées l'une de l'autre et distantes de x centimètres caractérisent une "constante de cellule K".

$$K = x \cdot S^{-1} \text{ [en cm}^{-1}\text{]}$$

S étant la surface identique des deux électrodes.

On définit parfois comme facteur de cellule, l'inverse de la grandeur K.

L'ordre de grandeur de cette constante est généralement compris entre 0,01 et 10 cm⁻¹. Cette constante de cellule peut varier par suite d'une altération des électrodes ; la vérification de ce paramètre s'effectue à l'aide d'une solution électrolytique de conductivité connue.

La cellule à 4 électrodes choisie pour notre application est ~~son~~ constante de cellule, ce qui est un avantage.

II.4. Description du capteur

La cellule de conductivité comporte :

- deux électrodes de graphite appelées électrodes de courant
- deux électrodes de platine appelées électrodes de tension
- une thermistance pour la compensation automatique de la température.

II.5. Montage du capteur

En raison de la fréquence de mesure de notre appareil égale à 80 Hz, fréquence voisine du 50 Hz, il est conseillé d'utiliser un câble de liaison du capteur au circuit de mesure de capacité linéique réduite à son maximum et d'une parfaite étanchéité.

D'autre part, il faut éviter tout obstacle métallique ou isolant dans un rayon de 8 cm autour des électrodes. Dans le cas contraire, les lignes de champ risquent d'emprunter tout conducteur métallique ou seront déviées par tout corps isolant et de là même, fausser complètement la mesure (voir paragraphe II.6.). Le choix de la cellule de mesure a été orienté sur un capteur de dimensions réduites afin de ne pas perturber l'écoulement des eaux.

II.6. Principe de mesure

Une densité de courant constante (a) est réalisée dans l'eau étudiée au moyen d'un générateur à courant constant, relié aux électrodes de travail 1 et 2. Le courant alternatif produit dans le liquide un champ de dispersion, dans lequel est captée par les électrodes 3 et 4, une tension non polarisée. La conductivité du milieu est calculée à partir de la différence de potentiel V mesurée entre 3 et 4 de (a) et de la distance P entre les points de mesure.

Pratiquement aucun courant ne parcourt les électrodes de tension. Comme la polarisation n'apparaît qu'à proximité immédiate des électrodes 1 et 2 et que les électrodes de tension 3 et 4 sont situées dans la zone de répartition linéaire du potentiel, la mesure ne peut pas être faussée.

En outre, la grandeur mesurée est totalement indépendante des discontinuités de potentiel non contrôlées qui se produisent au niveau des électrodes de travail 1 et 2 et de ce fait, l'étalonnage reste valable sur des très longues périodes.

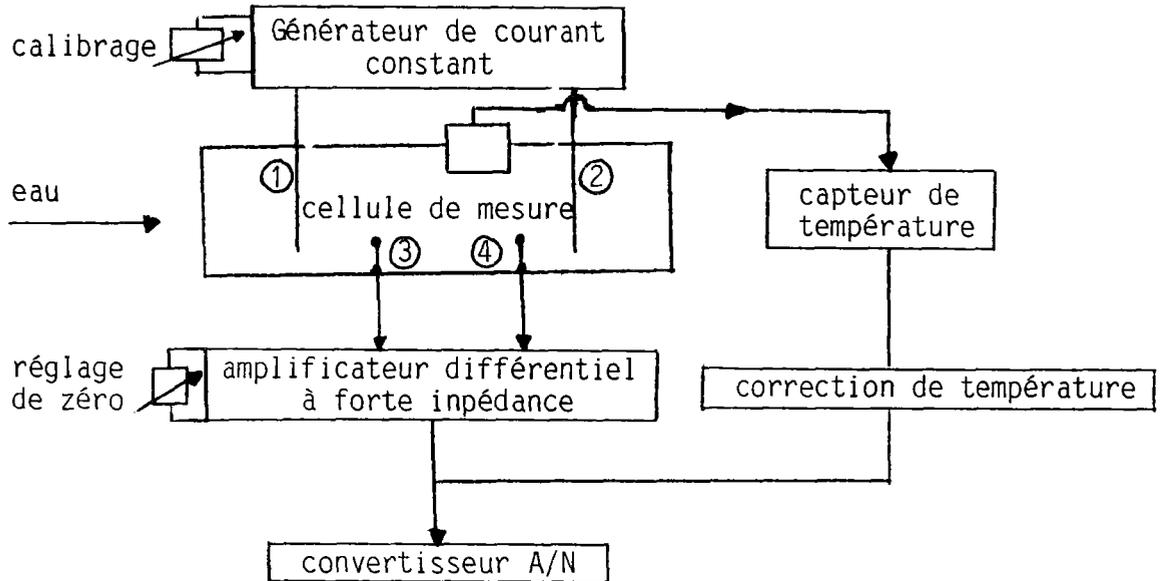


Figure 1 : Principe de mesure à 4 électrodes (documents PRUCAL)

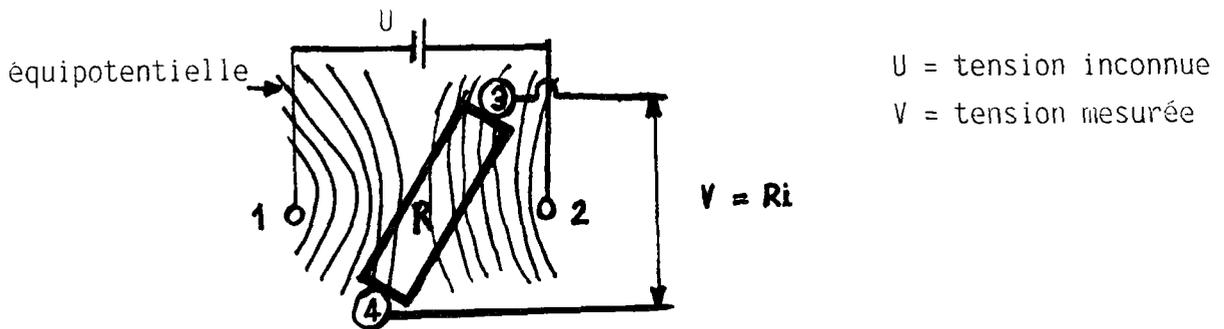


Figure 2 : Disposition des électrodes dans la cellule de mesure (capteur-Ponselle)

La tension de mesure est redressée et amplifiée. Elle doit être filtrée pour obtenir en l'absence de variation de conductivité une tension continue stable. Cette opération de filtrage est responsable des longs temps de réponse des appareils.

Dans notre cas, le temps de réponse est de 10 secondes pour 90% du signal et non 63% comme cela a été défini auparavant.

II.6.1. Description du conductimètre

Le conductimètre comporte :

- 4 gammes de mesures $0-200 \mu\text{Scm}^{-1}$, $0-2000 \mu\text{Scm}^{-1}$, $0-20000 \mu\text{S/cm}$ et $0-200000 \mu\text{S/cm}$.
- une prise de capteur
- un affichage à cristaux liquides
- un potentiomètre pour l'étalonnage de la mesure
- un deuxième potentiomètre permettant un réglage interne du signal.

II.6.1.1. Etalonnage de la mesure

A l'aide du commutateur de gammes, on sélectionne une résistance r placée en série avec la cellule de mesure. Cette résistance r est alimentée par la tension alternative stabilisée. La tension de mesure aux bornes de cette résistance est directement proportionnelle à la conductivité [56]. Le réglage est effectué à la réalisation du conductimètre.

Le coefficient de température étant constant et égal à $2,158\%/^{\circ}\text{C}$, le choix d'une température de référence $15,20$ ou 25°C est possible à partir d'un tableau de correction de la température pour une solution donnée [Annexe IVter].

La compensation automatique de la température est effectuée pour la température de 20°C [7].

II.6.1.2. Variables influençant la mesure

Les variables influençant la mesure sont d'ordre physique, chimique et électrique. Nous citerons l'encrassement, la fréquence, le blindage et la vitesse d'écoulement.

Pour ce qui concerne cette dernière variable il apparaît que la mesure reste bonne tant qu'on a un écoulement laminaire ; autrement, c'est une question dynamique qui ne permet plus aux électrodes de toucher le liquide intimement et par conséquent fausse la mesure [7].

III - Sauvegarde des données

Deux solutions existent pour la mémorisation des données :

- la première consiste en un rapatriement des mesures sur le site (hors réseau) et en leur stockage sur des supports classiques : RAM du calculateur, bandes graphiques, pages d'imprimantes, cassettes magnétiques, etc. La réalisation de ce rapatriement impose une liaison permanente de la sonde de mesure au calculateur, pendant la campagne de mesure, pour la transmission des mesures. La transmission des mesures dans ce cas-là peut se faire soit par un signal numérique, soit par un signal analogique (fréquence).

Cette solution, a priori la plus simple est de loin la plus difficile à réaliser compte tenu de la "qualité" des eaux drainées et des problèmes électriques inhérents à cette méthode. Il faut noter par ailleurs que le câble électrique devra servir en outre à la traction de l'appareil.

Compte tenu de la complexité du problème et des difficultés liées à l'exploitation de cet appareil, cette solution n'a pas été retenue.

- la deuxième solution comporte les mêmes fonctions que la première mais toutes sont réunies dans l'appareil, donc pas de transport du signal hors de l'appareil. Cette solution consiste donc à incorporer une mini-imprimante ou une cassette magnétique pour enregistrer les mesures. En raison des dimensions que nous nous sommes imposées, et de l'autonomie électrique essentielle à ce type d'exploitation, il nous paraît impossible, à l'heure actuelle, de répondre à ces objectifs.

Grâce aux nouvelles technologies à très faible consommation électrique (C-MOS), une solution consiste donc à une sauvegarde des mesures dans des mémoires C.Mos.

Avant d'être stockées, ces mesures sont d'abord converties en signaux numériques puis stockées en mémoire. L'électronique de mesure comprend plusieurs fonctions que nous allons exposer dans le paragraphe suivant.

Cette solution a donc été retenue et donne entière satisfaction.

IV - Les circuits de mesures

IV.1. Electronique de mesure

L'électronique en logique câblée, est entièrement implantée sur un circuit imprimé. Elle comprend les fonctions suivantes :

- alimentation
- conversion analogique-numérique des mesures
- mémorisation des mesures
- logique de commande et de lecture de la mesure
- sortie vers l'interface.

IV.1.1. Alimentation

L'électronique de mesure est alimentée par une tension stabilisée de 5V. Le 12V utilisé à l'entrée du circuit sert à recharger les batteries incorporées à la sonde. En période de mesure, l'électronique, en technologie C.MOS consomme une intensité de 10 mA seulement.

IV.1.2. Convertisseur Analogique Numérique (CAN)

Le choix du convertisseur est fonction de la précision de la mesure et de la vitesse de conversion.

Dans notre cas, le convertisseur utilisé a une résolution de 8 bits. La résolution du dixième degré est obtenue en séparant la plage 0-50°C en 3 gammes de mesures programmables. Le traitement de la mesure se fait de la manière suivante :

l'offset de gamme est soustrait des signaux électriques venant du capteur. Ensuite, les signaux obtenus sont amplifiés puis transmis au convertisseur et enfin, conservés en mémoire.

Nous n'abordons pas la présentation des différentes caractéristiques des amplificateurs et des convertisseurs dans

cette recherche. Cependant, nous donnons en annexes les formules de conversion des mesures stockées en degré celsius et en micro-siemens par centimètre.

IV.1.3. Stockage des mesures

Deux circuits mémoires, ayant une capacité totale de 256 octets sont utilisés pour la sauvegarde des mesures. Nous disposons de huit cadences de mesures permettant des durées d'inspection allant de 15 minutes à 36 heures. La cadence standard de 8 secondes permet des auscultations de biefs pouvant atteindre 120 mètres.

Il convient de préciser que les mesures stockées sont des mesures instantanées.

IV.1.4. Logique de commande et de lecture

La logique de dialogue du circuit de mesure avec un automate programmable repose sur deux procédures :

- une procédure de lancement des mesures et une procédure de lecture selon deux chronogrammes précis.

La description de ces deux chronogrammes est fournie en annexes [II].

Il convient de signaler que la logique de commande des signaux est une logique à 3 états. L'un des trois se distingue par sa haute impédance.

IV.1.5. Sorties vers l'interface

Le couplage du circuit de mesure à un automate programmable ou à un microordinateur de commande doit se faire par l'intermédiaire d'interface.

Les critères principaux à cette réalisation sont :

- une compatibilité mécanique et électrique
- une adaptation des signaux.

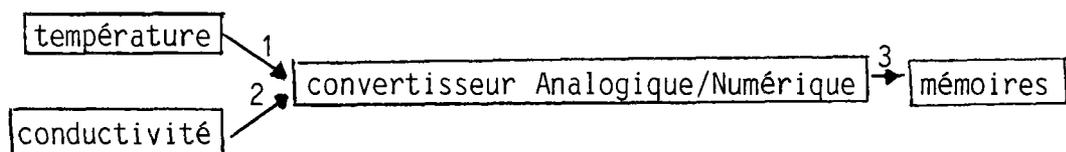
Les sorties vers l'interface comportent :

- un bus d'adresses de 8 bits
- un bus de données de 8 bits
- un bus de commande.

IV.2. Couplage des deux électroniques de mesures

A l'origine, nous disposons de deux électroniques de mesures distinctes. Une électronique de mesure de la température avec sauvegarde des données en mémoire et une deuxième servant à la mesure de la conductivité avec affichage des mesures seulement.

La solution retenue consiste donc en un couplage des deux électroniques de mesure et en un stockage des données en mémoires déjà existantes.



Les deux circuits de mesures sont incorporés dans un conteneur et le choix du type de mesure est programmable par le calculateur. L'affichage des mesures ne s'avère utile que dans la mesure où il permet une visualisation immédiate des mesures pendant les phases d'étalonnage.

IV.3. Mesure de distance

En raison de l'autonomie électrique de la sonde de mesure, la seule liaison de la sonde avec l'extérieur est une liaison mécanique.

Le treuil de traction de la sonde dans le réseau sert en outre pour le comptage de distance. La pose d'un générateur d'impulsions à contact libre de potentiel fixé sur l'axe du treuil permet un suivi de la position de la sonde sur le microordinateur de commandes, en temps réel. Comme les mesures contenues dans le conteneur, bien qu'exploitées en temps différé sont repérées dans le temps (8 cadences programmables par calculateur sont possibles) et que le calculateur dispose aussi d'une horloge, la synchronisation naturelle des deux horloges à quartz pendant le temps d'auscultation assure un bon repérage en distance de l'ichthyotherme. Ainsi, dès le lancement de la mesure suivant la cadence de mesure choisie, le calculateur vient stocker les mesures de distance à chaque cadence de mesure.

IV.3.1. Principe de mesure de la distance

Le générateur d'impulsion (G.I.) est directement relié au microordinateur de commande par l'intermédiaire d'une interface d'entrée/sortie parallèles.

Le décompte des impulsions engendrées par le treuil donne le nombre de tours du treuil. Moyennant un étalonnage du treuil, nous déduisons la distance effectuée par la sonde à partir des impulsions comptabilisées.

En raison de la longueur importante reliant le G.I. au microordinateur HP, nous avons réalisé un circuit de protection des entrées par opto-coupleurs pour nous assurer d'une bonne immunité aux parasites.

IV.3.2. Montage du générateur d'impulsions

Le montage du Générateur d'Impulsions sur le treuil est réalisé à l'aide d'un système à "cardans". La liaison du Générateur d'Impulsions au microordinateur est assurée par un câble blindé à 5 conducteurs, de faible capacité linéique.

V - Présentation de l'Ichtyotherme

V.1. Le bulbe de protection de l'électronique

Compte tenu du faible diamètre des réseaux séparatifs et du nombre très important de canalisations de diamètre inférieur à 200 mm, la forme et les dimensions du bulbe ou conteneur ont été choisis de façon à permettre l'auscultation des principaux réseaux existants.

La sonde est donc constituée d'un bulbe de diamètre 100 mm et d'une ogive. L'ogive a pour fonction l'implantation de l'électronique de mesure dans le conteneur et

l'étanchéité du connecteur permettant le dialogue avec le calculateur de commande.

La matière utilisée est l'acier inoxydable. Le poids relativement important de l'ensemble (environ 8 kg) permet une bonne "assise" de l'appareil dans le réseau et assure une meilleure stabilité en radier. Cette stabilité de l'appareil est nécessaire pour une bonne traction et un repérage précis en distance.

En outre, le poids important de l'appareil assure un curage de réseau : la vase sédimentée dans la canalisation est remise en suspension et transportée vers l'aval.

V.2. Le montage des capteurs

D'une manière générale, c'est près de la surface de l'écoulement que les tâches thermiques ont le plus de chance d'être confinées.

Pour assurer une efficacité des inspections, les capteurs doivent si possible suivre une ligne d'auscultation assez proche de cette surface.

Pour répondre à cet objectif, les capteurs sont déposés à l'extérieur du bulbe et fixés au bout d'une tige de 40 cm de long, déjàugée par des flotteurs, de manière à maintenir les capteurs tout près de la surface. Cette tige, articulée autour d'une axe, permet en outre, la descente de la sonde de mesure dans des regards de faibles diamètres (environ 50 cm), grâce à une position entièrement repliée.

V.3. Le relais bistable

Pour supprimer toute manipulation de l'ogive pour la mise en marche ou à l'arrêt des batteries d'alimentation des circuits de mesure, nous avons utilisé un relais bistable bipolaire. Le basculement d'un état du relais à l'autre est possible par excitation du relais en tension. La stabilité des états du relais est assurée même en l'absence de courant, voire pour des accélérations inférieures à 10 g (g: accélération de la pesanteur).

V.4. Utilisations connexes

L'ichtyotherme est particulièrement adapté aux conditions de mesure les plus difficiles. Nous l'avons conçu pour qu'il soit utilisé dans les réseaux d'assainissement non visitables.

Compte tenu de la nature des eaux usées et des conditions d'immersion de l'ichtyotherme, l'étanchéité des capteurs et du bulbe a particulièrement retenu notre attention.

Par conséquent, les avantages considérables qu'apportent l'autonomie électrique et la sauvegarde des mesures dans des mémoires C.MOS, nous incitent à proposer l'ichtyotherme pour des domaines tels que l'Océanographie marine, l'hydrogéologie des forages, l'hydrobiologie des lacs, etc.

Les mesures de température utilisées dans ces domaines font appel aux thermomètres à renversement ou à des capteurs reliés à la surface de l'eau. Ces dernières méthodes relativement complexes et délicates à mettre au point sont très répandues dans les services d'océanographie marine et d'hydrobiologie des lacs.

V.5. Amélioration de la mesure

Comme nous l'avons fait remarquer dans les paragraphes précédents, la logique des circuits de mesure est une logique câblée.

Actuellement, il ne nous est possible, en raison de la faible capacité réunie dont on dispose (256 octets), de venir stocker les valeurs des deux paramètres utilisés simultanément. Il est certain que l'idéal serait de disposer de la valeur des deux paramètres simultanément pour une campagne d'auscultation de réseaux. Cette modification n'est possible qu'en augmentant la capacité mémoire. En outre l'implantation d'une logique programmée du circuit de mesure pourrait réduire de manière considérable le câblage nécessaire à toute interface parallèle, en utilisant une interface série pour la gestion de la sonde.

Il serait alors possible de faire subir des traitements mathématiques à la mesure stockée, en l'occurrence une moyenne sur la cadence choisie.

Par ailleurs, il serait souhaitable d'avoir toutes les options de mesure entièrement programmables à partir du micro-ordinateur de commandes.

L'ensemble de ces modifications réalisables à partir d'un microprocesseur allègerait les différentes manipulations de la sonde.

VI - Conclusion

La réalisation de l'ichtyotherme nous a donné entière satisfaction. Les options prises correspondent aux différentes utilisations pour une meilleure police des réseaux.

Les différentes modifications apportées tout au long de cette mise au point de la sonde ont répondu à notre objectif de conception d'un appareil robuste et précis.

DEUXIEME PARTIE

PRESENTATION DE LA CHAINE DE MESURE
ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

HISTORIQUE

Avant de concevoir une chaîne de mesure adaptée à l'auscultation des réseaux d'assainissement, nous avons voulu vérifier l'intérêt de la mesure de la température dans la détection des eaux parasites.

Les premiers essais sur le terrain ont eu lieu en février 1982. Les commandes de la sonde étaient effectuées alors par un automate programmable muni d'une mini-imprimante. Les programmes ont été écrits en langage machine dans une structure du type GRAFCET. Les mesures de températures étaient repérées seulement par rapport au temps ; il fallait donc postuler une vitesse d'avancement constante de la sonde pour récupérer un graphe de la température en fonction de la distance.

Les résultats obtenus lors de nos campagnes d'essais qui ont duré deux mois, ont été satisfaisants.

La conception de la nouvelle chaîne de mesure que nous allons présenter dans les paragraphes suivants a débuté en mai 1982 et les premiers essais sur le terrain ont eu lieu au mois de janvier 1983.

Un des objectifs de ce travail est donc d'augmenter la fiabilité de la chaîne. La chaîne de mesure étant composée d'un ensemble d'appareils, la fiabilité de chaque élément contribue directement à la fiabilité de la chaîne [108].

Pour un appareil original, il faut associer des composants de série, à un appareil spécifique aussi réduit que possible. Cette attitude, recherchée dans notre travail, peut être expliquée par le fait que :

- les appareils de petite série sont généralement performants et astucieux mais beaucoup moins fiables à cause du coût d'une véritable étude de fiabilité

- les appareils électroniques de très grande série sont extrêmement fiables parce qu'ils sont "suivis" obligatoirement d'une véritable étude de fiabilité.

AVANT-PROPOS

En fonction du paramètre utilisé, l'exploitation des mesures est obligatoirement suivie d'un diagnostic sur le fonctionnement du réseau ausculté.

C'est dans l'optique d'une exploitation in situ des mesures stockées dans la sonde que nous présentons la chaîne de mesure. Nous détaillons ensuite les programmes de commande de la mesure, d'acquisition et de traitement des données et de gestion des fichiers créés.

Enfin, nous définissons quelques techniques de programmation des automatismes utilisés dans la gestion des réseaux et des STEP classiques.

Il convient de définir dès maintenant les notions de programmes et de processus :

- un programme est un ensemble d'instructions exécutées sans relation avec le monde extérieur pendant son déroulement. Nous citerons les programmes de calcul, de gestion technique, de gestion administrative
- un processus consiste en un déroulement de programmes en synchronisme avec les événements extérieurs.

Les différentes relations du microordinateur de commande avec le processus (acquisition des signaux, réglage et commande d'automatismes) constituent ce qu'on appelle une conduite de processus.

Nous pouvons remarquer que la notion de programme est une notion statique ; par contre la notion de processus est une notion dynamique.

I - Présentation de la chaîne de mesure et principes d'utilisation

I.1. La chaîne de mesure

Le matériel utilisé est composé de [annexe I ter] :

- un microordinateur de bureau muni d'une interface entrées/sorties parallèles
- un bulbe de mesure avec ses capteurs
- un treuil muni d'un générateur d'impulsions (G.I.)
- un chargeur-onduleur de 120 VA.

L'alimentation en courant alternatif du microordinateur est assurée par le chargeur-onduleur. Ces alimentations dites statiques ne sont pas bruyantes et nécessitent peu d'entretien. Elles sont en outre utilisées en informatique principalement comme alimentations de secours.

L'intérêt de ce choix vient du fait que les différentes interventions sur les réseaux ne doivent pas gêner les riverains (bruit) et que le branchement secteur soit disponible à tout moment et à tout endroit. Il faut noter que les problèmes d'anomalies de réseau d'assainissement (eaux parasites...) arrivent très souvent à des endroits difficilement accessibles. Les interventions des Services de l'eau doivent être rapides et efficaces.

I.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la chaîne de mesure consiste en 4 tâches distinctes :

- lancement de la mesure
- autorisation de la mesure de la distance et acquisition des impulsions
- lecture des mesures stockées
- sauvegarde et traitement des mesures par le micro-ordinateur de gestion.

I.2.1. Lancement de la mesure

Pour réaliser une auscultation de réseau, les principales options telles que gamme, cadence, sont arrêtées avant le lancement de la mesure. Aussitôt la mesure lancée, commence le stockage des mesures dans la sonde selon la cadence préprogrammée.

I.2.2. Mesure de la distance

Le générateur d'impulsions est directement relié au microordinateur par l'intermédiaire d'une interface d'entrées/sorties parallèles. Les impulsions engendrées par le treuil sont comptabilisées et le repérage dans le temps de l'immersion et de l'émersion de la sonde se fait par un interrupteur monté sur le treuil et appelé "topeur".

I.2.3. Lecture des mesures

Dans l'électronique du bulbe, une fois les 256 places mémoires remplies, la fonction mémorisation prend fin et les mesures sont sauvegardées. La lecture des mesures peut s'effectuer à n'importe quel moment pour autant que la charge des batteries incorporées à la sonde soit suffisante pour leur sauvegarde.

I.2.4. Sauvegarde et traitement des mesures

La sauvegarde des mesures consiste en un archivage de résultats dans un fichier de données. Les mémoires de masse dans notre cas, sont des cassettes ayant une capacité d'une trentaine d'auscultation chacune.

Le traitement des mesures, sous différentes formes (graphique, statistique) sert à l'établissement d'un diagnostic de fonctionnement du réseau et peut éventuellement précéder la sauvegarde des mesures.

II - Commandes de lancement et d'acquisition de la mesure

II.1. Présentation du matériel informatique

Les commandes de l'automatisme de la sonde de mesure sont effectuées à partir de touches préprogrammées d'un microordinateur de marque Hewlett Packard HP85F dont le langage de programmation est le Basic. Ce microordinateur disposant d'une mémoire vive de 16 K octets comporte un écran et une imprimante et permet de stocker des données ou programmes sur cassettes. Nous utilisons une interface parallèle pour la commande des automatismes de la sonde, appelée GPIO.

Il peut être, à l'aide de certaines interfaces appropriées, relié à divers appareils, parmi lesquels :

- une table traçante HP
- un autre ordinateur.

Ces deux possibilités n'ont pas été développées dans cette thèse. Nous pensons qu'il peut s'agir d'un minimum d'équipements pour un Service spécialisé travaillant dans la gestion des réseaux d'assainissement.

II.1.1. Description de l'interface G.P.I.O.

Pour l'ichtyotherme, l'interface G.P.I.O. se présente physiquement sous la forme d'un cordon ombilical reliant le bulbe au calculateur pendant les phases de lancement et de lectures des mesures.

L'interface G.P.I.O. dispose de quatre ports d'entrées/sorties de 8 bits dont deux bidirectionnels, de 8 lignes de commande et de 4 flags.

Les caractéristiques essentielles de cette interface sont essentiellement :

- le choix du sens de circulation des données
- l'affectation et le choix des ports d'entrées/sorties
- le choix de la logique de commande.

Il convient de signaler qu'il n'existe pas de ligne d'alimentation en 5V ou 12V à partir de cette interface.

II.1.2. Possibilités de gestion offertes par l'interface G.P.I.O.

Plusieurs méthodes de supervision des entrées/sorties sont possibles avec l'interface G.P.I.O. Ces méthodes nécessitent des procédures assez complexes pour la gestion des entrées/sorties en faisant principalement appel aux lignes appelées FLAG et Status pour la détection du signal venant du périphérique (dans notre cas, il s'agit de la sonde de mesure) et aux lignes de CONTROL pour envoyer un signal de l'interface vers le périphérique.

II.1.3. L'horloge interne

Cette horloge permet une interruption périodique du processus et dévie le calculateur vers un sous-programme qui exécute un certain nombre de calculs. Ces opérations achevées, le programme se poursuit à l'endroit où il a été interrompu jusqu'à un nouvel ordre d'interruption.

Ces interruptions périodiques à cadence identique à celle de la mesure dans l'ichtyotherme sont utiles pour la corrélation "paramètre-distance".

Ces interruptions sont effectuées par le calculateur avec l'instruction ON TIMER.

Comme expliqué dans le paragraphe VI.3. de la première partie, il y a donc deux horloges synchrones : une dans l'ichtyotherme et une deuxième dans le calculateur.

II.2. Le traitement des données

Nous trouverons en annexes II, X, XIII, les chronogrammes servant aux commandes de mesures, l'organigramme détaillé du programme principal de gestion de l'ichtyotherme, la liste des programmes annexes et les listings complets ainsi que quelques commentaires destinés à faciliter la compréhension de l'ensemble du processus.

Le programme principal exécute les opérations principales suivantes :

- il lance la mesure en liaison avec l'opérateur, à partir des choix des paramètres de la mesure (cadence, gamme,...)
- il signale à l'opérateur la fin de la procédure de lancement de la mesure et la comptabilisation des distances. A partir de cet instant, la sonde peut être déconnectée du calculateur et immergée dans le réseau
- il comptabilise les impulsions engendrées par le treuil et note les deux tops éventuels d'immersion et d'émersion de la sonde de mesure
- après connection de la sonde au calculateur à la fin d'auscultation, il lance le destockage des mesures conservées en mémoire dans la sonde, en liaison avec l'opérateur
- il peut visualiser les mesures et les distances effectuées et sauvegarder ces données
- il fournit les temps d'immersion de la sonde, la valeur moyenne des paramètres mesurés etc..., et exécute finalement le tracé des courbes température-distance et température-temps, ou conductivité-distance et conductivité-temps.

II.2.1. La structure des différents programmes

Les programmes disponibles sont structurés de la manière suivante :

- un programme de gestion de la sonde appelé AUTOST
- un programme principal appelé IC TY0 1
- un programme de gestion de graphes lors d'auscultation de réseau appelé TGRAF 1
- un programme de gestion de graphe lors d'inspection en poste fixe appelé TGRAF 2
- un programme de gestion de fichiers de données appelé FICH 01.

La durée d'exploitation des résultats n'excède pas plus de 5 minutes du HP85. Il est à noter qu'aussitôt les résultats sauvegardés, une deuxième campagne d'auscultation peut éventuellement être lancée et l'exploitation des données effectuée qu'à la fin des campagnes d'auscultations.

II.2.2. Principales interruptions utilisées

Les différentes interruptions étant fondées sur des priorités (ou hiérarchies), le choix des priorités doit être judicieusement arrêté pour éviter toute anomalie dans la gestion des programmes.

Les principales interruptions utilisées sont classées par ordre de priorité. Nous trouvons :

- ON ERROR sert à prévenir l'opérateur d'erreurs survenues lors d'un traitement, peut assurer la sauvegarde des données et met le programme en attente
- ON INTR sert à la gestion des impulsions générées par le treuil
- ON KEY interruption manuelle assurant des sauts à des sous-programmes ou à des programmes annexes
- ON TIMER horloge HP programmée sur l'horloge de la sonde. Sert au traitement des mesures de distance.

Nous remarquons que la priorité des touches préprogrammées sur l'horloge peut provoquer des erreurs sur les dernières valeurs enregistrées, en l'absence de synchronisation des 2 horloges. Par contre, la priorité du traitement des mesures de distance est inférieure au comptage des distances,

ce qui nous confirme l'exactitude de nos mesures et élimine les erreurs systématiques induites dans un cas contraire.

III - Définition du système de traitement

A partir du lancement de la mesure, le calculateur est en attente d'impulsions enregistrées par le treuil pour la comptabilisation de la distance. En raison de la liaison continue du calculateur HP au treuil de traction (périphérique) et de la gestion des interruptions, nous considérons la liaison HP-treuil comme une liaison "ON-LINE".

L'exploitation in-situ des données justifie l'utilisation d'un tel système. Cette option tend à se développer avec la "démocratisation" des microordinateurs plus spécialement dans les laboratoires d'analyses.

Notre liaison "ON-LINE" est considérée comme "passive" car aucune action n'est exercée par le calculateur sur le périphérique. Le microordinateur se contente uniquement de comptabiliser les impulsions venant du treuil. Les principales sollicitations aléatoires sont effectuées par interruption.

La caractéristique principale d'un tel système est sa disponibilité aux événements aléatoires par l'intermédiaire du jeu des interruptions.

D'autre part, en raison de l'autonomie de la sonde, l'obtention des résultats n'est pas possible avant la fin du cycle d'auscultation de réseau. Le traitement des données réalisé en différé et par "paquet" peut être défini comme du "batch-processing".

En résumé, nous définissons notre système de traitement par une liaison "ON LINE" avec traitement des données en "batch processing".

VI - Conclusion

La chaîne de mesure conçue pour l'auscultation des réseaux d'assainissement a pour avantages d'être simple et efficace.

L'efficacité de cette méthode est obtenue par le choix du calculateur à comparer aux enregistreurs actuels. Les trois principaux avantages sont :

- enregistrement en temps réel de l'information minimum: la distance dans le temps
- traitement extrêmement complet présentant un diagnostic très clair en temps différé
- sur un bief de 100 m, on conserve quasiment tous les avantages de l'enregistrement continu, alors qu'on fait l'économie du transport du signal et du contrôle visuel de l'enregistrement.

T R O I S I E M E P A R T I E

MODELISATION DES REJETS D'EAU CHAUDE
DANS UN ECOULEMENT FROID
et
INTERPRETATION DES MESURES IN-SITU

AVANT-PROPOS

Les principaux rejets d'eau dans les réseaux d'assainissement se font gravitairement. Ces rejets à température sensiblement différente de celle des eaux du réseau créent des tâches thermiques. Celles-ci s'étalent sur des distances plus ou moins longues suivant l'importance du rejet.

Les multiples auscultations de réseaux effectuées en région parisienne nous ont permis, à partir du paramètre température, de caractériser ces phénomènes de mélange.

L'attitude recherchée dans cette partie est de trouver le modèle le plus simple et le plus adapté pour décrire les phénomènes observés et de simuler les entrées de nappe dans le réseau.

Les eaux parasites, à régime stationnaire, constituent donc des rejets continus dans un écoulement turbulent. Le modèle de diffusion Gaussien à coefficient constant appliqué à ces problèmes représente relativement bien l'évolution spatiale de la tâche thermique au voisinage du rejet et nous permet de connaître les distributions de température dans une section de l'écoulement.

I - Formulation générale d'un problème de rejet dans un écoulement froid

Comment déterminer en tout point le champ des températures d'une canalisation d'assainissement recevant par exemple un apport radial d'eau de nappe par un joint non étanche ?

En théorie, le problème a une solution unique engendrée par trois relations de conservation :

1. Conservation de la masse

$$\operatorname{div} \vec{U} = 0$$

1. Conservation de la quantité de mouvement (NAVIER-STOCKES)

$$\frac{d U_i}{dt} = -g \beta T S_{i3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p^*}{\partial X_i} + \nu \Delta U_i$$

3. Conservation de l'énergie

$$\frac{dT}{dt} = D \cdot \Delta T$$

Ces équations sont à assortir de conditions aux limites complexes à l'endroit de l'intrusion d'eau chaude. Le problème ne peut être résolu sans approximations qu'à l'aide d'une méthode numérique dont la lourdeur est incompatible avec notre sujet.

Nous allons donc faire des hypothèses très fortement simplificatrices en partant de l'idée que nous cherchons une limite de détection de l'Ichtyotherme.

II - Hypothèses simplificatrices

Qu'elle est la plus petite perturbation qu'on puisse espérer détecter sachant que notre capteur a une résolution meilleure que $0,1^{\circ}\text{C}$? Il faut donc imaginer un rejet de débit très faible par rapport au débit de la canalisation avec un écart de température initial de l'ordre de quelques degrés. Moyennant ces hypothèses, nous décidons de négliger trois flux :

- le flux de masse
- le flux de quantité de mouvement
- le flux de flottabilité

ce qui équivaut à dire que nous ignorons tout phénomène de jet, de panache et de stratification thermique.

En bref, nous ne retenons que l'équation de la chaleur :

$$\frac{dT}{dt} = D \cdot \Delta T$$

De plus, nous faisons les hypothèses classiques de l'écoulement unidimensionnel filaire et du régime permanent, ce qui permet d'écrire l'équation sous une forme bien connue

$$U \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = D \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Par ailleurs, pour simplifier encore, nous remplaçons la condition à la limite du rejet par une source ponctuelle de chaleur et les conditions aux parois par un écoulement infini isotherme à l'extérieur :

$$U \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = D \left(\frac{\partial T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

$$T(\infty) = 0$$

La source est définie par son débit en l/s et par son écart de température à l'effluent T_i .

La solution analytique est :

$$T = \frac{q \cdot T_i}{4 \pi \cdot D x} \exp \left(- \frac{(y^2 + z^2) U}{4 D x} \right)$$

Fig. 3 - Réduction du problème de 3 dimensions à 2 dimensions en considérant une diffusion dans une section transversale en mouvement - tiré de (43)

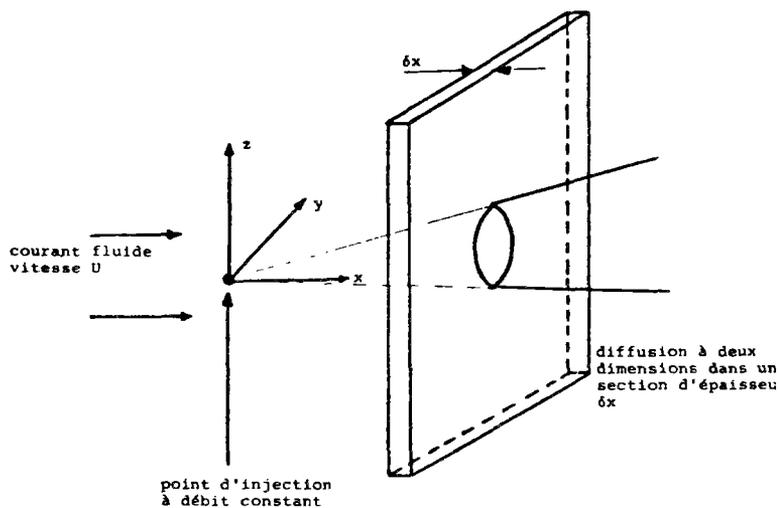


Fig. 4 - Données du modèle de diffusion adapté à notre problème.

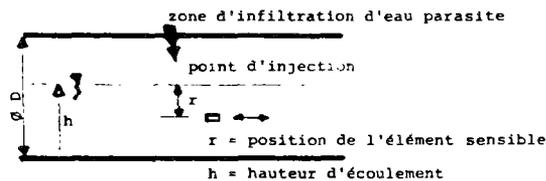
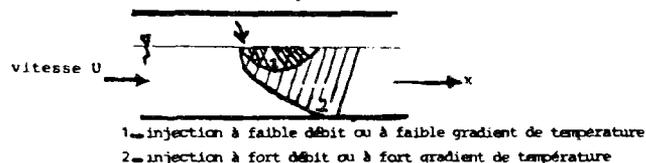


Fig. 5 - Evolution des isothermes dues à un rejet thermique



Reste à choisir la valeur de la diffusivité thermique : D vaut $14 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ pour l'eau à 10°C mais cette valeur n'est utilisable qu'en régime d'écoulement laminaire. En écoulement turbulent, la diffusivité thermique ϵ_T peut être multipliée par plus de 100 à cause du tenseur de covariance entre les fluctuations de vitesse et de température.

Cependant, ce tenseur de covariance est prépondérant dans le cas des jets et panaches où champ des vitesses et champ des températures sont manifestement liés l'un à l'autre. Selon nos hypothèses, le champ des vitesses n'est pas influencé par le rejet et la diffusivité thermique turbulente est considérée comme comprise entre 1 et 10 fois la diffusivité thermique laminaire.

III - Développement du modèle adopté

Nous considérons que la répartition de la chaleur (ou concentration) sur la verticale suit la loi dont l'allure générale est celle d'une courbe de Gauss.

L'équation générale de diffusion s'écrit :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = \epsilon_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \epsilon_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \epsilon_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \lambda T$$

avec λ un coefficient de "disparition" s'agissant d'un produit diffusif non conservatif.

Du fait de la linéarité de cette équation, nous pouvons considérer que le champ de température au temps t_1 est identique à celui qui résulterait d'une série d'injections

instantanées effectuées à chaque instant t entre 0 et t_1 . En effectuant l'intégrale de convolution basée sur cette hypothèse, et en laissant t tendre vers l'infini, nous obtenons:

$$T_m = \frac{q \cdot T_r}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot x} \exp \left(- \frac{(y^2 + z^2) U}{4 \cdot D \cdot x} \right) \quad (\lambda = \emptyset)$$

q = débit du rejet

T_m = différence de température après mélange

T_r = différence de température au rejet.

Cette formulation est applicable dans le cas d'un polluant chimique. Le paramètre utilisé pourrait être la conductivité ; nous obtenons alors :

$$C(x,y,z) = \frac{\dot{M}}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot x} \exp \left(- \frac{(y^2 + z^2) U}{4 \cdot D \cdot x} - \lambda t \right)$$

$C(x,y,z)$ = concentration de la substance mesurée au point de coordonnées (x,y,z)

\dot{M} = débit de polluant injecté.

Le modèle utilisé est tridimensionnel. Cette approche à trois dimensions permet de dégager le mécanisme nous assurant une interprétation correcte des résultats dans le cadre des hypothèses précitées.

III.1. Choix des paramètres du modèle

Les différentes simulations d'entrée d'eau de nappe sont faites à partir d'un modèle de diffusion gaussien à coefficient constant. La diffusion est donc supposée isotrope.

Cette approximation, quoique non rigoureuse, apparaît largement suffisante. Nous rappelons que le modèle développé est valable pour des rejets à températures différentes de la température de l'écoulement principal. Conformément aux hypothèses de base citées plus haut, il y a lieu de penser que le type de réponse est le même pour les 2 cas de figures et que le phénomène de stratification n'intervient pas. En effet, l'inertie verticale du rejet est en général assez faible devant l'inertie horizontale du milieu de telle sorte que le rejet se trouve balayé vers l'aval ; son vecteur tend rapidement vers celui du courant ambiant.

Dans le but d'un calcul de la zone d'influence du rejet, il est important de se fixer quelques valeurs afin d'apprécier la répartition théorique des températures et les longueurs de mélange. Il est clair que nous essayons de nous situer dans les conditions réelles d'entrées d'eaux de nappe dans un réseau d'assainissement urbain et pour cela, nous prenons comme :

- vitesse d'écoulement, une vitesse moyenne de 60 cm/s, la gamme courante de vitesse de l'eau dans les réseaux d'assainissement gravitaire varie de 40 à 100 cm/s suivant le type de réseau, la pente, la rugosité, etc ;
- coefficient de diffusion, un coefficient égal donc à $14 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ qui correspond à la diffusivité thermique de l'eau [107]. Il est à remarquer que ce coefficient de diffusion de la chaleur est inférieur au coefficient de diffusion turbulente d'une substance chimique conservative [100]. La détermination de ce coefficient est difficile et dépend de la nature du fluide. Une des méthodes pour la détermination de ce coefficient de diffusion consiste en une superposition de courbes théoriques de répartition de température obtenues avec le modèle adapté aux courbes expérimentales ;

- rayon r , les valeurs moyennes de 5 cm et 10 cm. Ces valeurs correspondent à la position dans une section transversale de l'élément sensible par rapport à la source. Différentes valeurs sont prises pour nos simulations allant de 2 à 15 cm. Dans la réalité, cette distance peut être réglée empiriquement à l'aide de flotteurs fixés près du capteur ;
- débit d'infiltration, des débits allant de 0,5 à 2,5 l/s. Cette gamme de débits est vraisemblable. Pour se fixer une idée des ordres de grandeurs donnés, une injection d'eau à partir d'une bouche d'incendie peut fournir 17 l/s sur une durée de 2 heures ;
- différence de température entre le rejet et l'écoulement principal de 10°C au maximum, la différence de température moyenne se situe entre 3 et 5°C.

III.2. Résultats des simulations

Deux courbes caractéristiques des phénomènes de rejet ressortent de nos simulations effectuées sur le VAX 11/750 de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Les deux graphiques représentent :

- d'une part, les différents isothermes constituant la tâche thermique
- d'autre part, les seuils de détection des eaux parasites.

III.2.1. Répartition des températures

L'intérêt de cette représentation des isothermes formées lors de rejets thermiques est important. En effet, en fonction des différents paramètres du modèle, nous tentons d'apprécier les longueurs de mélange pour des débits d'infiltration et des gradients de température variables.

Nous avons reproduit quelques courbes pour une visualisation du phénomène de mélange (annexes V, VI, VII et VIII).

Les courbes appelées "isothermes" suivent cette loi :

$$r = \left[\frac{4 \cdot Dx}{U} \ln \left(\frac{q \cdot Tr}{Tm \cdot 4 \pi Dx} \right) \right]^{1/2}$$

Nous remarquons que l'influence du débit d'infiltration ou de la différence de température du rejet sur la forme des isothermes est identique.

Les résultats peuvent être résumés ainsi :

- * L'influence du rejet sur la forme de la tâche thermique est principalement due à la valeur du débit d'infiltration
- * La zone d'influence est sensiblement étendue quand il s'agit de rejets d'eau de refroidissement à forts gradients de température.

III.2.2. Les limites de détection des rejets

Ces limites théoriques ne peuvent véritablement être appréciées que si l'on connaît de manière rigoureuse la position du capteur par rapport au point du rejet.

Pour différentes valeurs de ces 2 paramètres ("x" et "r"), nous avons simulé des entrées de nappe à débits et températures variables.

Bien entendu, les courbes obtenues sont des droites. Cependant, les résultats que nous tirons de ces droites nous permettent d'apprécier les limites théoriques de détection des eaux parasites pour différentes situations.

Nous donnons en annexe [VII] quelques courbes caractéristiques et les résultats théoriques obtenus pour différents seuils de détection.

IV - Interprétations des mesures in-situ

IV.1. Comptage de branchements de "particuliers"

Mises à part les éventuelles entrées franches d'eaux de nappe dans les réseaux de moins de 1000 habitants raccordés, l'interprétation des résultats des différentes auscultations de réseau doit tenir compte :

- du faible débit d'eaux usées drainé dans le réseau, donc de la faible hauteur d'eau. Pour des hauteurs d'eau inférieures à 6 cm, et en raison des dépôts dans les tuyaux, nous ne pouvons pas garantir une immersion permanente et complète du capteur. Les résultats des inspections peuvent comporter des points aigus de température traduisant des mesures de température hors d'eau ;

- de la fluctuation des débits due aux "pointes" de rejets. En effet, les réseaux de communes rurales sont courts et les rejets de "quartiers" (environ 15 maisons) sont des pointes comprises entre les pointes extrêmes.

Nous pouvons obtenir, suivant les points d'auscultation, des vagues de rejets thermiques assez importantes résultant de rejets de machines à laver, de bains, etc.

D'une manière générale, certaines auscultations de réseaux peuvent avoir pour objectif un repérage des branchements de "particuliers". Les résultats ne peuvent être garantis que si :

- les habitations rejettent des eaux usées lors du passage de la sonde. Plusieurs inspections du tronçon peuvent être nécessaires avant l'établissement d'un diagnostic final;
- nous tenons compte d'éventuelles vagues thermiques pouvant être détectées lors des inspections. Plusieurs essais peuvent être nécessaires pour éclaircir les résultats.

REMARQUE : exceptionnellement, des points de température peuvent apparaître à la suite de certaines auscultations. Ces résultats sont toujours expliqués par les régimes d'écoulement fortement "non permanent".

IV.2. Détection des eaux parasites

IV.2.1. Bilan de fonctionnement du réseau : inspection à poste fixe

IV.2.1.1. Hypothèses et définition

Dans le traitement des eaux usées, le débit diurne sert souvent pour le dimensionnement des ouvrages d'épuration. Ce débit traduit le passage à la station de 90% du flux de pollution en 16 heures. En fonction de l'importance de l'agglomération, ce temps de passage peut être réduit à 14 heures seulement.

En dehors de ces "14 heures de vie" du réseau, il est courant de déduire à partir du débit drainé dans le réseau, la proportion des eaux parasites captées par le réseau.

Une approche serait de suivre la température des eaux du réseau sur de longues périodes à différents "points sensibles" et d'établir ensuite un diagnostic de fonctionnement du réseau en fonction de l'amplitude de variation des températures.

IV.2.1.2. Résultats des inspections

Le suivi de la température en poste fixe a été effectué à la station de mesure des débits par ultrasons, située à Villemoisson (Orge). La conception de cette station de mesure de débit fait l'objet de la thèse de Mr. BOURGEOIS à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Les mesures de température obtenues sur les deux périodes de 48 heures et la période de 36 heures sont très intéressantes et suivent parfaitement les variations de débits mesurés à la station (annexe IX).

En raison de l'importance des débits transités (environ 300 l/s) et de la position de la station par rapport aux points de rejets, les réponses en température de la sonde sont de 0,1°C pour des variations de débits de 12 l/s. Toutefois, nous constatons une stabilité de la température sur des périodes continues de plus de 3 heures.

IV.2.1.3. Analyses des résultats

Moyennant certaines hypothèses simplificatrices justifiées par la stabilité en température des eaux de nappe et des rejets et par les débits d'infiltration supposés constants, le volume des eaux parasites peut être approximativement approché.

Ces calculs ne sont pas développés dans cette thèse. Néanmoins, les résultats obtenus pour cette application sont consignés dans la thèse de Mr. BOURGEOIS et donnent un débit d'eaux parasites de 120 l/s pour un total transité à la station de 320 l/s.

Cette application n'est justifiée que si l'on dispose en outre, dans un environnement proche du poste d'inspection, d'installations fixes de mesure continue du débit.

REMARQUE

Durant la deuxième campagne de mesures, s'est produit un orage. L'apport en "eau parasite" (pluviale) résultant est de 90 l/s alors que la température est restée constante. L'orage a eu lieu vers 6 heures du matin.

Cette stabilité de la température peut s'expliquer par la "fraicheur" des eaux de pluie. Nous remarquons cependant que la réponse en température des "rejets matinaux" est légèrement décalée dans le temps (Annexe IX). Pour un orage plus important, il est probable que la courbe de température résultante serait moins caractéristique des rejets urbains ; ces rejets seraient "noyés" par les eaux parasites.

IV.2.2. Recherche des eaux parasites

A partir des résultats obtenus lors des différentes auscultations, deux notions sont ressorties :

- la notion d'infiltration
- la notion de drainage.

Ces deux notions ont été vérifiées par le modèle développé précédemment. Les résultats obtenus sont fournis en annexe [VI].

Le critère fondamental distinguant ces deux notions est la longueur de mélange ou la zone d'influence du rejet.

- les zones d'influence de "faibles portées" (inférieures à 5 m) sont créées par des entrées d'eau parasites à débits moyens. Ces entrées sont appelées infiltrations et sont dues à des fissures de canalisation, etc. (annexe VI).

- Au delà de 5 m, nous faisons appel à la notion de drainage. Les entrées d'eaux parasites à forts débits posent très souvent des problèmes graves. Le fonctionnement du réseau est alors perturbé (Annexe VI).

REMARQUE

La plupart des entrées d'eaux parasites repérées lors des auscultations des réseaux sont importantes : l'interprétation des résultats est alors facile et catégorique.

Théoriquement, la détection des entrées d'eaux parasites a lieu systématiquement en aval du point de rejet. En réalité, sous certaines conditions de rejet et en présence de singularité dans le réseau, le régime de turbulence engendré favorise alors le mélange des eaux.

V - Conclusion

L'approche mathématique du phénomène des entrées d'eaux parasites par un modèle tridimensionnel de diffusion turbulente est correcte et décrit bien les phénomènes jusque là appréhendés par les mesures in-situ.

Les limites théoriques de détection des eaux parasites estimées par le modèle sont vraisemblables. Les différents essais effectués en région parisienne ont montré que les informations tirées des auscultations et des inspections de réseaux sont très intéressantes.

La stabilité de la température peut être garantie sur des biefs relativement longs, pour des régimes d'écoulement permanents. Ces régimes sont obtenus en aval d'agglomérations comptant plus de 1000 habitants raccordés au réseau.

Pour de petites communes ou zones à faibles densités de population raccordées au réseau, l'interprétation des résultats doit être plus critique et dans certains cas, des essais supplémentaires sont nécessaires pour éclaircir les éventuels doutes exprimés.

QUATRIEME PARTIE

Auscultation des réseaux :
Approche systémique des eaux parasites

Avant-Propos

Les diagnostics des auscultations de réseaux effectuées avec l'Ichtyotherme sont établis en fonction de données générales sur la zone d'inspection, notamment la variabilité du niveau de la nappe phréatique sous-jacente.

Par conséquent, il est important de connaître les limites du système "réseaux d'assainissement - eaux parasites" et de se fixer ensuite les écarts significatifs de température ou de conductivité permettant d'interpréter son fonctionnement. Dans notre cas, le système "réseau d'assainissement - eau parasite" doit tenir compte du milieu récepteur, de la nappe, des industries, etc... (figure 6).

Dans cette partie, nous nous intéressons aux échanges extérieurs vers l'intérieur du réseau. Nous utilisons alors les notions d'infiltrations, de captage, d'intrusion et de rejets d'eaux claires.

Nous recommandons vivement aux futurs utilisateurs de collecter, dans la mesure du possible, des renseignements généraux sur les ouvrages qu'ils vont ausculter : cette quatrième partie fournit quelques exemples de renseignements susceptibles d'orienter l'interprétation des résultats.

I - Définition du système et choix des caractéristiques

C'est en terme de relations entre les différents éléments du système que nous abordons l'auscultation des réseaux. Dans notre cas, le système est constitué du réseau et des différents éléments en relation avec celui-ci (nappe).

Les figures 6 et 7 définissent le système et énumèrent les échanges qui sont étudiés dans cette thèse. Différentes variables pouvant influencer sur les mesures sont répertoriées.

Ces relations ou échanges sont "évalués" à partir des mesures de température et de conductivité. Quelques données de température et de conductivité sont tirées de la littérature pour apprécier les limites de variations des mesures.

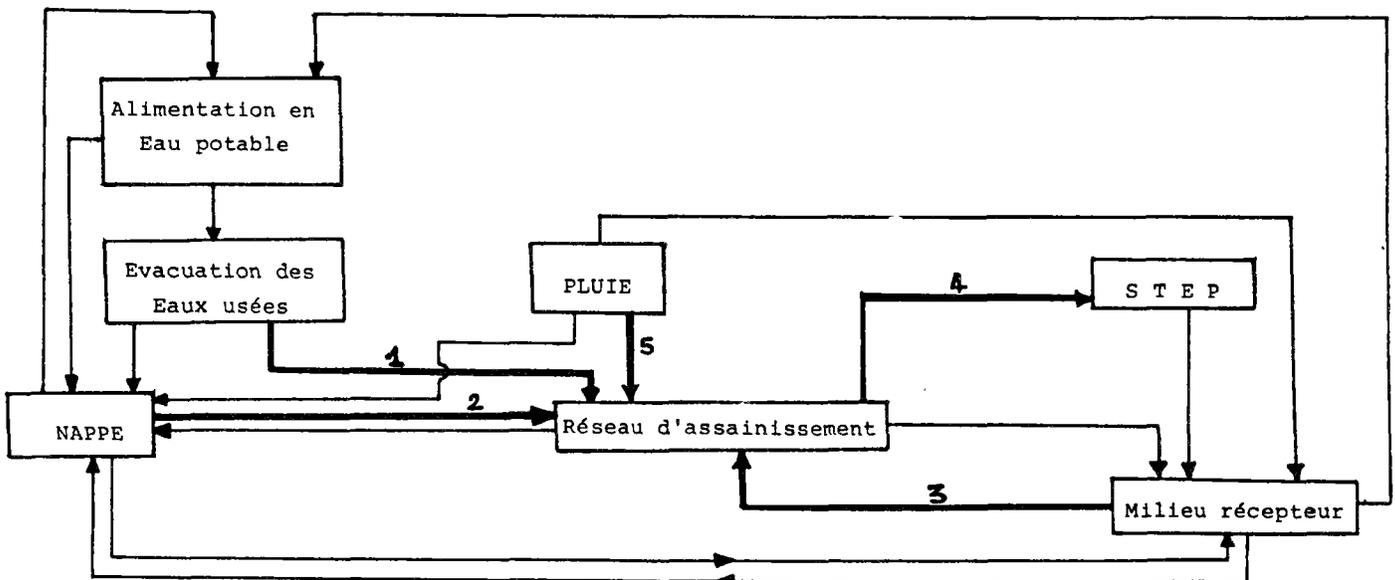
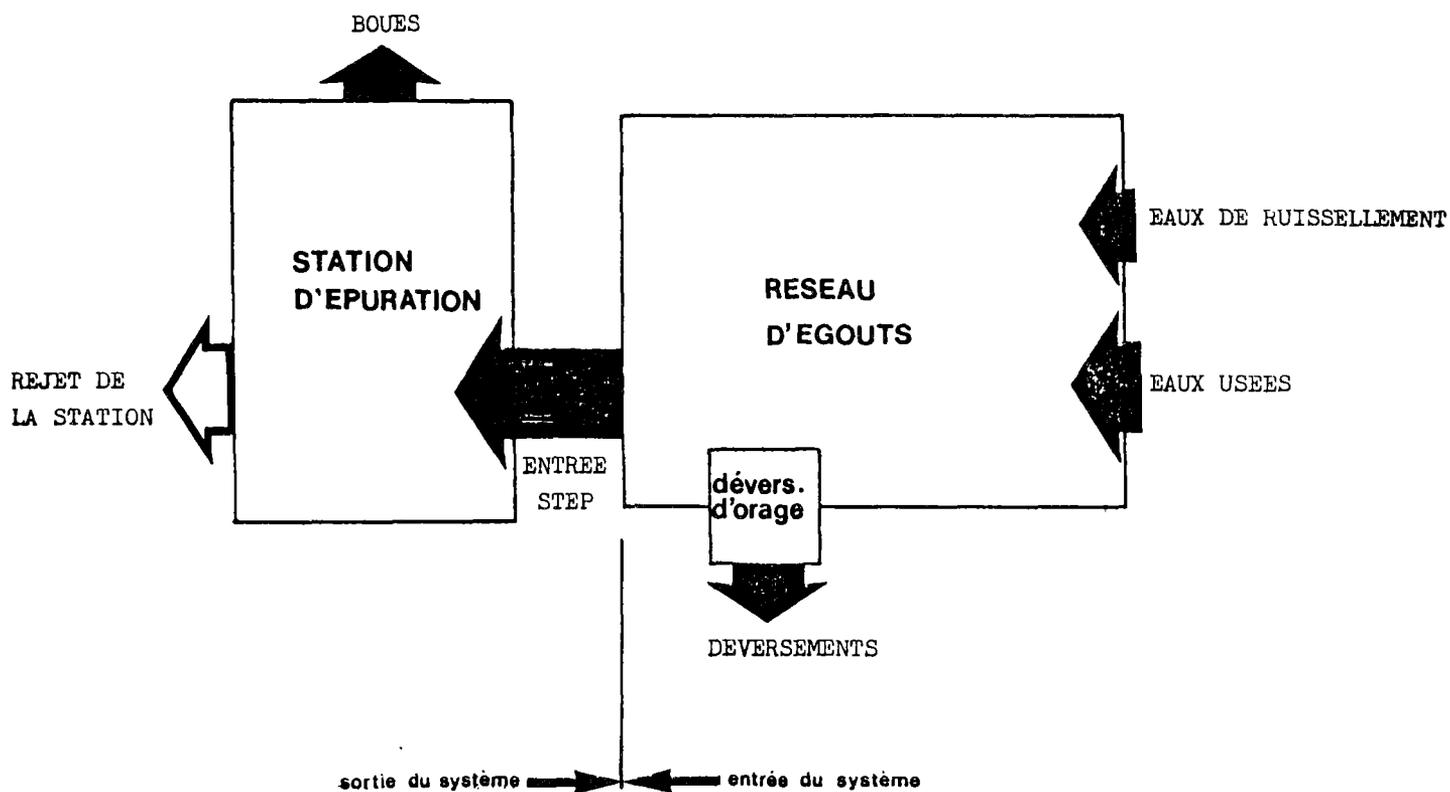


Fig.6 - Approche systémique des eaux parasites

(seuls les échanges numérotés dans fig.1 sont étudiés dans cette recherche)

Fig 7. Modèle de flux du système d'assainissement



Tiré de (70)

II - Les ouvrages

Dans un premier stade, seuls les réseaux séparatifs ont fait l'objet de nos investigations. Ces réseaux de faibles capacités disposent d'équipements leur permettant un meilleur fonctionnement. Nous citerons principalement les postes de relèvement et de refoulement, les bacs de dessalement, les chasses d'eau automatiques.

Certains de ces équipements peuvent être des moyens de contrôle du fonctionnement du réseau ; des zones ou secteurs à risques sont alors localisés à partir de simples contrôles visuels.

Ces réseaux et équipements sont classés dans la catégorie des variables de construction. Ces variables sont difficilement manipulables maintenant que la plupart des réseaux sont déjà posés. Nous n'analyserons pas les problèmes soulevés par ces variables mais nous devons noter que certains équipements peuvent être à l'origine d'interprétations erronées en l'absence d'une bonne connaissance des réseaux auscultés. Ainsi, un fonctionnement continu de chasses d'eau peut être interprété comme une entrée d'eau de nappe.

Les raccordements à ces réseaux sont multiples. L'origine des eaux collectées doit être établie à partir des mesures retenues. Il est donc nécessaire de récolter certains plans de réseaux et de vérifier le nombre de regards, les boîtes de branchement, etc. Des informations très précieuses peuvent apparaître au vu de ces plans.

III - Les eaux collectées - Leurs caractéristiques

Les eaux collectées dans les réseaux d'assainissement proviennent :

- . des usages domestiques
- . des fuites d'eau potable
- . des industries
- . des eaux parasites

III.1. La température

Nous concevons aisément que suivant les usages qu'on en fait, les eaux évacuées ont a priori des températures très fluctuantes. Cette variation, souvent importante, se trouve rapidement atténuée à l'entrée du réseau. Dans tous les cas, la température de ces eaux descend rarement en-dessous de 10°C et ne dépasse pas les 30°C au point du rejet. Ces rejets sont ponctuels et se situent soit aux regards de visite, soit à l'intérieur du réseau par l'intermédiaire de culottes de branchement. Dans ce dernier cas, nous parlons de regard borgne ; l'accès est souvent difficile.

La température des eaux rejetées suit fortement la température des eaux d'alimentation.

Les débits d'eaux brutes à l'entrée de la STEP ainsi que la pluviométrie sont présentés à la figure 8

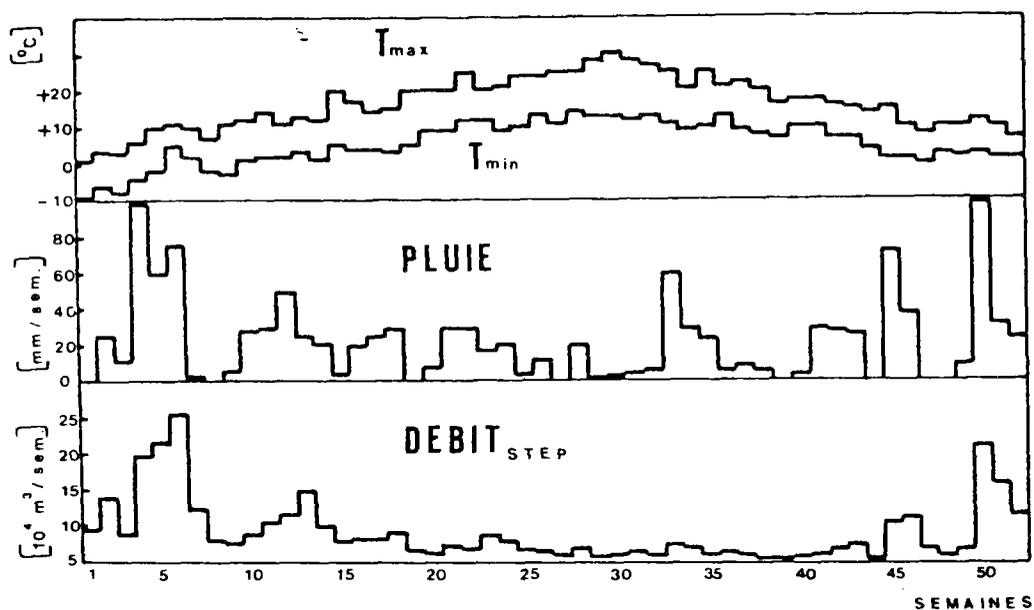


Fig.8 - Températures, pluies et débits d'entrée de la STEP en 1979 tiré de (70)
Réseau séparatif à près de 70 % (commune de Morges : canton de Vaud, Suisse)

III.2. La conductivité

La conductivité des eaux domestiques évacuées dépend fortement de celle des eaux d'alimentation. Par ailleurs, ces eaux accusent des sauts de conductivité importants en fonction des usages qu'on en fait.

En règle générale, la valeur guide du paramètre conductivité dans l'alimentation en eau potable est de $400 \mu\text{Scm}^{-1}$ à 20°C (directive CEE du 15.07.80). La moyenne des valeurs observées, sur des échantillons moyens journaliers, de la conductivité des eaux usées domestiques est de $1186 \pm 265 \mu\text{Scm}^{-1}$ [31].

Dans l'industrie, la moyenne de la conductivité des eaux doit être évaluée en fonction du type d'industrie (chimique, agroalimentaire, etc.). Il importe donc de bien connaître les différents types d'industries raccordées au réseau et d'interpréter les mesures en tenant compte de leur fonctionnement.

L'ensemble des rejets peuvent être classés dans la catégorie des variables d'exploitation. Ces variables sont facilement manipulables et doivent être maîtrisées.

Par ailleurs, nous observons que la température moyenne des eaux évacuées (figure 8) suit approximativement la température de l'air. Nous expliquons ces observations par l'influence de la climatologie sur la température des eaux des nappes et rivières, et par la réduction de certaines eaux parasites.

IV - La géotechnique et la topographie

Les réseaux d'assainissement ont une caractéristique commune : ils se trouvent dans le sol à des profondeurs variables. Les tranchées dans lesquelles ils se trouvent fonctionnent en véritables drains. En fonction de la structure des remblais, les vitesses de déplacement des eaux de la nappe se trouvent modifiées et sont à l'origine d'anomalies de terrain. En outre, une augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux de la nappe favorise les échanges thermiques.

Seuls quelques réseaux sont situés dans la nappe phréatique. C'est vers ce type de réseaux que nous dirigeons nos recherches ; les autres réseaux, en permanence hors de la nappe, sont à l'abri des drainages et infiltrations d'eaux de nappe.

Des connaissances topographiques, géologiques et hydrogéologiques sont utiles pour localiser les "zones à risques". Le niveau de la nappe n'étant pas uniforme dans tout le bassin, des cartes faisant ressortir les zones basses et les pentes naturelles du terrain contribuent à une meilleure localisation des points sensibles.

Le réseau étant constitué d'un ensemble de tuyaux de longueur constante égale à 6 m, il est sûr que chaque jonction constitue une source potentielle d'entrée d'eaux de nappe. En outre, la réalisation des branchements au fur et à mesure des besoins vient perturber cette maîtrise que l'on pourrait escompter des canalisations principales.

V - L'hydrologie et l'hydrogéologie

Ces deux systèmes constituent à eux seuls l'essentiel de l'alimentation en eau potable des agglomérations urbaines.

V.1. La nappe phréatique

Nous nous intéressons principalement aux nappes superficielles tout en essayant de connaître les domaines de variations des caractéristiques retenues.

V.1.1. La température

Des travaux réalisés par R. MICHEL, 1958 [83] soulignent la constance de la température des nappes aquifères profondes tandis que les valeurs constatées des nappes superficielles se révèlent fluctuantes. Il a été montré que les écarts les plus élevés et les plus généralisés se produisent au printemps et en automne. Cela semble indiquer que les pluies relativement chaudes de la fin de l'été et du début de l'automne et surtout la fonte des neiges au printemps ont une répercussion capable de se prolonger dans le temps.

Nous concluons donc que la température des nappes varie et ne fournit pas toujours un critère automatique de valeur à utiliser sans discernement. Il est sûr que ces variations sont faibles et dépendent de l'alimentation des nappes.

En règle générale, la valeur moyenne de la température se situe autour de 6°C en hiver pour monter à 13°C en plein été.

V.1.2. La conductivité

La conductivité des eaux de nappe dépend fortement des terrains traversés. La valeur de ce paramètre est généralement connue à l'intérieur d'un bassin versant et peut varier de 200 à 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [16]. Il convient donc de tenir compte de la valeur de ce paramètre à chaque auscultation de réseau par conductimétrie.

V.2. Les rivières

Dans beaucoup de cas, la rivière impose son niveau à la nappe.

- du point de vue thermique, les échanges rivière-nappe peuvent influencer la température de la nappe. Nous citerons les variations thermiques absolues de la température de l'eau de Seine de 15°C sur la période (mai-novembre) alors que celle de la nappe est de 6°C ; le déphasage entre les maximum de température est de un mois [83].

- La conductivité des eaux de rivières varie en fonction des différents apports ponctuels et diffus. Cette mesure, peu utilisée, peut nous renseigner sur l'"activité" de la rivière.

VI - Les industries

Les quantités d'eaux utilisées par les différentes industries sont très souvent directement rejetées dans le réseau.

Certaines valeurs de la conductivité des eaux, connues par ailleurs lors d'études antérieures, peuvent servir à déterminer le type d'industries raccordées et par là même à déduire les cycles de fonctionnement journaliers de ces industries. Dans certaines conditions, l'auscultation de réseaux par conductivité permettra de contrôler des rejets "sauvages", très difficilement repérés. Les variations de conductivité suivent approximativement les variations de la concentration de l'effluent et peuvent renseigner rapidement sur la répartition des flux polluants dans la journée.

VII - Classification des eaux parasites

VII.1. Caractéristiques des variations des débits

Nous distinguons les variations journalières, les variations hebdomadaires, les variations annuelles et celles dues aux précipitations.

Certaines variations semblent être aléatoires bien que l'on puisse, dans certains cas, expliquer la pointe du lundi par le jour de lessive traditionnel.

VII.2. Définition des mots infiltrations et captages

Le terme infiltration fait référence aux eaux parasites d'origine souterraine pénétrant dans les conduites par l'entremise de défauts au niveau des joints, des regards, etc. Les captages sont des eaux parasites canalisées en permanence ou de façon intermittente dans des réseaux, suite à diverses pratiques comme par exemple : raccordement des drains français, des drains de toits, etc. [58].

VII.3. Temps de réponse

Cette variable sert à distinguer les apports "aléatoires" dont la variabilité est directement liée aux précipitations (temps de réponse < 1 heure) des apports permanents ou pseudo-permanents ayant un temps de réponse variable.

VIII - Conclusion

Nous avons abordé l'analyse des eaux parasites à partir de deux caractéristiques : la température et la conductivité. Cette façon d'aborder l'auscultation des réseaux et la surveillance de la qualité des eaux drainées dans ces réseaux impose le recours à des équipes multidisciplinaires. Il faut ajouter que le problème doit être important et l'objectif clairement défini pour fixer des seuils de prise en considération et diagnostiquer de manière claire et précise le fonctionnement des réseaux :

- l'étanchéité absolue des réseaux existants n'étant pas possible, les américains considèrent qu'en cas d'infiltration diffuse affectant l'ensemble du réseau, et inférieure à 1500 l/j/cm de diamètre/Km de canalisation, il est plus économique de prendre en compte les eaux parasites dans le dimensionnement des ouvrages d'épuration [85]

- Il a été constaté que les apports d'eaux parasites étaient souvent 2 à 4 fois supérieurs aux débits attendus (quantités distribuées) [17], [88].

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nous avons réalisé une sonde de mesure autonome qui permet d'ausculter des réseaux d'assainissement non visitables. Cette sonde de mesure baptisée Ichtyotherme, est insérée dans une chaîne conçue pour des interventions diverses. Cet ensemble comporte :

- une sonde autonome munie de deux capteurs pour l'auscultation de réseaux par conductimétrie ou thermométrie à différentes cadences de mesure
- un microordinateur permettant de commander le démarrage de l'auscultation et l'acquisition des données ; une bibliothèque de sous-programmes est disponible à l'opérateur pour le traitement des données
- un comptage de distance donnant la position en temps réel de la sonde dans le réseau.

Cette chaîne de mesure et les méthodes de traitement ont été testées avec succès dans les réseaux séparatifs en région parisienne. Les résultats des différentes auscultations permettent de déceler :

- une stabilité de la température en poste fixe ($< 0,1^{\circ}\text{C}$) sur des périodes dépassant les 4 heures
- une stabilité de la température ($< 0,1^{\circ}\text{C}$) sur des biefs de 100 m ne recevant pas d'eau parasite et ne comportant aucun branchement
- une réponse en température à toute intrusion d'eau émanant de nappes ou de branchements.

Ces réponses, méconnues par le passé, fournissent un élément nouveau dans la connaissance des eaux usées drainées dans les réseaux d'assainissement grâce à la fiabilité des mesures.

Les phénomènes de rejets thermiques dans un écoulement stationnaire sont étudiés à l'aide d'un modèle tridimensionnel de diffusion Gaussienne. Les résultats obtenus par ce modèle concordent avec les différents types de réponses obtenus lors d'auscultations de réseaux (branchement, drainage de nappe, infiltrations). Cette approche mathématique des rejets thermiques nous a permis de simuler des entrées de nappe dans le réseau : des limites théoriques de détection de ces entrées sont ainsi calculées.

Lors des essais sur le terrain et au vu des résultats acquis, nous avons fourni quelques données indispensables pour évaluer la détection des eaux parasites, ce qui nous a permis d'appréhender le système "eau parasite - réseau d'assainissement" dans son ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - G. ASCH - Les capteurs en instrumentation industrielle -
Dunod, 1982
- 2 - J.D. BALADES - M. LIVET - J. LUCAS, J.P. PHILIPPE - J. PITOT
Matériels pour l'auscultation des réseaux d'assainissement
Bulletins de liaison des Ponts, 124, mars-avril 1983 ,
pp 65-82
- 3 - D. BALLAY - J.P. LEBREF
Caractéristiques des effluents des communes rurales
T.S.M., Juin 1974, pp 301-307
- 4 - M. BARBONNAUT - E. RIEUTORD
Contribution à l'étude de la diffusion en canal pour un régime
turbulent stationnaire
La Houille Blanche, N°1, 1970
- 5 - J. BEBIN - J.C. Jacquart
Traitement tertiaires des eaux résiduaires
Cours ENSP, 1978
- 6 - J.P. BENNETON, J. LUCAS, J. PITOT, J. RAUCHET, D. RENARD
Une forme d'auscultation des réseaux d'assainissement : la
recherche des eaux parasites
Bulletin de liaison des Ponts, n°120, Juillet-Août 1982
- 7 - P. BENOIT, E. DERANSART
Les mesures physico-chimiques dans l'industrie
Technique et Documentation, 1976
- 8 - J.M. BERGUE
Etude et Diagnostic des réseaux d'assainissement
Ville de Carenton (50)

- 9 - L.V. BERTALANFFY
Théorie générale des systèmes
Dunod, Paris 1973
- 10 - Y. BIHAN , R. BOURRIER
L'informatique pour la conception et la gestion des réseaux
d'assainissement
Le Moniteur, 22 juillet 1983, pp 55-58
- 11 - M. BIZOUARD
Appareil d'enregistrement, de conductivité et de la température
Revue Générale d'Electricité 77, 1968, pp 697-701
- 12 - P. BOUTIN, J.P. BECHAC
Le traitement des eaux usées
ENSP Rennes, 1977
- 13 - G. BREBION, CHEVEREAU
Application des modèles mathématiques de pollution
Rapport IRCHA - SOGREAH, Novembre 1971
- 14 - P. BROUZES
Précis d'Epuration biologique
Technique et Documentation, 1973
- 15 - J. BRUSCHIN, O. BELKALOUL
Rejet d'eau de refroidissement dans le Rhône à Verbois (canton
de Genève)
Revue Ingénieurs et architectes Suisses, mars 1980, pp 61-65
- 16 - Bulletin du Centre d'Hydrogéologie
Rapports N°2, 1978 et N°3, 1979, Université de Neuchatel
- 17 - G. BURBAN
Une expérience de réparation de réseau d'assainissement
Revue Génie Rural, N°12, pp 39-43

- 18 - M. CATHELAIN
Méthodes de contrôle de la pollution des eaux - Utilisation
des électrodes spécifiques
Rapport de Recherche N°57, LCPC, 1976
- 19 - CEMAGREF
Caractéristiques des Eaux résiduelles d'abattoirs
Informations Techniques, cahier 42, N°6, Juin 1981
- 20 - CEMAGREF
Les principales méthodes électroniques
Rapport CEMAGREF, 1981
- 21 - C. CHARETTE - J. HERBINEAUX
Le traitement des eaux usées à basses températures
Eau du Québec, vol 11, N°2, Avril 1978
- 22 - P. CHATWIN
The approach to normality of the concentration of a solute
in a solvent flowing along a straight pipe
J. Fluid Mechanical 43, 1981, pp 321-352
- 23 - N.P. CHERETMISINOFF
Mesures de débit des eaux usées industrielles
Eau du Québec, vol 14, N°3, août 1981
- 24 - R. CHEVRAY
Sur quelques problèmes relatifs aux transferts thermiques
en écoulements turbulents
Thèse D. D'Etat, Univ. Claude Bernard Lyon, 1979
- 25 - CHIN - LIEN - YEN
Decay of Peak Concentration in uniform flow with finite dura-
tions of Injection
I.A.H.R., 1973

- 26 - J.W. CLARK, W. VIESSMAN
Water Supply and Pollution Control
Third Edition IEP, 1978
- 27 - P.V. DE LA CLERGERIE
Etude sur la conformité des rejets à l'égoût
SLEE - RPS, 1977
- 28 - M. COANTIC
Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement turbulent dans un tube circulaire
Public. Scientif. et Techniques 1962, N°113
- 29 - J. CRANK
Conduction of Heat in Solids
Oxford Univ. Press, 1975
- 30 - G. CORRIEU - J.P. TOUZEL
Comparaison de sonde de mesure de la concentration en oxygène dissous - essais au laboratoire
TSM, Juin 1978, pp 349
- 31 - CTGREF
Caractéristiques des effluents des communes rurales
Note technique N°5, Décembre 1973
- 32 - R. DAMAYE - C. GAGNE
Alimentations électroniques - Théories et Pratique
Editions de la Radio, 1982
- 33 - J. DARTOIS
Elaboration d'un programme de caractérisation des eaux usées
Eau du Québec, vol 15, N°4, Novembre 1982, pp 417-419
- 34 - M. DESJARDINS
Les capteurs de mesure
La documentation Française, 1975

- 35 - J.C. DEUTSCH
Problématique du choix d'un réseau d'assainissement
TSM, 1979, pp 23-32
- 36 - W. DOBBINS
Diffusion and mixing
Boston Society Civil Engineers, Tome 52, N°2, 1965
- 37 - J. DUBOIS, P. LUTZ, M. COQUELET
Problèmes posés par la mesure automatique en milieu naturel
S.H.F. Nantes, Septembre 1982
- 38 - A. DU QUAY
Automatisation par ordinateurs
Thèse Montpellier, 1974
- 39 - ENPC - Formation Continue
Conception des réseaux d'assainissement - Mesures et Analyses
Mars et Décembre 1982, Paris
- 40 - ENPC - Formation continue
L'exploitation des réseaux d'assainissement
Toulouse, Juin 1982
- 41 - G. FACY - J. FONTAINE
Les automates programmables par les automatismes et les
télétransmissions
TSM, Juillet 1982, pp 359-368
- 42 - Y. FAES
Commande de processus industriels par calculateurs
Editions Massous, 1982
- 43 - Hugo B. FISCHER, E. JOHN
Mixing in Inland and Coastal Waters
Academic Press 1979

- 44 - E. FISCHER - C.W. JENSEN
PET and the IEEE 488 Bus [GPIB]
Osborne, Berkeley, 1980
- 45 - J.C. GLASCARD
Définition et détermination de la salinité de l'eau de mer.
Présentation de la Bathysonde
Thèse 3ème cycle, Fac. des Sciences Paris, 1969
- 46 - E. GLEASON GARCIA
Modélisation d'une STEP biologique des eaux à l'oxygène
Thèse D.I., Institut Polytechnique Grenoble 1978
- 47 - J. HARRINGTON
Application de l'analyse des systèmes en génie écologique
M.I.T., 1968
- 48 - J.C. HEMAIN
Etude bibliographique des modèles de qualité des eaux
drainées par les réseaux d'assainissement urbains
L.H.M., Montpellier 1979
- 49 - Hewlett PAC KARD
Programmation du HP85 - Interface GPIO
Documents HP, 1981
- 50 - M. HUG
Mécanique des fluides appliquée
Eyrolles Paris 1975
- 51 - E. JACQUET-LAGREZE
Description d'un processus de décision - Extension d'une
STEP, LAMSADE, N°21, octobre 1978
- 52 - J.C. JAEGER - H.S. CARSLAW
Conduction of Heat in Solids
Oxford Univ. Press, 1959

- 53 - Ph. JAVET - W. CAPREZ
Phénomènes de transfert
E.P.F.L. - 1980
- 54 - P.H. JOHN - F.A. JOHNSON - P. SUTCLIFFE
A conductivity flow meter
Journal Hydraulic Research, 14, 1, 1976, pp 37-44
- 55 - P. KOCH
Les réseaux d'égouts - Données d'établissement et de calcul
Dunod 1967, Paris
- 56 - M.L. LAMELOISE
Mise au point d'un appareil de mesure de la distribution
des temps de séjour dans des réacteurs de génie agro-
alimentaire
Thèse D.I., E.N.S. Mines Paris, 1982
- 57 - M. LECLERC
L'épuration des eaux usées
Revue Génie Rural, Novembre-Décembre 1977, pp 47-50
- 58 - R. LECLERC
Evaluation, Rehabilitation et Construction des réseaux
d'égouts
AQTE, 2ème colloque drainage urbain, Mars 1979
- 59 - E. LEDOUX
Evolution de la température de l'eau dans un puits au cours
d'un pompage d'essais
E.N.S. Mines Paris 1973, 12 p.
- 60 - H. LILEN
Du microprocesseur au microordinateur
Editions Radio, 1976
- 61 - H. LILEN
Interfaces pour microprocesseurs et microordinateurs
Editions Radio, 1981

- 62 - C. LOURGEAU - B. ESPIAU
Les automates programmables industriels
Dunod Bordas 1979
- 63 - J.C. LUGOL
Couplage d'un ordinateur en temps réel à un ensemble expérimental de détection
Thèse D.I., 1967, N°53
- 64 - M. MAES
Les stations d'épuration : comment les faire marcher ?
L'Industrie du Pétrole Juin 1974 - N°451, pp 15-25
- 65 - M. MAES
Consignes d'Exploitation des stations d'Epuration des eaux usées : traitements biologiques
APAVE, N°186, Avril-Mai-Juin 1974, pp 79-94
- 66 - C.J. MAESTRE
A propos de la notion de réseau
Publications LAMSADE, 1979
- 67 - F. MAHIEUX
INNOVATION et Marketing
Revue française de Gestion, novembre-décembre 1976
- 68 - F. MAHIEUX
Le "système" de l'innovation
Revue d'Economie politique n°3, mai-juin 1975
- 69 - G. MATORE
Cours élémentaire d'électronique
Editions Radio, 1978
- 70 - Y.L. MAYSTRE
Théorie de l'Epuration des eaux
E.P.F.L. - I.G.E., 1976

- 71 - J.P. MEINADIER
Structure et Fonctionnement des ordinateurs
Larousse, 1971
- 72 - W.D. MEREDITH
Minimising automatic control problems on waste water treatment plants
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, pp 115-120, 1980
- 73 - G. MILAZZO
Electrochimie - Bases théoriques - Applications analytiques
Tome 1, Dunod Paris 1969, 426 p
- 74 - A. MUSY
Contribution à l'étude par simulation des écoulements souterrains en milieu poreux
Thèse EPFL, 1974
- 75 - National Semiconductor
Ram I/O - Document NS, 1977
- 76 - A. NIETO - F. PAUL
Mesure des températures
Editions Radio Paris - 1975
- 77 - V. NOVOTNY - PA. KRENKEL
Simplified mathematical model of temperature changes in rivers
JWPCF vol 45, N°2, February 1973, pp 240-248
- 78 - H. NUSSBAUMER
Conduite de processus
EPFL - Octobre 1981
- 79 - G. OLSSON
Automatic control in waste water treatment plant
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, 1980, pp 121-130

- 80 - A. OSBORNE
Initiation aux microordinateurs Niveau 2
Editions Radio, 1980
- 81 - R. PEREZ
Contribution à l'étude de la diffusion saline en régime
turbulent en canal
Application à la mesure des débits
Bulletin de Centre de Recherches et d'Essais de Châtou,
Mars 1963
- 82 - J. PERRIERES
Les pollutions industrielles et les eaux parasites en réseau
d'assainissement
Journée ACIM - 13 janvier 1982
- 83 - J. PETERLONGO
Les températures des Sources en Puy-de-Dome et dans la
Creuse
Annales Fac. Sciences Clermont-Ferrand N°26, pp 181-191
- 84 - B. PETUSSEAU
La recirculation des boues activées dans un système biolo-
gique
La Technique de l'Eau N°435/436, mars-avril 1983
- 85 - J. PICARD - J.P. RIDEAU
Pathologie et réhabilitation des réseaux d'assainissement
TSM Juillet 1982
- 86 - M. PIERMONT
Mesures numériques - Principes - Pratique - Réalisations
Editions Radio 1976
- 87 - A. PIOT
Nature et origine des défaillances des réseaux d'assainissement
TSM, N°7, juillet 1982

- 88 - M. POMMERON
Etude du réseau d'assainissement de la Ville de Pithiviers
(Loiret)
AFBSN, 1981
- 89 - A. PORCHET
Problèmes d'exploitation et d'entretien d'un réseau d'eaux
usées
Vevey - Montreux, Suisse 1979
- 90 - F. PRUVOT
Automates programmables et systèmes hiérarchisés
Tafung der SGA - INELTEC - 1977, Bâle
- 91 - F. PRUVOT
Introduction aux automates industriels
EPFL 1982
- 92 - J.G. RICHARD
Etude des profils de température dans un écoulement turbu-
lent établi dans un tube cylindrique
EDF, 1, (2), 1972
- 93 - M. ROBIN - Th. MAURIN
Interfaçage des microprocesseurs
DUNOD 1979
- 94 - J.C. ROCHAT
Mathématiques pour la gestion de l'environnement
Birkhäuser, 1980, Suisse
- 95 - E. ROCHE
Dimensionnement des réseaux d'assainissement
ENITRTS, 1977
- 96 - M.A.SAAD
Thermodynamics for Engineers
Prentice-Hall, London 1966

- 97 - G. SAULUN - PENQUER
Etude théorique et expérimentale de la diffusion d'un rejet continu au sein d'un écoulement turbulent s'effectuant dans un canal hydraulique ouvert
Thèse univ. Aix-Marseille, 1976
- 98 - B. SAMSON
La gestion efficiente des eaux passe par la réduction des débits
Eau du Québec vol 14, N°4, novembre 1981, pp 353-358
- 99 - J. SANQUER
Encombrement hydraulique des ouvrages - Difficultés de transport en assainissement collectif
L'eau et l'Industrie N°38, Oct. 1979, pp 81-83
- 100 - L. TACCOEN
Contribution à l'Etude de la diffusion turbulente de la chaleur dans un tube cylindrique circulaire lisse
EDF, série A, N°3, 1967, pp 5-96
- 101 - Techniques de l'Ingénieur
Série Mesures et Contrôle
- 102 - T.S.M.
Recommandations pour l'élaboration des projets de STEP de petites et moyennes collectivités publiques
TSM, juin 1970, pp 257-265
- 103 - M. TISSIER
L'Assainissement en France : bilan et critique
Sciences et Techniques N°95, Juin-Juillet 1983
- 104 - J.M. VERRETTE
Comparaison des effets de diffusion superficielle sur modèle réduit et dans le fleuve St-Laurent
I.A.H.R., 1973

- 105 - A. VICQ - C. VIGNOLLES - J.L. HELARY
Problèmes divers d'exploitation des réseaux d'assainissement
S.H.F. Nantes - Septembre 1982
- 106 - P. WOLKART
Calcul hydraulique de canalisations en pente partiellement remplies
Gas WASSER ABWASSER Suisse 1978, N°11, pp 658-667
- 107 - J.F. SACADURA
Initiation aux transferts thermiques
Techniques et Documentation - Paris 1978
- 108 - J. NORMAN - MC CORMICK
Rehability and Risk Analysis
Academic Press - 1981

ANNEXES

LE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

DES MACHINES

● Le « mouchard » des égouts

CONTRAIREMENT à ce qu'on pourrait croire, les eaux d'égout sont d'autant plus faciles à traiter qu'elles sont plus « sales ». Plus les eaux usées sont concentrées, mieux les stations d'épuration peuvent opérer. Il est donc important que les réseaux d'assainissement soient étanches, non seulement pour éviter la dispersion d'effluents polluants dans le sol, mais surtout pour empêcher l'infiltration d'eaux parasites dans les canalisations, ce qui entraîne une surcharge en débit pour les stations d'épuration.

Or les conduites d'égout, généralement placées à 2 mètres de profondeur, traversent souvent des nappes phréatiques. A la moindre fissure ou craquelure, cette nappe s'infiltré dans le réseau d'assainissement, chargeant inutilement en eau « propre » des canalisations réservées aux eaux usées. Mais comment déceler ces fuites lorsque l'égout n'est pas visitable (impraticable à l'homme) ? La technique la plus couramment utilisée reste l'exploration des conduites par une caméra de télévision montée sur un petit chariot électrique. Mais cela suppose plusieurs opérations préalables : bouchage ou dérivation de la conduite, curage de l'égout, etc. L'ensemble des travaux préparatoires et l'exploration elle-même prennent du temps et coûtent cher. Et cette technique ne permet pas toujours de repérer les « petites » fuites, qui passent inaperçues à l'écran.

Des ingénieurs d'une société filiale de la Lyonnaise des Eaux (1) ont résolu le problème, grâce à un appareil baptisé pompeusement *ichtyotherme* (le poisson thermique), très simple dans son principe : il s'agit d'un thermomètre

enregistreur qui note très précisément les variations de température dans les eaux d'égout où on le plonge. On s'est aperçu que, dans un réseau d'assainissement enterré, les eaux usées ont une température à peu près constante, pour une section de conduite donnée. Si donc l'on peut enregistrer des variations de température en déplaçant le thermomètre le long de la conduite, c'est qu'il y a infiltration d'eau de nappe (plus froide) ou branchement sur le réseau de tout-à-l'égout (eaux plus chaudes).

L'*ichtyotherme* se présente sous la forme d'un obus de 40 cm de long en acier inoxydable, qui contient une mémoire électronique capable d'enregistrer deux cent cinquante-six valeurs de température avec une résolution supérieure au dixième de degré. L'obus est muni d'un bras articulé au bout duquel se trouve le thermomètre, soutenu par un flotteur. Le tout est tracté dans la conduite par un câble, actionné à la main à l'aide d'un treuil muni d'un compte-tours. Pas de chariot, pas de projecteurs, pas de câbles électriques. Le « mouchard » à fuites fonctionne sur batterie autonome. Il ne restitue les mesures qu'il a enregistrées qu'après sa remontée de l'égout, lorsqu'on le branche sur un ordinateur. Grâce à cet ingénieur bricoleur, l'exploration d'une conduite coûte deux à trois fois moins cher qu'avec une caméra de télévision, et sans gêner le fonctionnement du réseau.

ROGER CANS.

(1) Latérim S.A., 7, chemin du Halage, 78290, Croissy-sur-Seine. Tél. : (3) 976-61-58.

ANNEXE I BIS

Caractéristiques techniques de l'Ichtyotherme

APPAREIL : SONDE THERMOMETRIQUE D'AUSCULTATION DE RESEAU

SONDE

Encombrement	diamètre	101 mm
	longueur - conteneur seul	42 cm
	- conteneur+tige	80 cm
Réseau inspecté	diamètre minimum canalisation	200 mm
	diamètre minimum regard	500 mm
Capteur	gamme de mesure	-25 à 100°C
	résolution	0,1°C
	temps de réponse	4 s
Module électronique	3 gammes programmables	0 - 20°C
	par calculateur	15 - 35°C
		30 - 55°C
	Résolution	0,1°C
	Précision absolue	< 0.5°C
	Capacité de stockage	256 mesures
	Cadence de mesure programmable	4,8,16,32,64,
	par switch	128, 256 et 512 s.
	autonomie : plusieurs jours (accus rechargeables), (supérieure à la saturation de la capacité sur la cadence maximale de 512 s).	

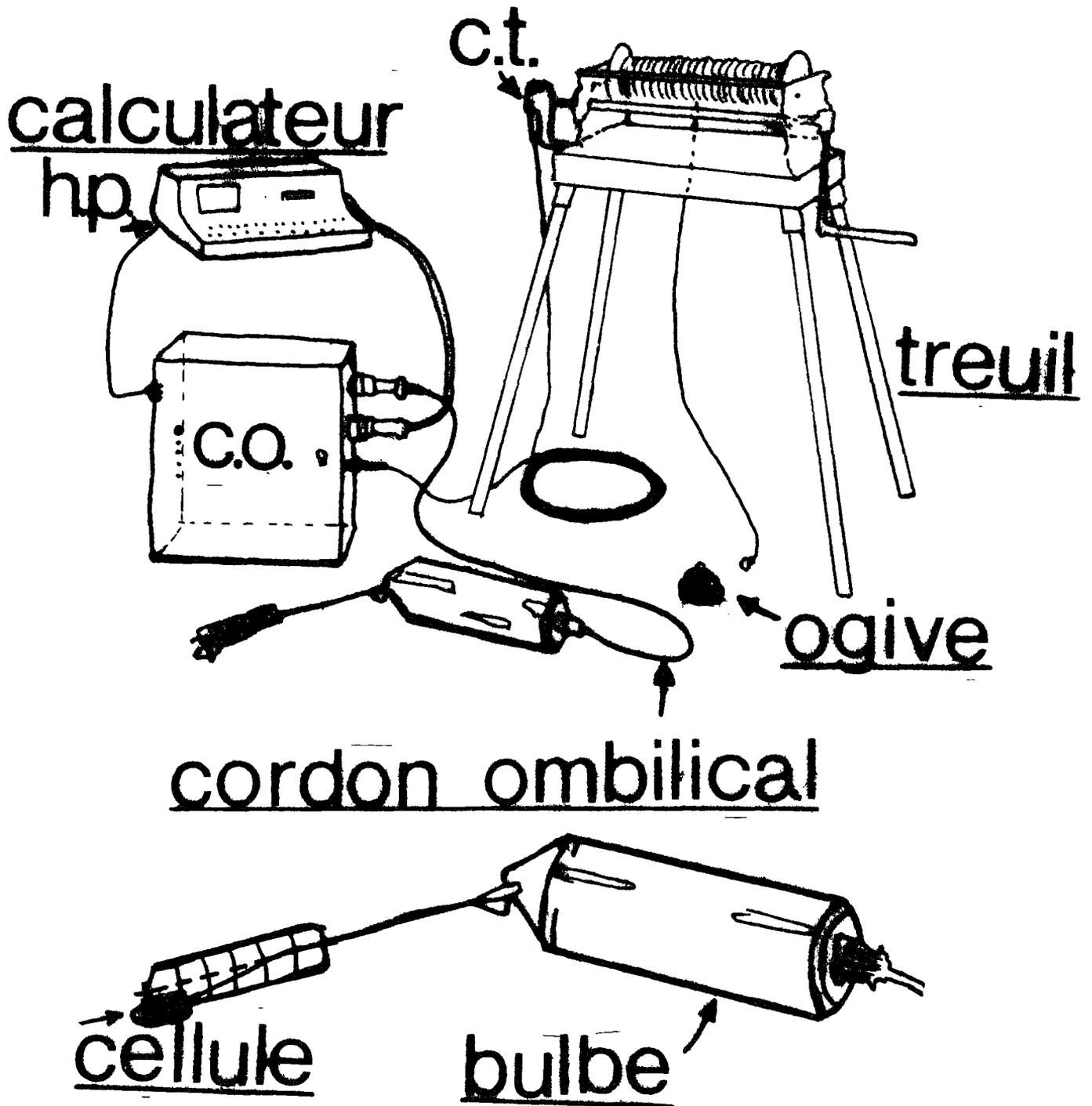
CALCULATEUR

16 Koctets RAM
Ecran graphique
Imprimante graphique
Archivage des données sur cassettes
Autonomie sur onduleur 120 VA de 3 heures
Langage de programmation : BASIC
Commandes par touche de fonction
Sorties graphiques $\left\{ \begin{array}{l} T = \bar{f} \text{ (tps)} \\ T = \bar{f} \text{ (L)} \end{array} \right.$

COMPTAGE DISTANCE

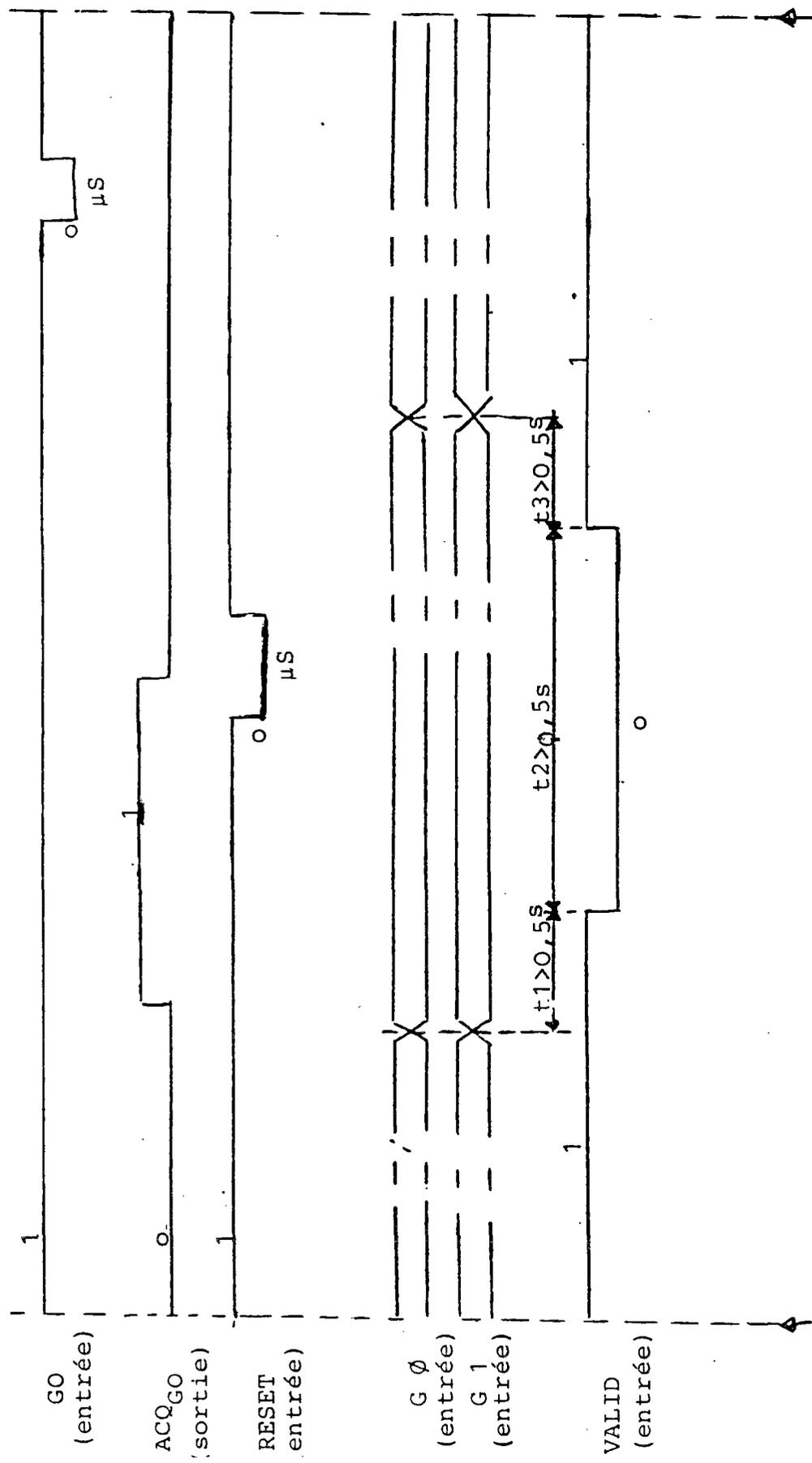
Générateur d'impulsion sur treuil
Liaison par câble jusqu'à 300 m
Top par interrupteur
Suivi en temps réel de la position de la sonde

CHAINE DE MESURE: L'ICHTYO-THERME



ET DE SELECTION DE GAMME

ANNEXE II



branchement du connecteur

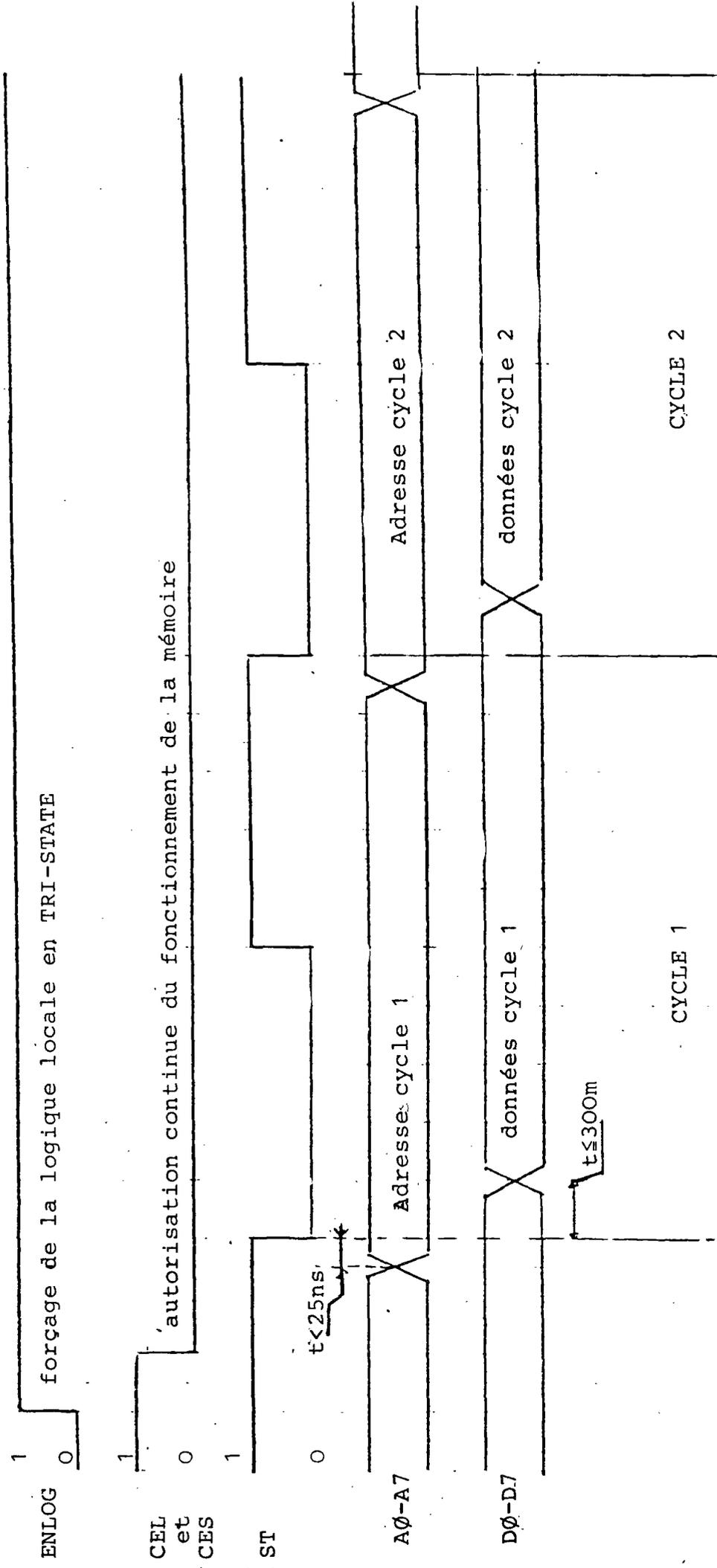
Documents CR2M

débranchement du connecteur

toutes les sorties doivent être en "TRI-STATE" (RAM I/O programmée en entrées)

mêmes conditions que pour le branchement

POISSON THERMOMETRIQUE : LOGIQUE DE LECTURE



Auscultation de réseaux (Version 1)

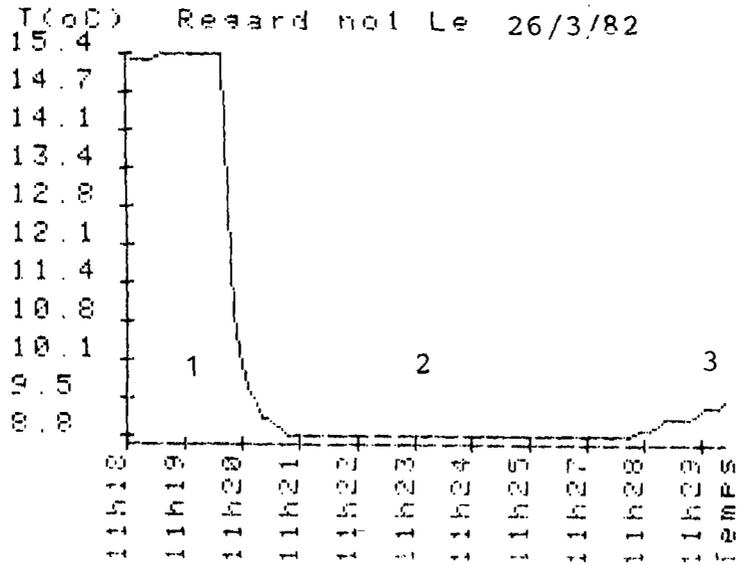


Fig.1 - Mogneville (60), Ø400, h = 300 mm
Réseau à 2m de la rivière

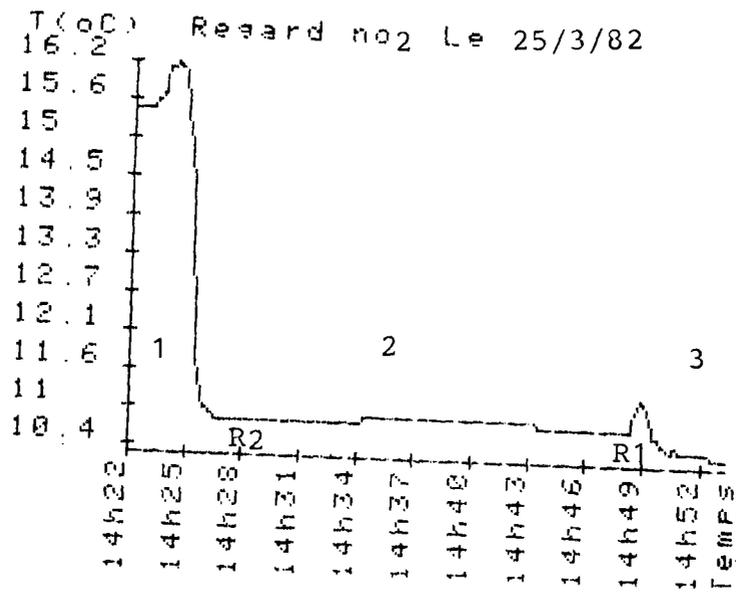
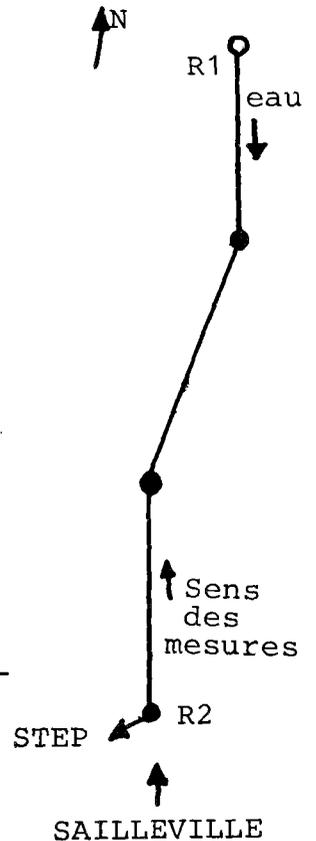


Fig.2 - Liancourt (60), Entrée de la STEP

- Ecoulement à surface libre, 125m inspectés
Ø 400, h = 30 cm
- Pas de branchements, situé à 80m d'un ruisseau - température stable : 10,9°C



Auscultation de réseaux (version 1)

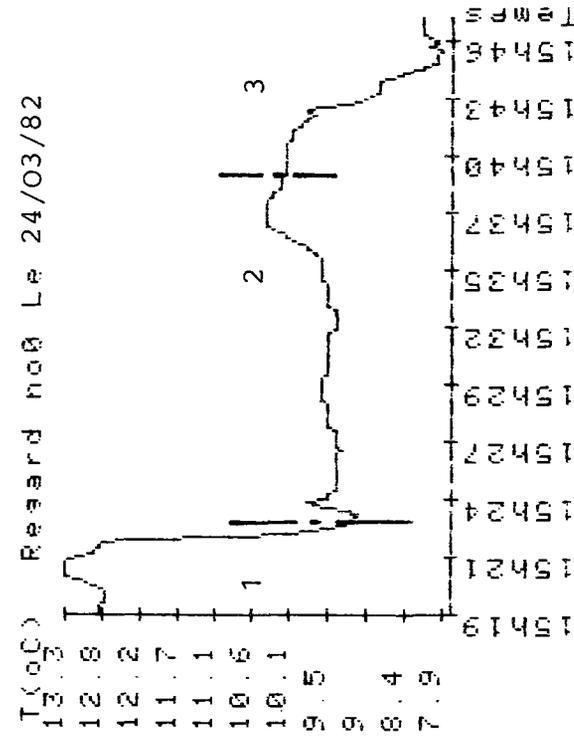


Fig.1 - Villers St.Paul, rue du Marais (60)
 En charge, 40m inspecté R3-R5
 Entrée d'eau froide (4°C de 3°C).
 débordement rivière au niveau de R4
 1 = air, 2 = eau, 3 = air

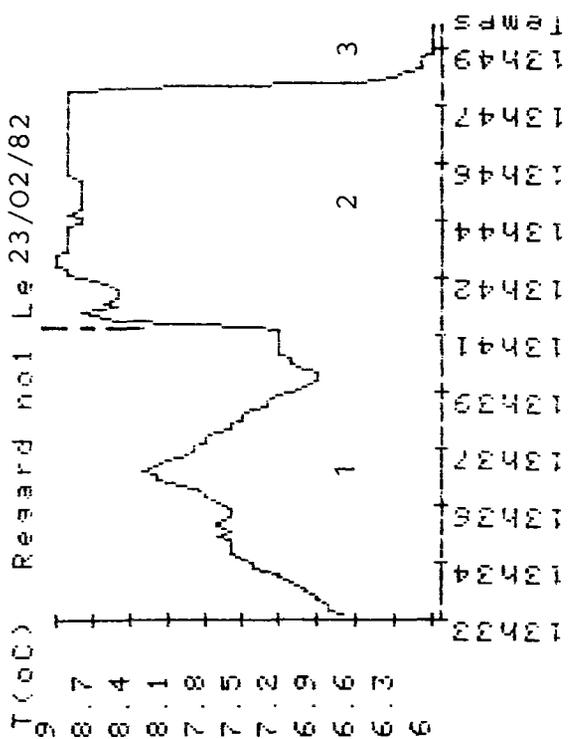
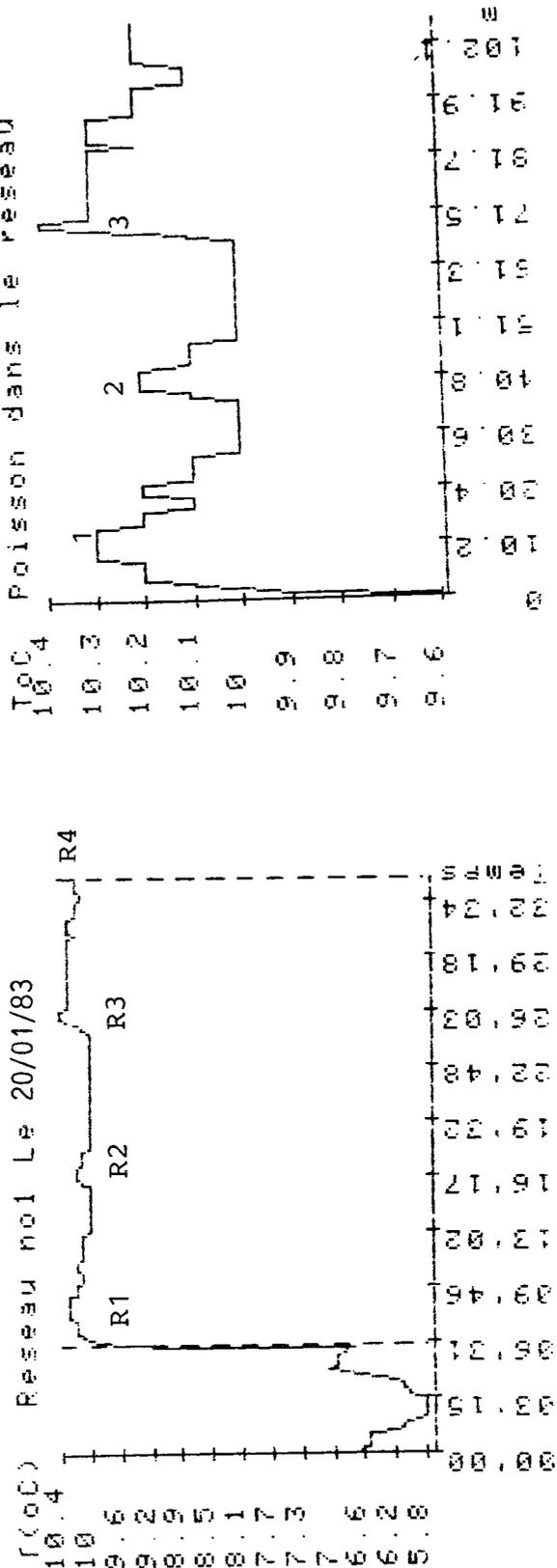
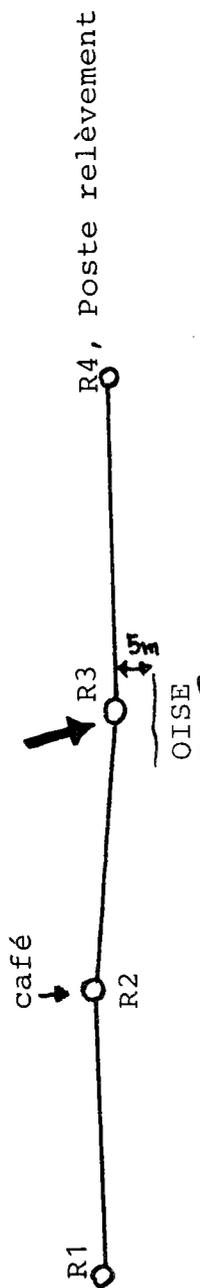


Fig.2 - Ville de Méru, rue Mimault (60)
 Ø200, 100m inspecté.
 1 = air, 2 = eau, 3 = air

Version 2 de la chaîne

Reseau No 1
 inspecté a la sonde de ToC (Dite
 POISSON THERMOMETRIQUE) le 20/01/83

ToC moyenne en °C = 10.1
 Temps d'immersion en s = 1648



Reseau No 1
inspecte a la sonde de ToC (Dite
POISSON THERMOMETRIQUE) le

ToC moyenne en OC= 9.8
Temps d'immersion en s= 1472

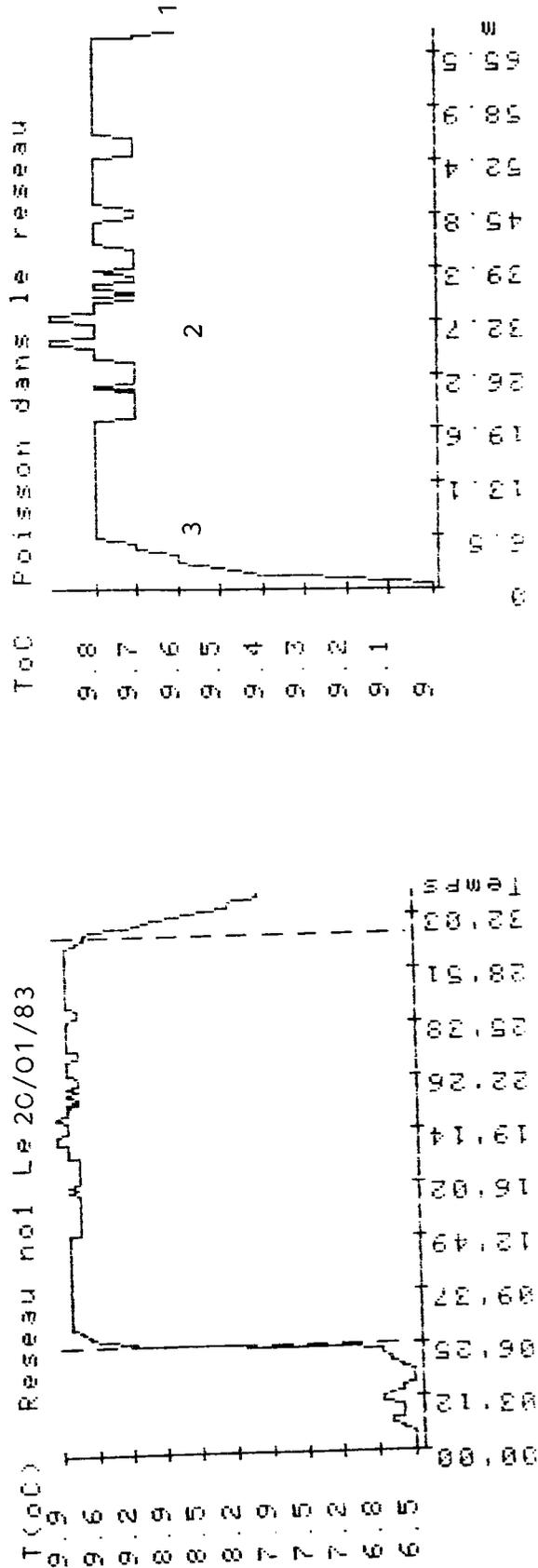


Fig.1 - Pont St.Maxence, Quai Mesnil.
réseau en charge (arrêt volontaire
pompe) - à 8m de l'Oise -
sens mesure = sens écoulement

Auscultation de réseaux (version 1)

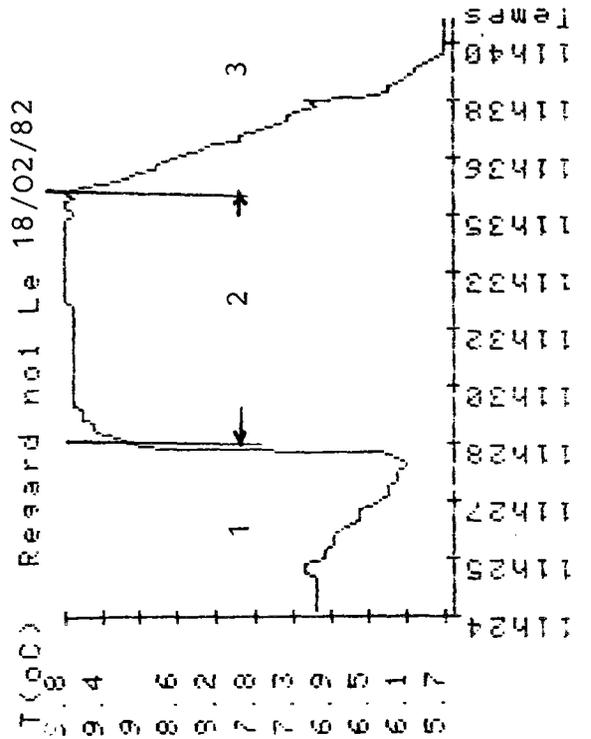


Fig.1 - Villers St. Paul R2-R3
réseau en chargé, Ø400-10m
à 80m rivière, pas de branchement
nappe haute (40cm).

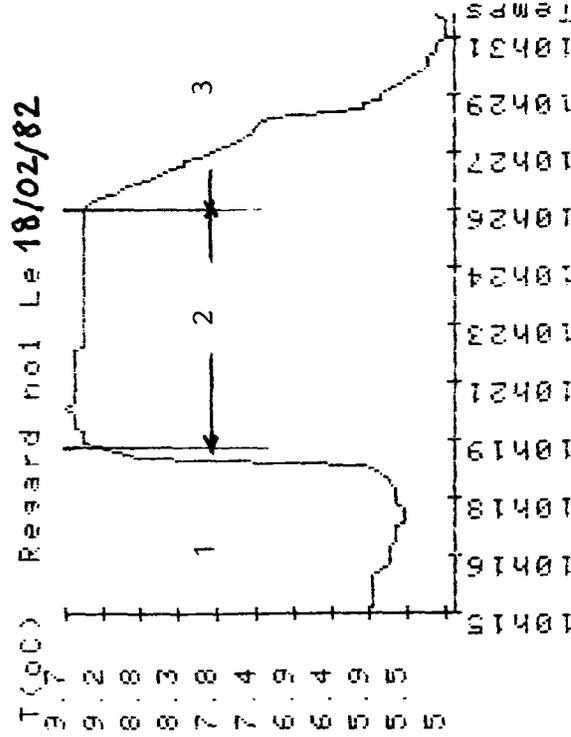
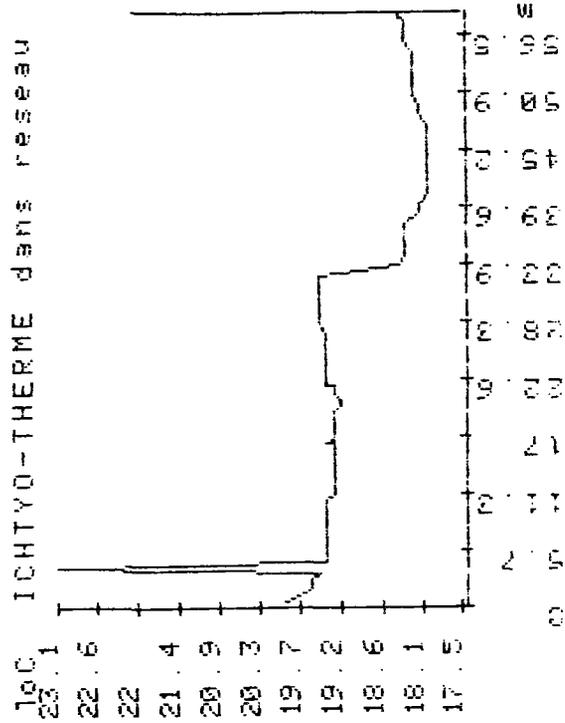
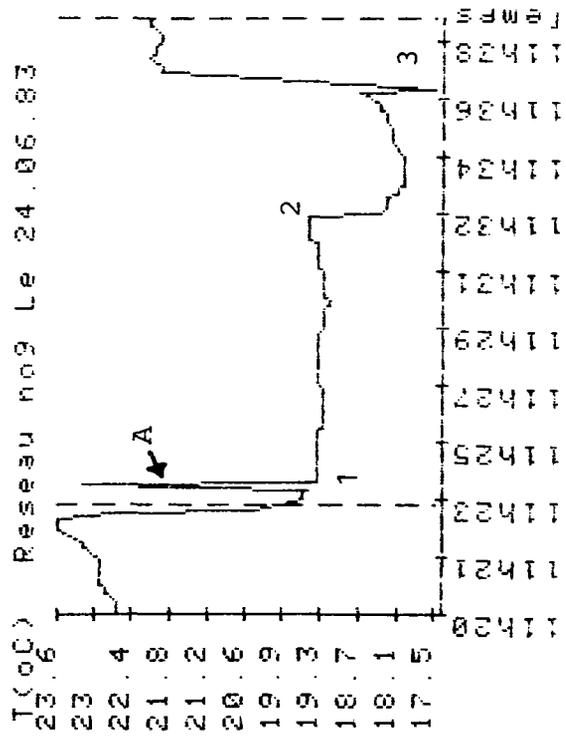
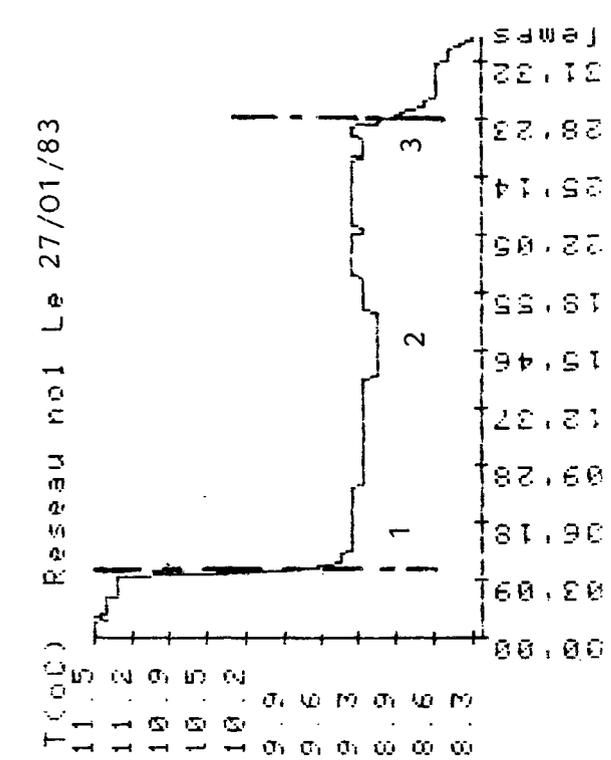


Fig.2 - Villers St. Paul R1-R2
réseau en charge, Ø400, 40m
Pas de branchement.

Auscultation d'un réseau à Creil (60)
 Rue Biondi, simulation entrée d'eau froide (au 2)
 Ø250, h = 4 cm
 branchement immeuble
 capteur hors d'eau (h = 4cm)





Auscultation Réseau à Fismes (51)
Avenue de la Gare

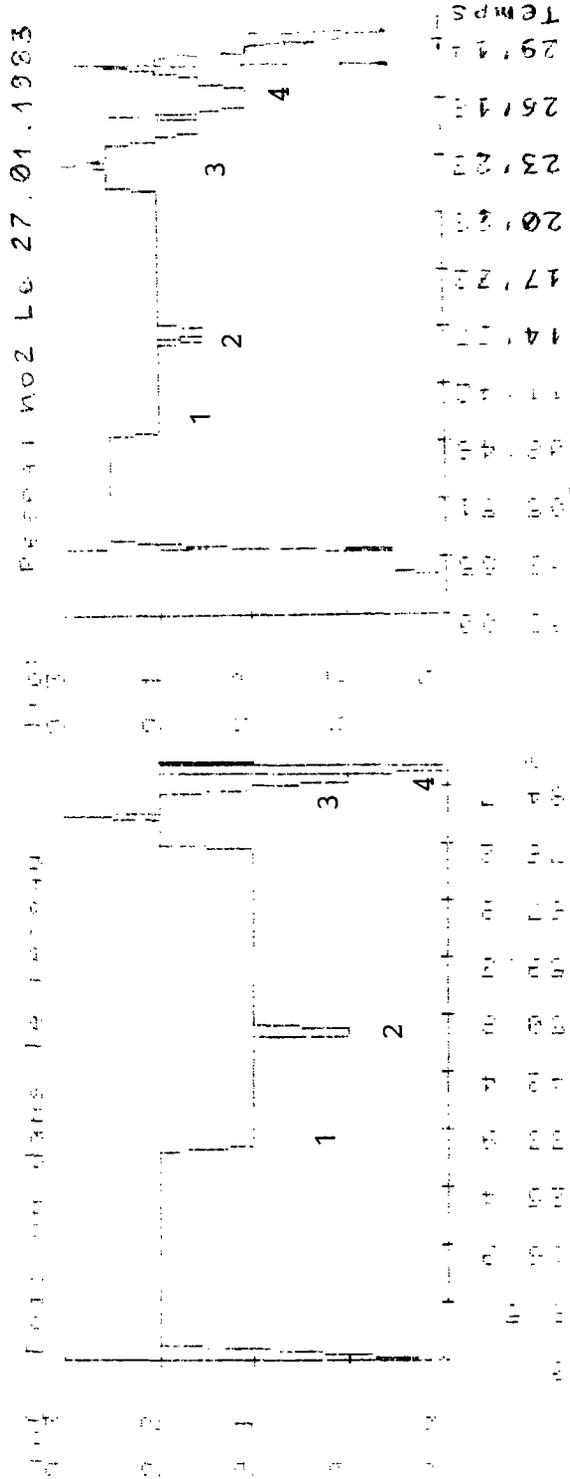
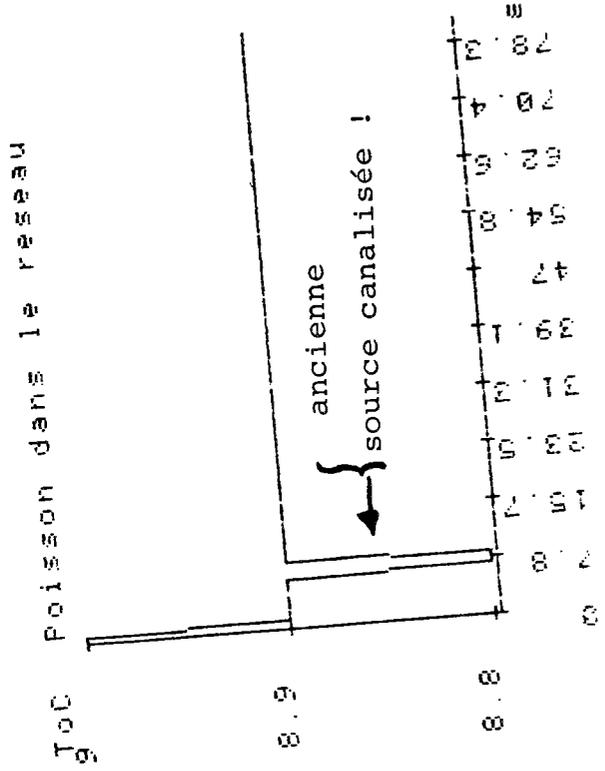
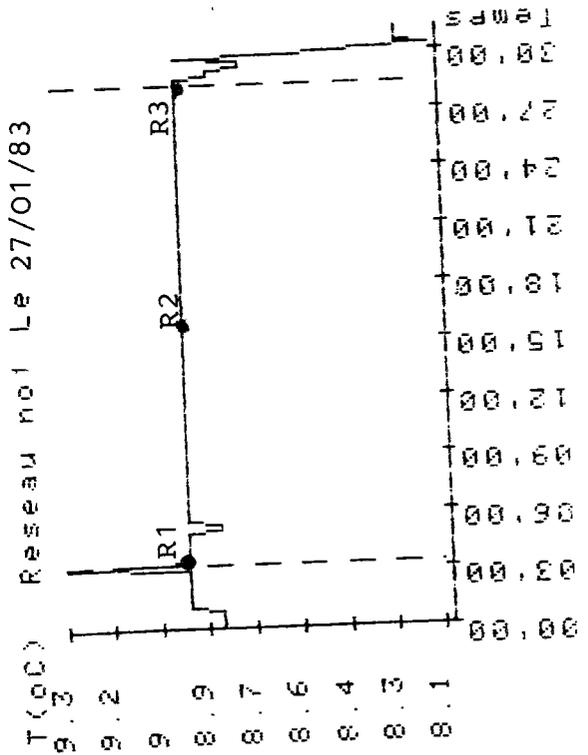


Fig.1 - 88m de réseau inspecté, écoulement à surface libre

Auscultation d'un réseau

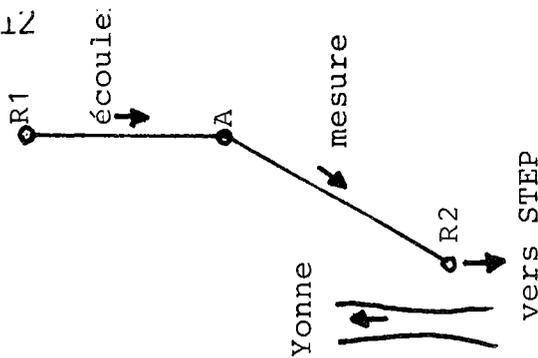
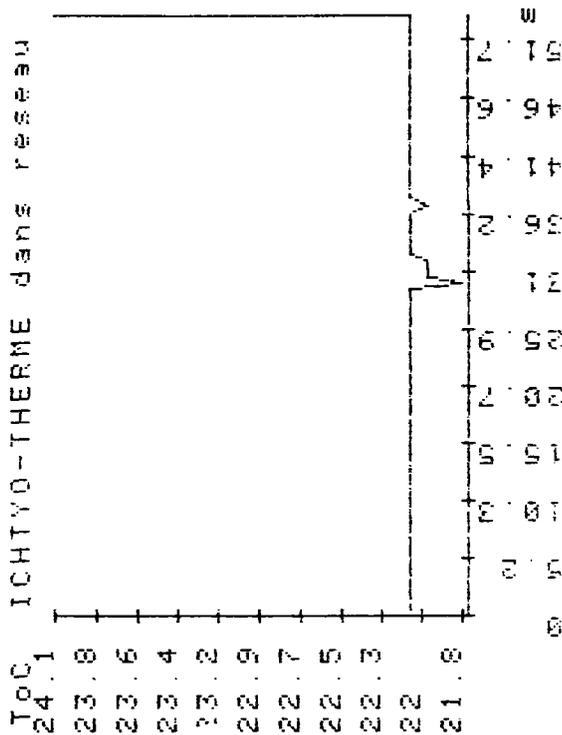
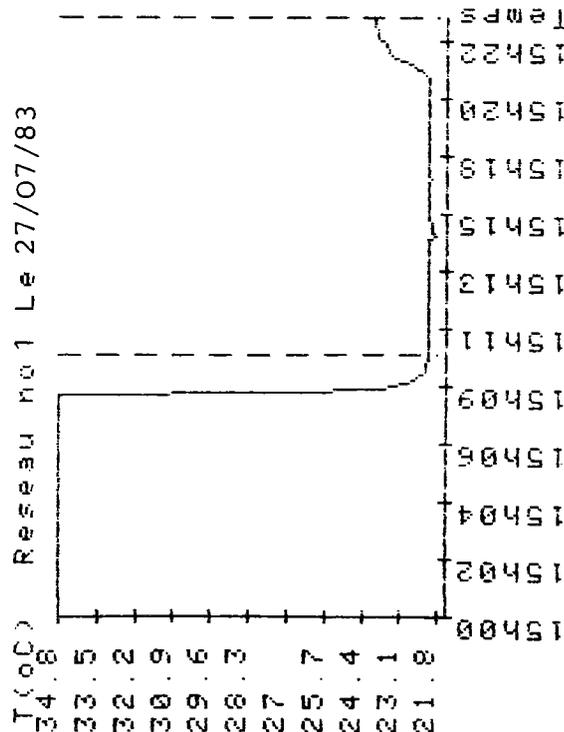
FISMES (51), Avenue de la gare.
 Sens mesure contraire sens écoulement, écoulement à surface libre, Ø250
 Ancienne source à 8m du regard R1, branchement en R1, R2 et R3



Rue a JOIGNY le 27.7.83
 sans Mesure = sans Ecoulement
 Reseau No 1
 inspecte a la sonde de ToC (dite
 ICHTYO-THERME) le 27.7.83
 Temps ensoleillé

RESERU INPECTE LE a 15h00

Longueur inspectee: 53.8 m
 ToC moyenne du reseau en oc=
 22.6
 Temps d'immersion de l'ICHTYO-
 THERME en secondes = 800
 Vitesse moyenne en m /mn= 4.04



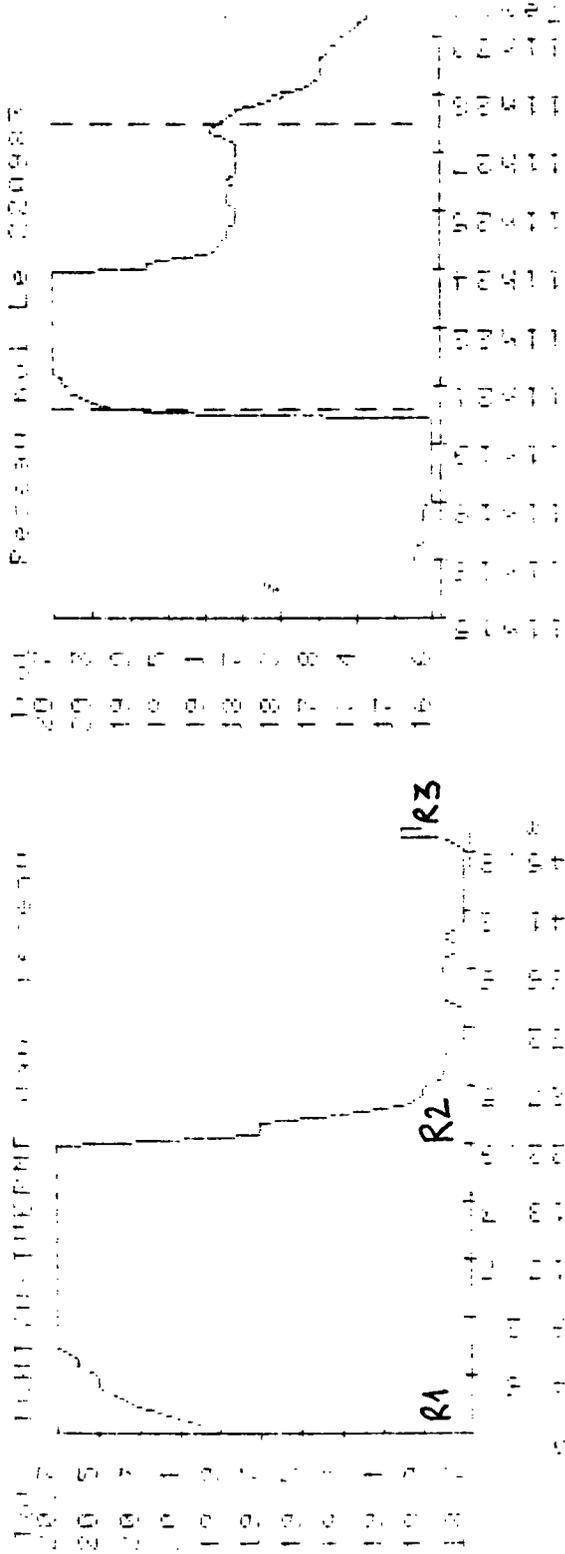
Réseau à 15m de l'Yonne, écoulement à surface libre. Ø500, h = 300.
 Infiltrations au niveau d'un regard intermédiaire (A)
 Stabilité à 22.1°C, température air ambiant > 35°C (capteur sous soleil).

Auscultation d'un réseau à Creil

Boulevard Biondi

Introduction d'eau froide à 24 m du réseau à partir d'un

camion citerne - Démonstration



ANNEXE IV

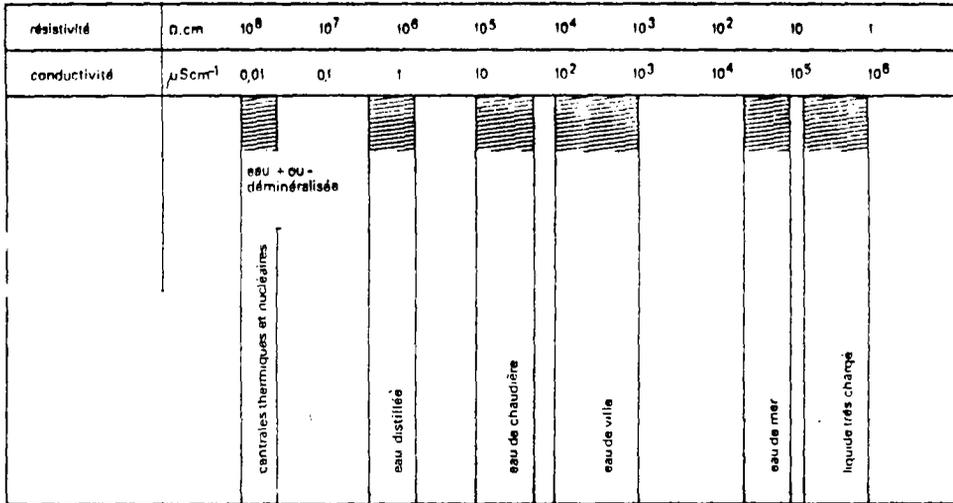


Tableau 1 - Gamme de conductivités pour différentes eaux.

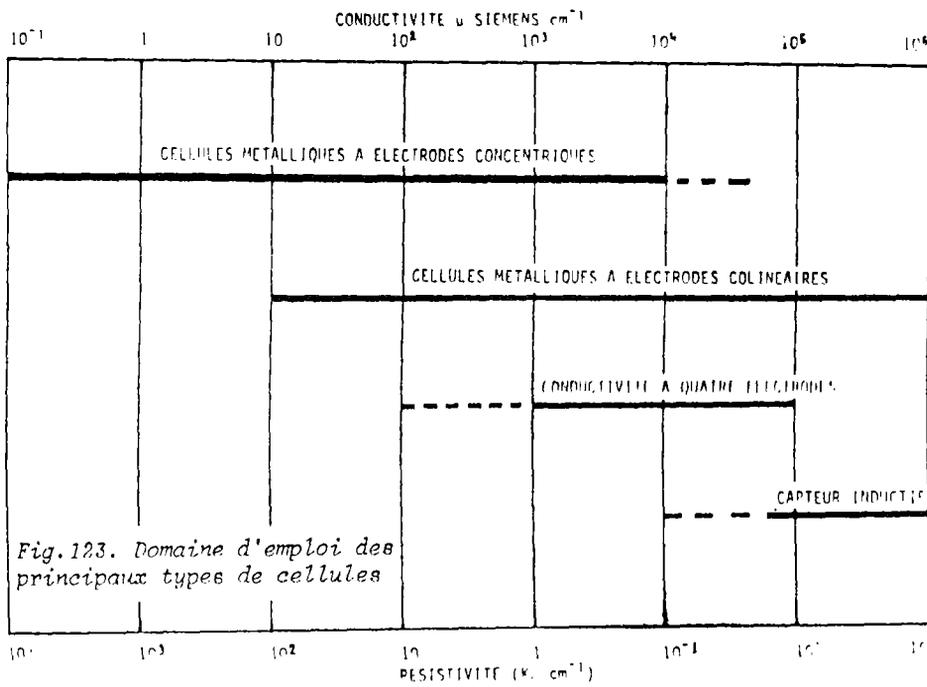


Tableau 2 - Capteurs correspondants à différentes gammes de conductivité.

Tirés de (7)

APPAREILS DE MESURE PHYSICO-CHEMIQUE

ANNEXE IV BIS

Correspondances entre Conductivité, Concentrations salines
et Résistivité des eaux
(sources: Kohlrausch , Thomas, Unesco)

Conductivité $\mu S/cm$ (microsiemens = micro rhos)		Solution molaire de KCl	Solution molaire de Na Cl	Teneur en ppm KCl	Teneur en ppm Na Cl	Teneur approchée g/l Na Cl	Equivalence Conductivité-résisti- vité $\mu S/cm$	Signification qualitative
à 15°C	à 20°C							
92520	102070	N		74557			100000	10 Sursalinité (Lacs salés , Chott, solutions industrielles...)
43298	53900				39744	40	50000	20 Diverses eaux marines et lagunaires
42396	47882				35000	35	20000	50 Teneur marine moyenne : 35 g/l
25722	28749				19872	20	10000	100
14758	16512				10839	11	5000	200 Eaux saumâtres
10480	11670	N/10		7456			2500	400
7778	8702				5419	5	2000	500 Eaux douces très minéralisées
2763	3091				1806	2	1000	1000 impropres aux usages domestiques et agricoles
2243	2501	N/50		1491			500	2000 Eaux douces de minéralisation moyenne
1146	1277	N/100		746		0,6	200	5000 Eaux douces peu minéralisées
939	1074		N/100		584,5		100	10000
120	132	N/1000		74,6			50	20000
					250	0,25		
					58,5	0,06		
98,5	112		N/1000					
	125,4							

Eaux très saumâtres

ANNEXE IVTER

CHARGE IONIQUE DES SOLUTIONS AQUEUSES EN FONCTION DE LEUR CONDUCTIVITE (micro-mhos = micro-siemens) ET EXPRIMEE EN TENEUR DE KCl.

Température	KCln.	KCln/10	KCln/50	KCln/100
10	83 190	9 330	1 994	1 020
11	85 040	9 560	2 043	1 045
12	86 890	9 790	2 093	1 070
13	88 760	10 020	2 142	1 095
14	90 630	10 250	2 193	1 121
15	92 520	10 480	2 243	1 147
16	94 410	10 720	2 294	1 173
17	96 310	10 950	2 345	1 199
18	98 220	11 190	2 397	1 225
19	100 140	11 430	2 449	1 251
<u>20</u>	<u>102 070</u>	<u>11 670</u>	<u>2 501</u>	<u>1 278</u>
21	104 000	11 910	2 553	1 305
22	105 940	12 150	2 606	1 332
23	107 890	12 390	2 659	1 359
24	109 840	12 640	2 712	1 386
25	111 800	12 880	2 765	1 413
26	113 770	13 130	2 819	1 441
27	115 740	13 370	2 873	1 468

Notice d'utilisation de PONSELLE

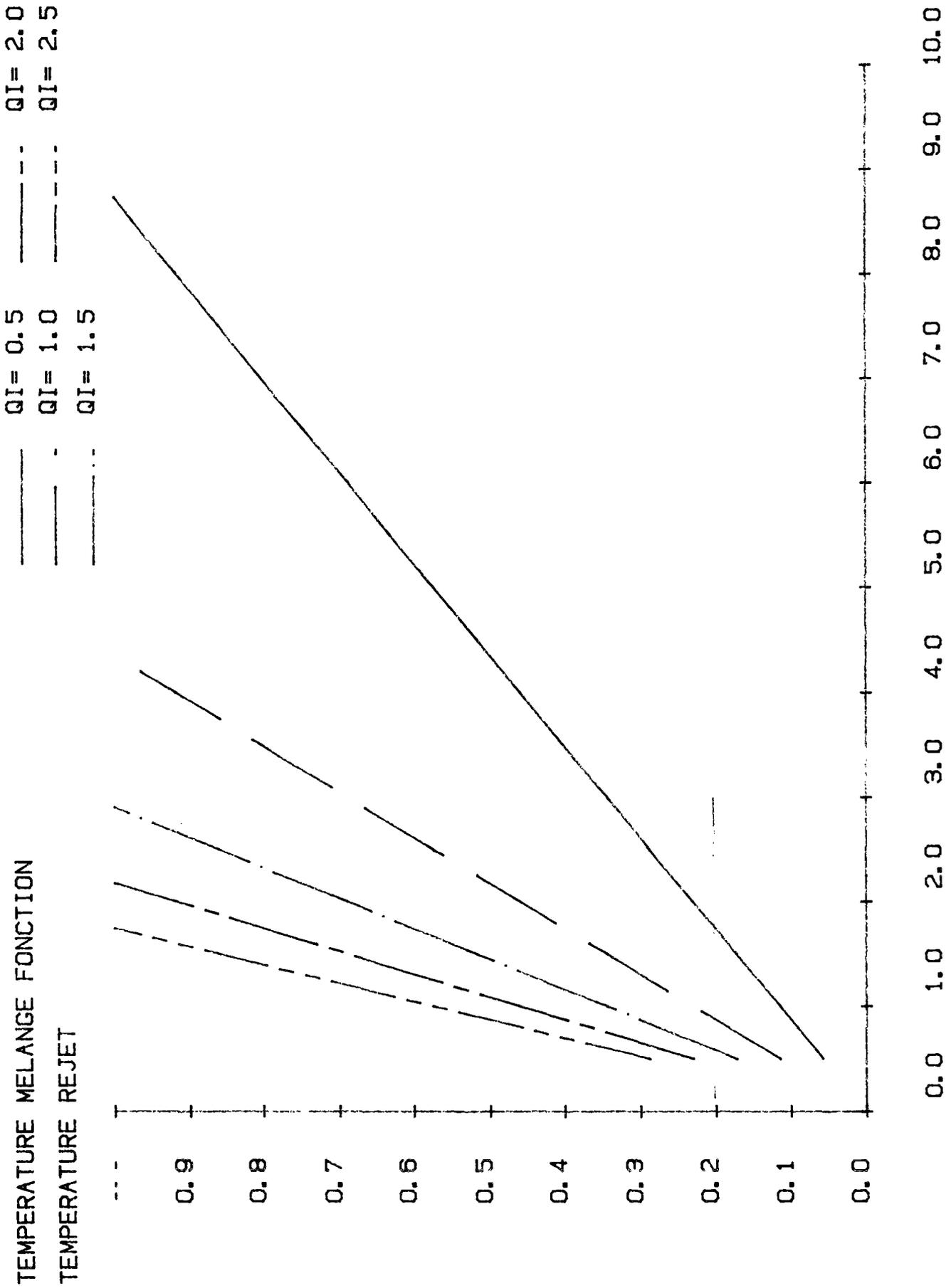


Figure 1 : $r = 2 \text{ cm}$, $x = 20 \text{ cm}$

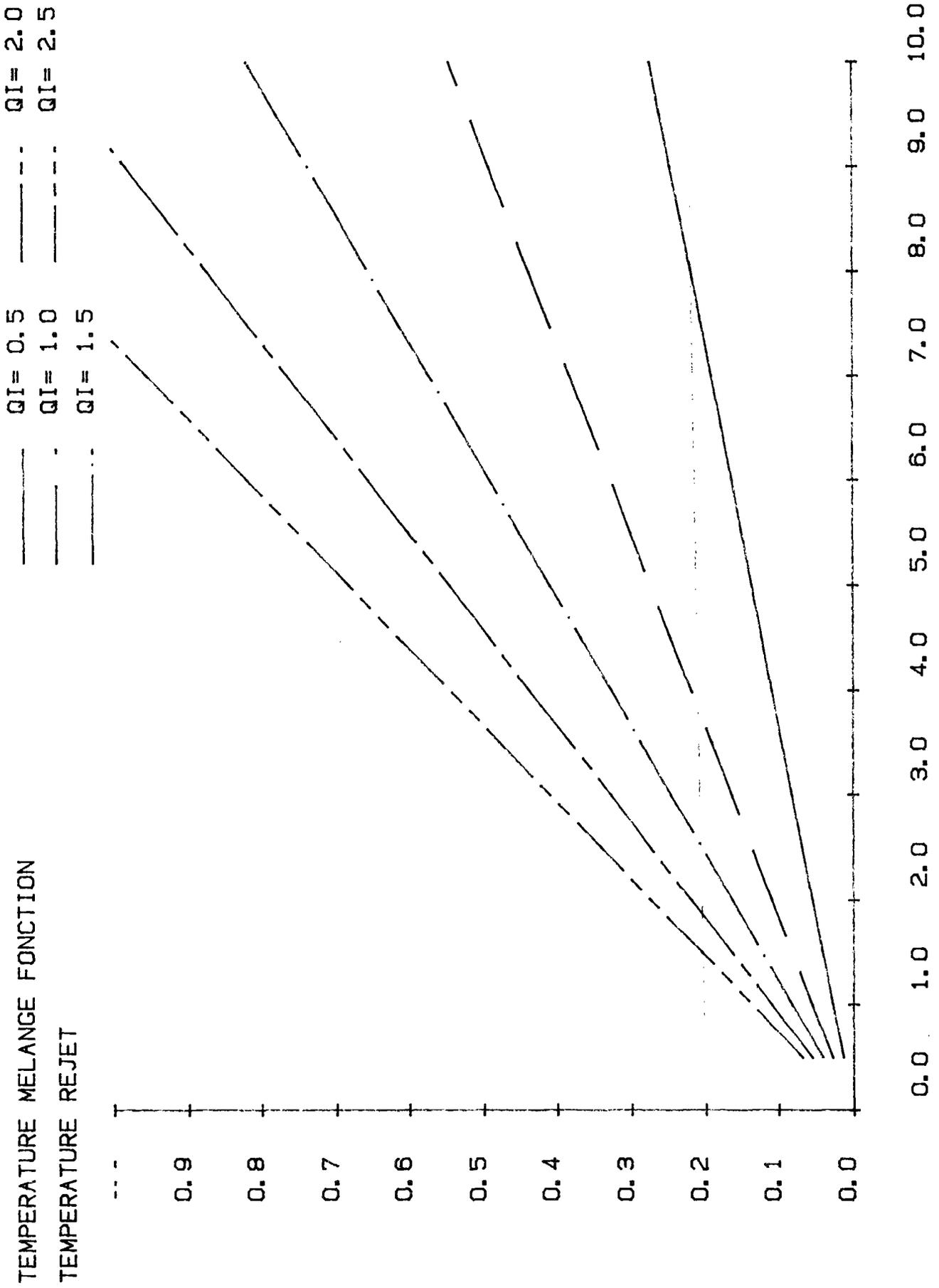


Figure 2 : $r = 2$ cm, $x = 1$ m

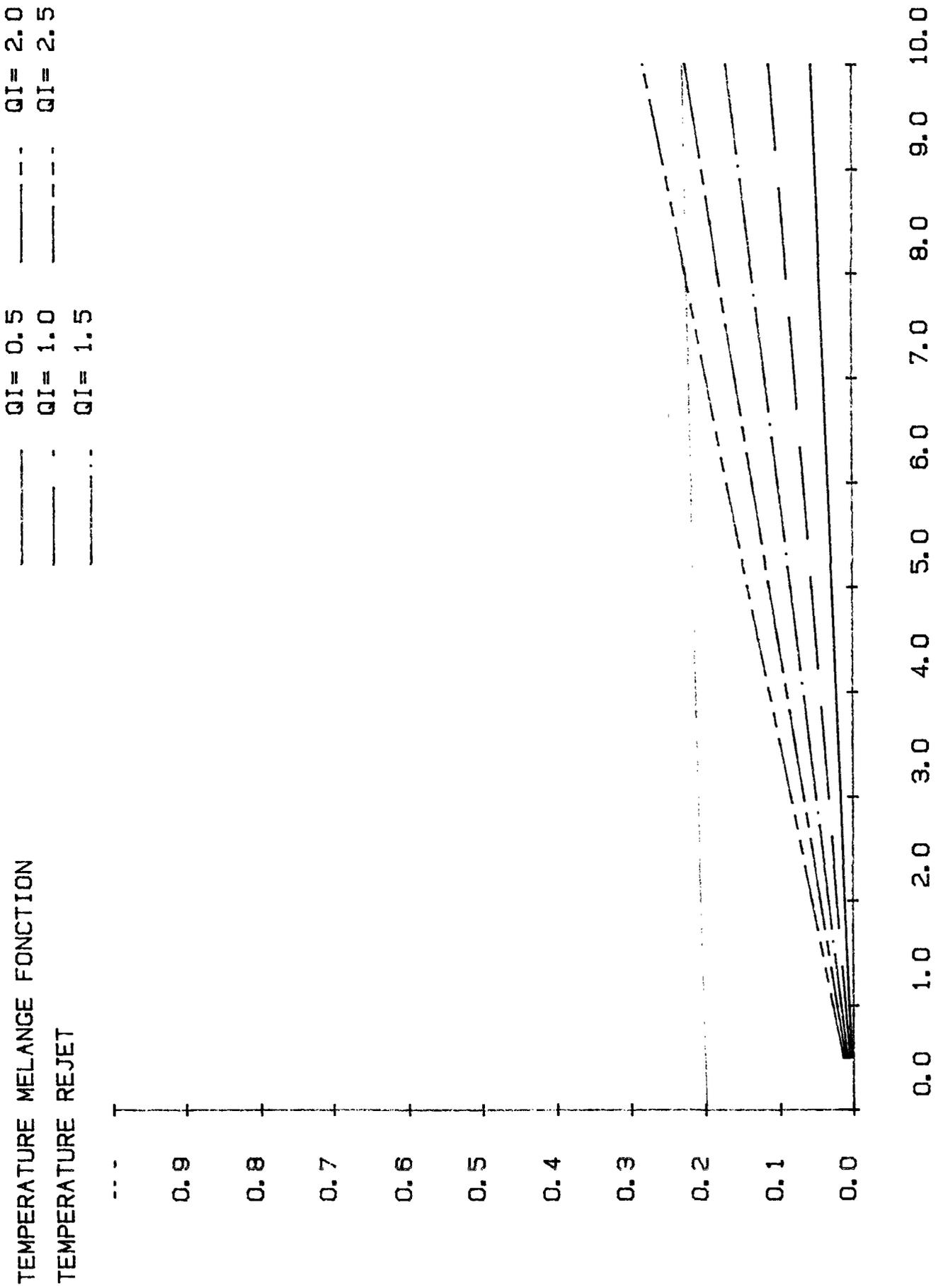


Figure 3 : r = 2 cm, x = 5 m

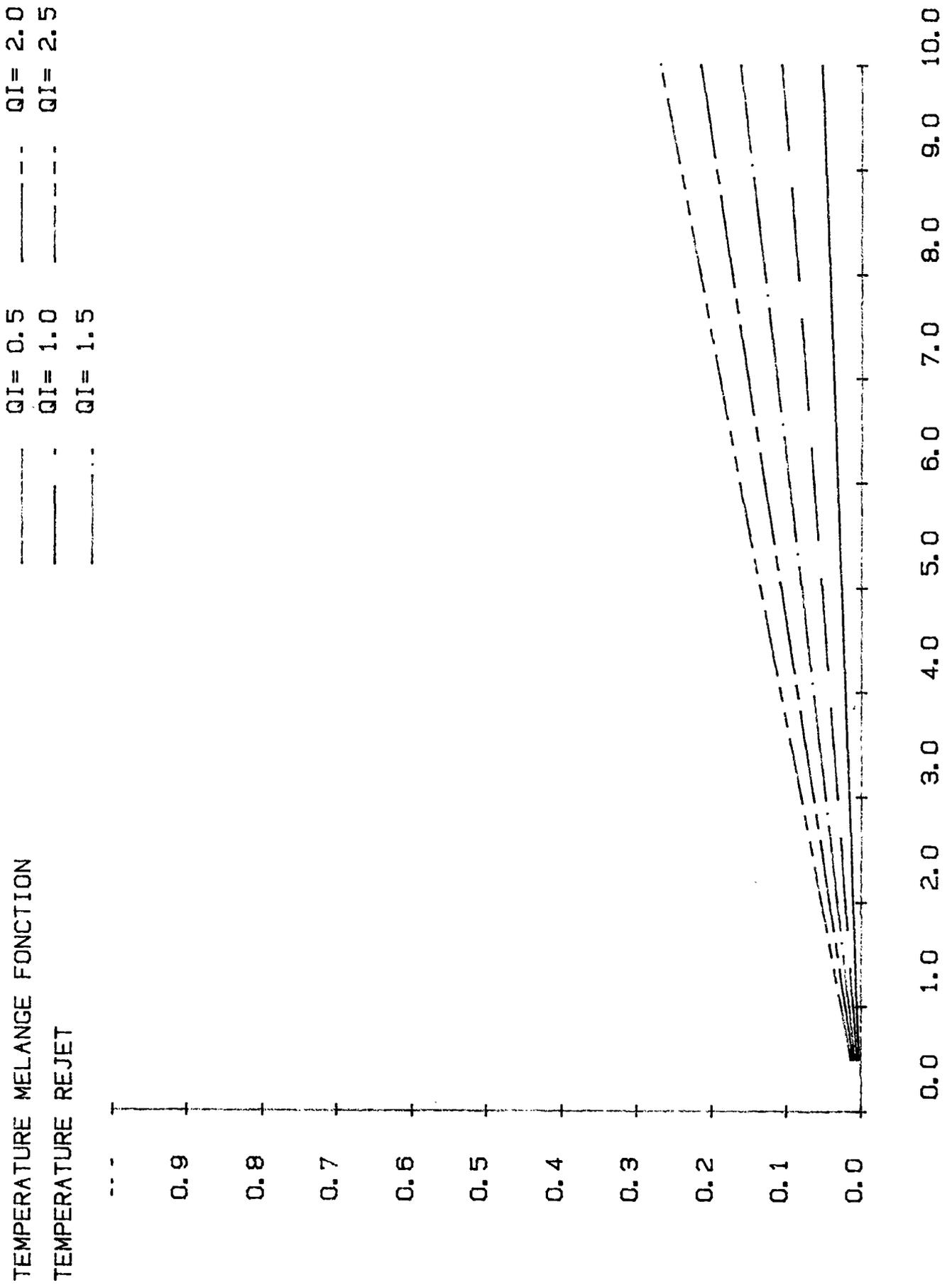


Figure 4 : $r = 5 \text{ cm}$, $x = 5 \text{ m}$

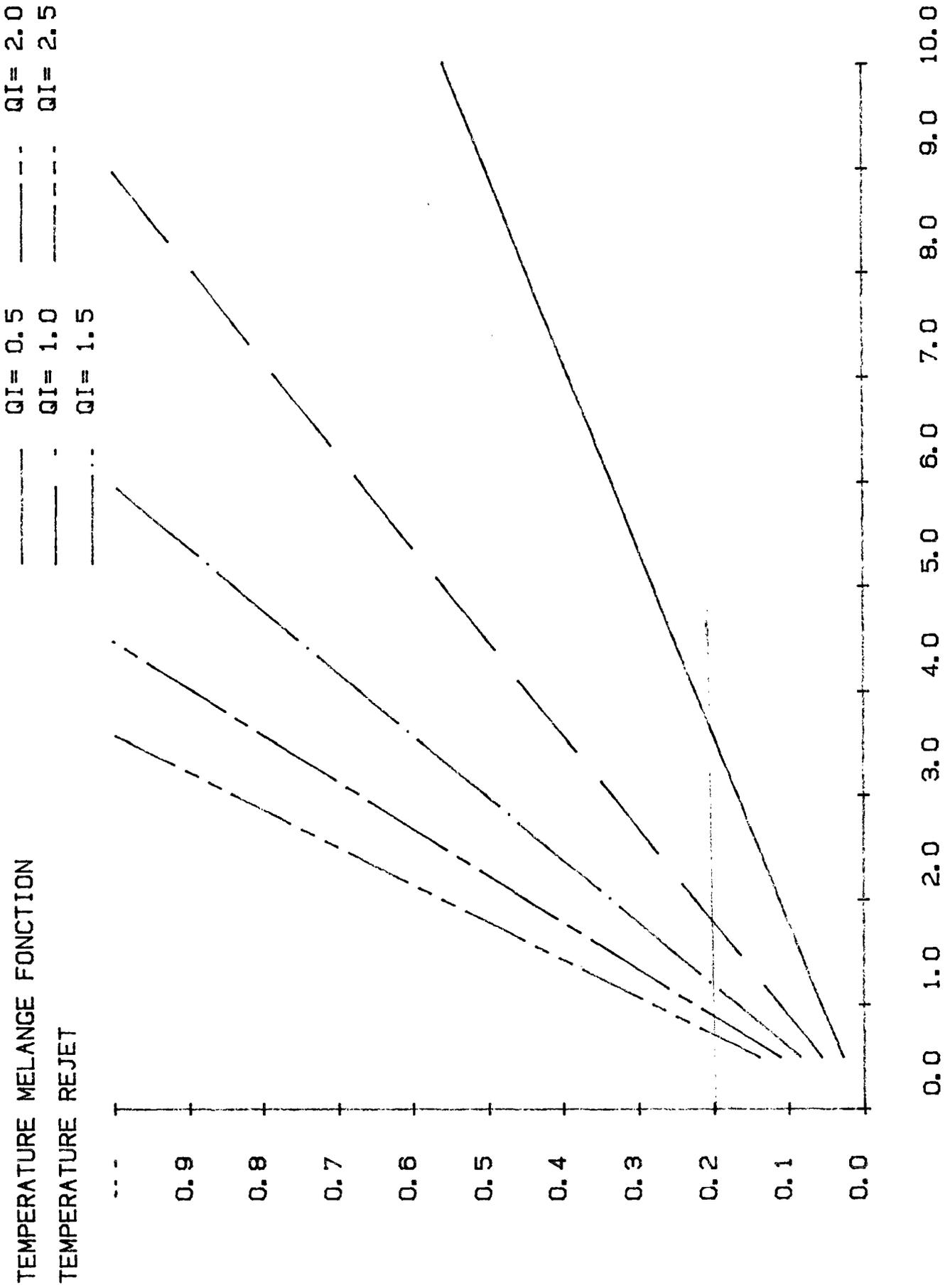


Figure 5 : $r = 3 \text{ cm}$, $x = 40 \text{ cm}$

DT = .1 DT = .4
DT = .2 DT = .5
DT = .3

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

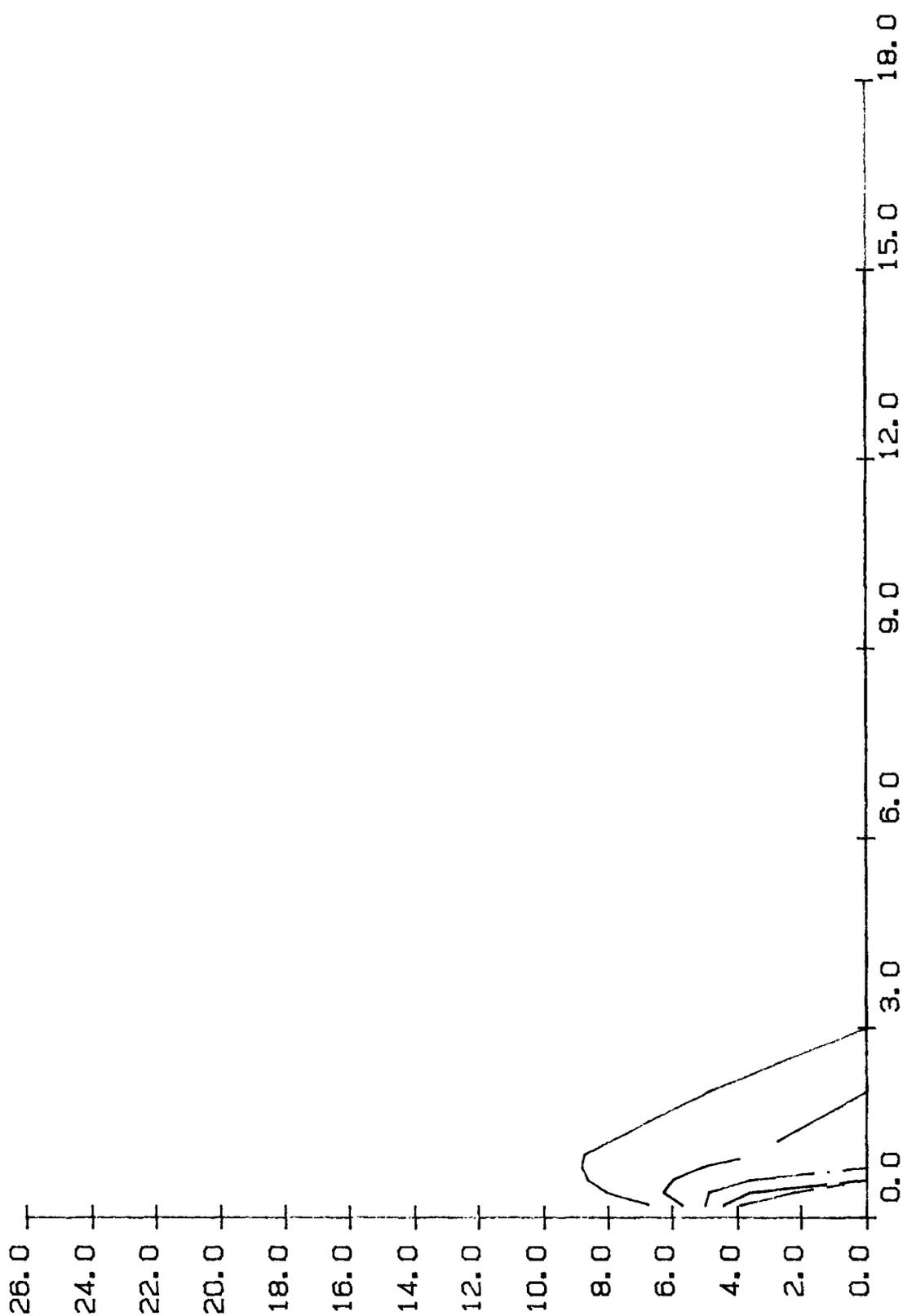


Figure 1 : $QI = 4l/s$, $DTI = 1^\circ C$

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

DT = .1 DT = .4
DT = .2 DT = .5
DT = .3

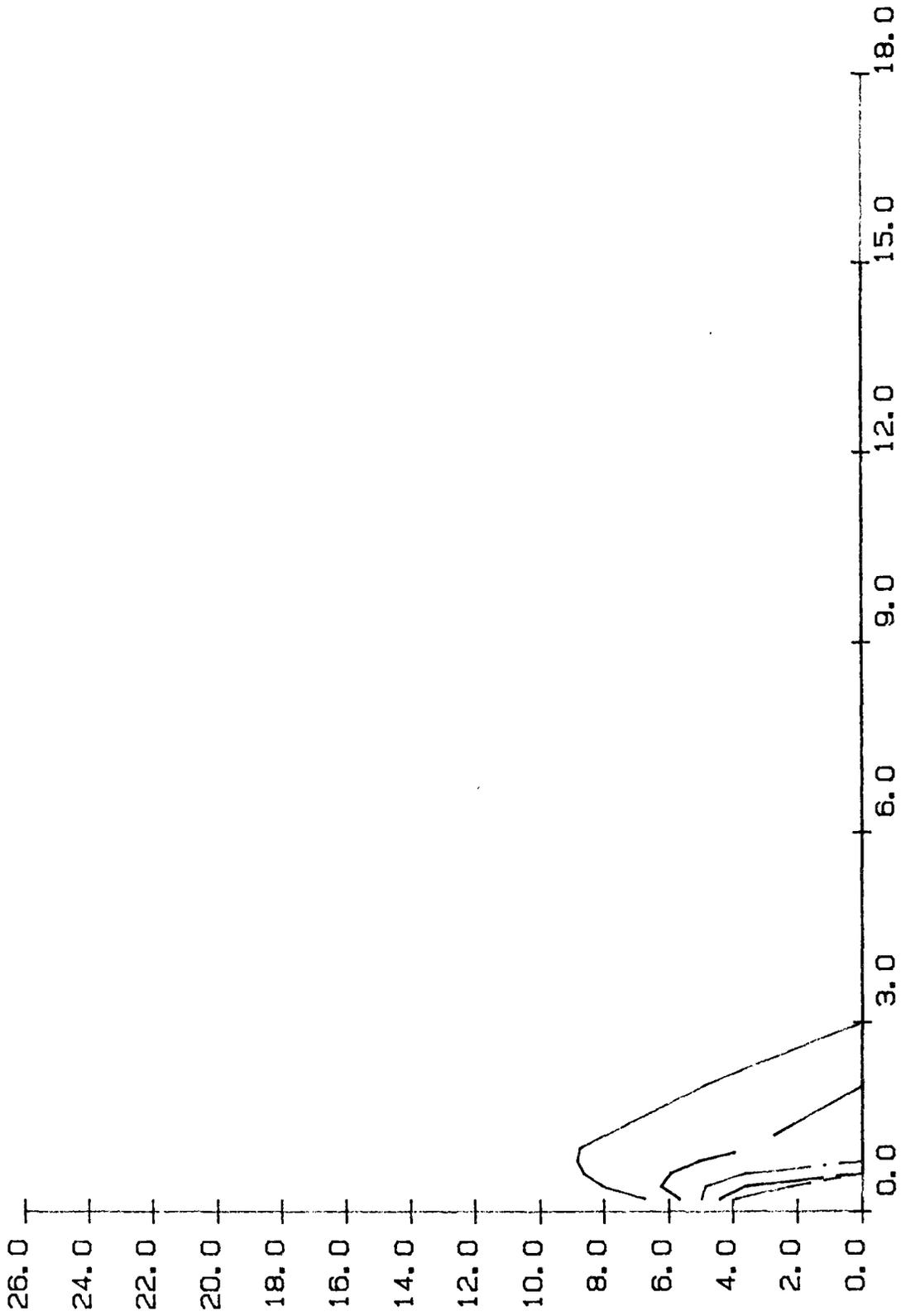


Figure 2 : QI = 11/s, DTI = 4°C

DT = .1 - - - - - DT = .4
DT = .2 - - - - - DT = .5
DT = .3 - - - - -

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

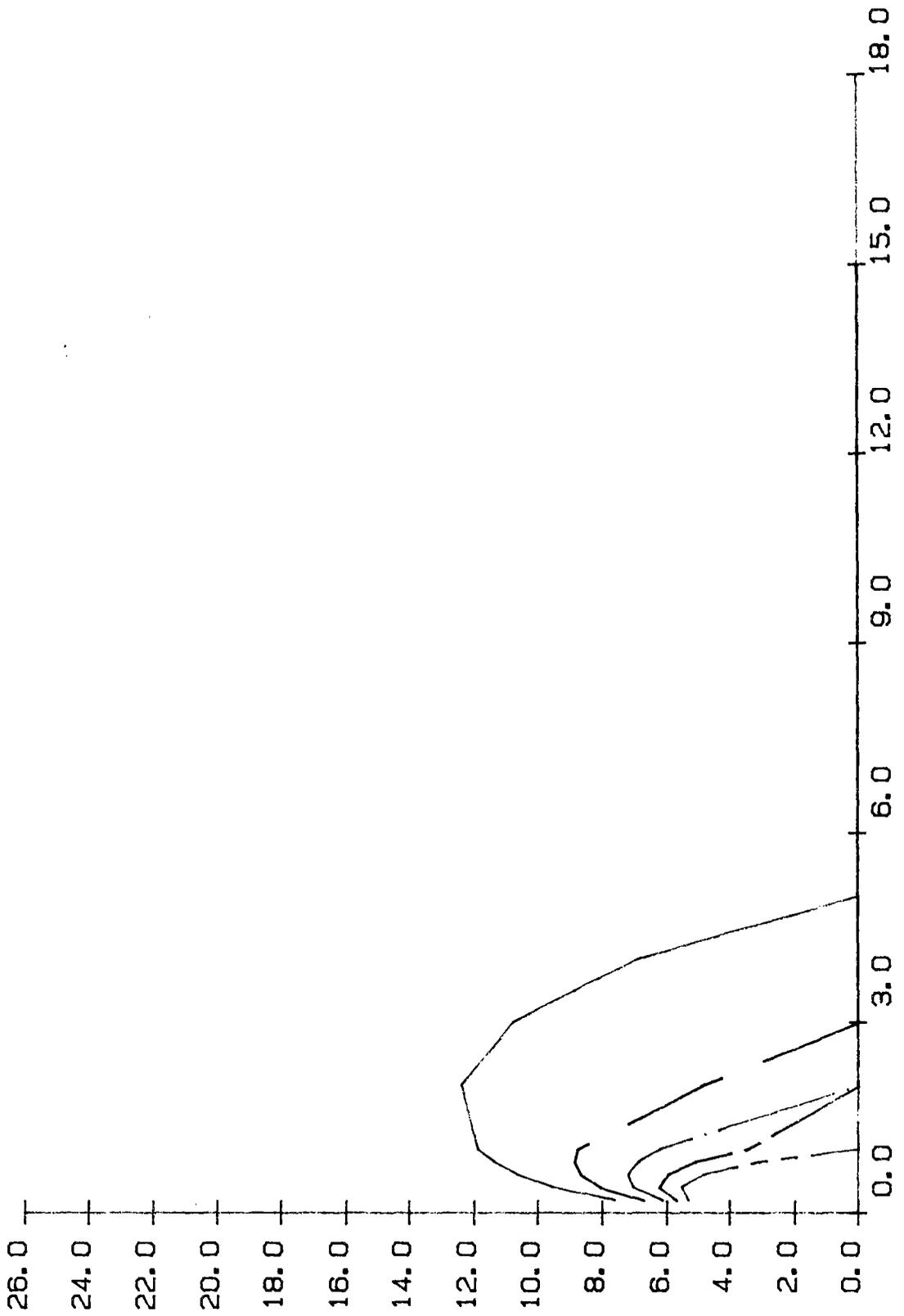


Figure 3 : $QI = 21/s$, $DTI = 4^\circ C$

DT = .1 DT = .4
DT = .2 DT = .5
DT = .3

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

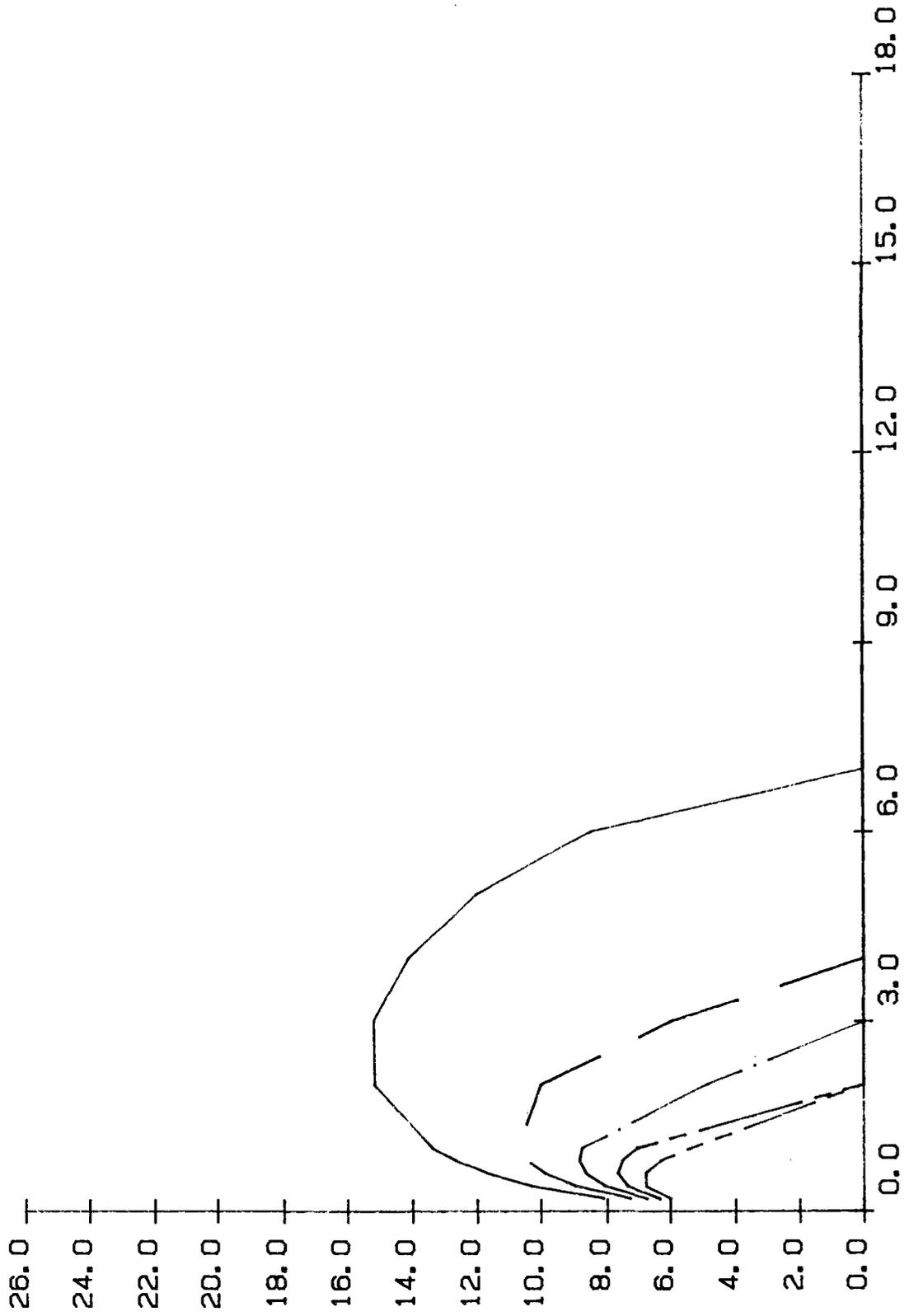


Figure 4 : QI = 31/s, DTI = 4°C

DT = .1 DT = .4
DT = .2 DT = .5
DT = .3

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

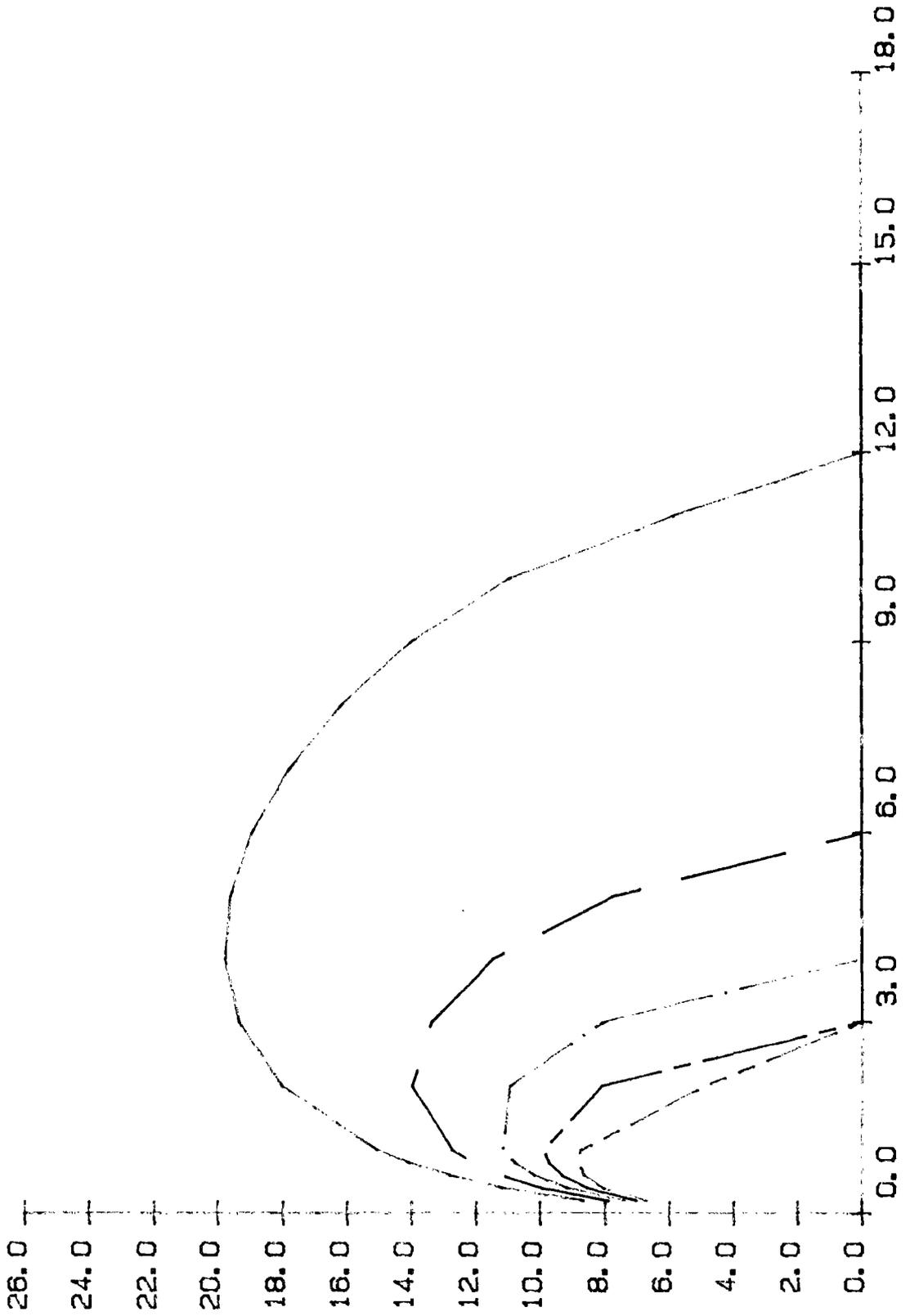


Figure 5 : QI = 41/s, DTI = 5°C

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

———— QI= 1.0
 ———— QI= 2.0
 - - - - QI= 3.0
 - - - - QI= 4.0
 - - - - QI= 5.0

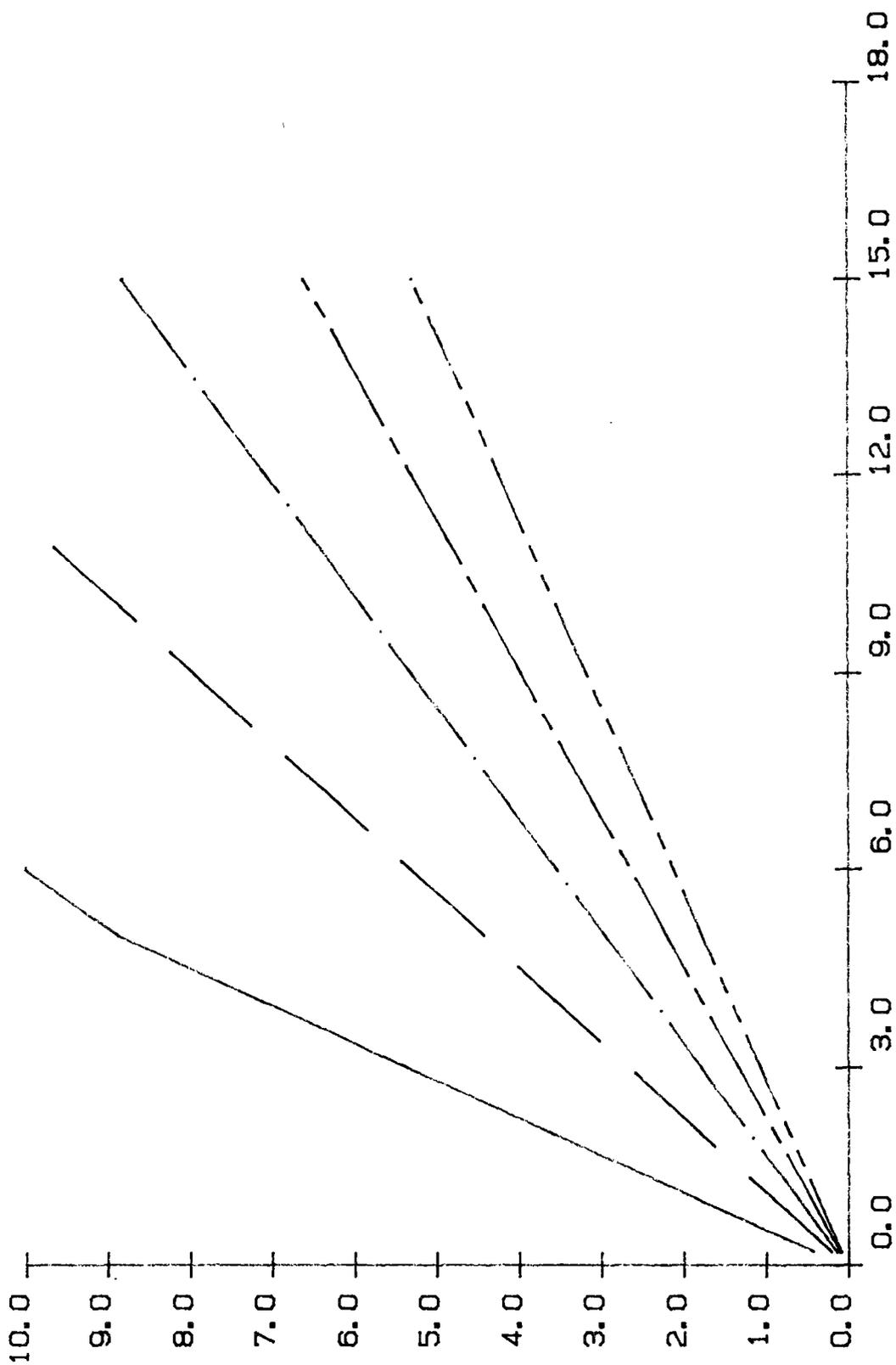


Figure 1 : $r = 2 \text{ cm}$, $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

———— QI= 1.0
 ———— QI= 2.0
 - - - - QI= 3.0
 - - - - QI= 4.0
 - - - - QI= 5.0

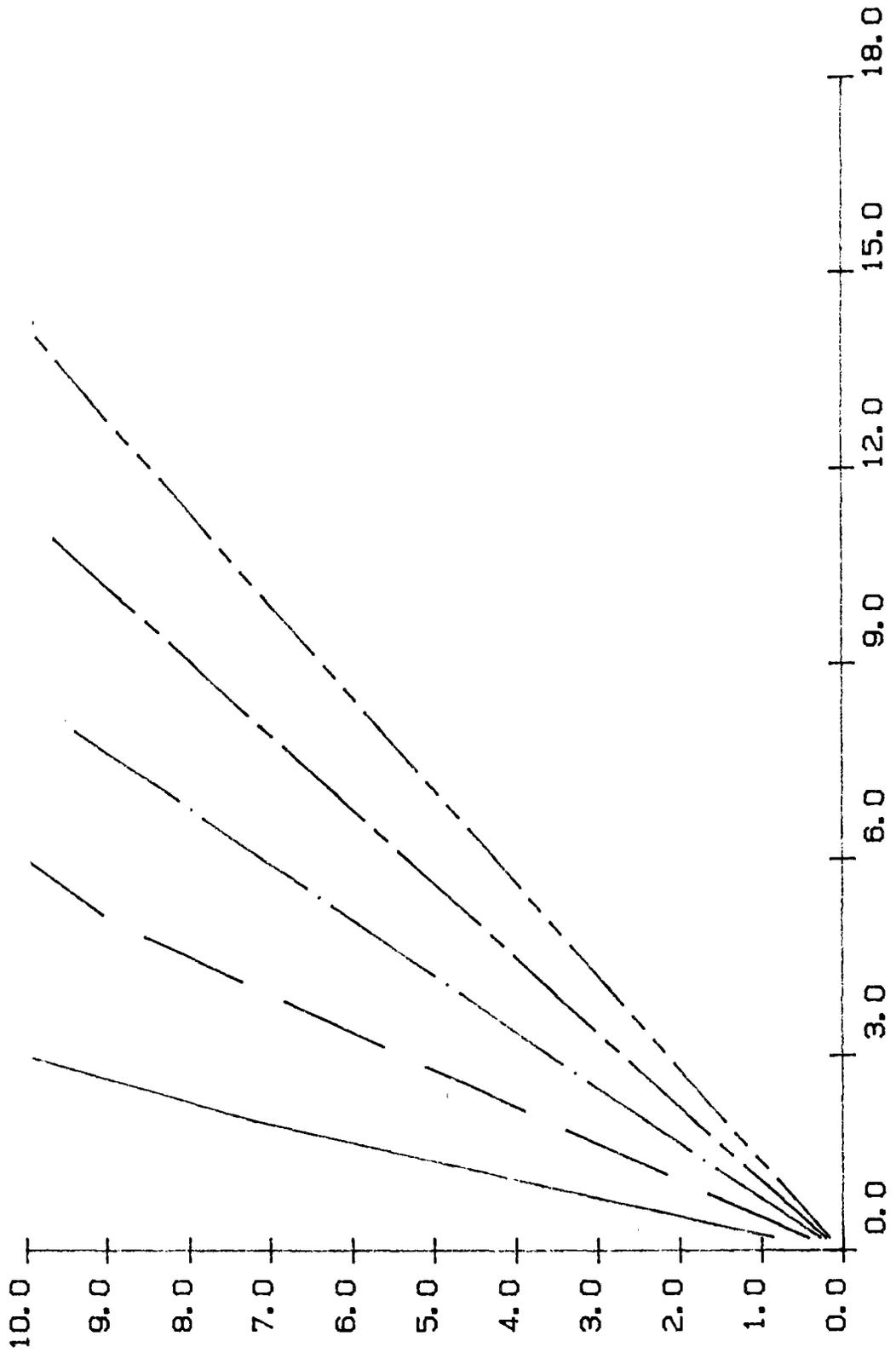


Figure 2 : $r = 2 \text{ cm}$, $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

———— QI= 1.0 ———— QI= 4.0
 - - - - QI= 2.0 - - - - QI= 5.0
 ······ QI= 3.0

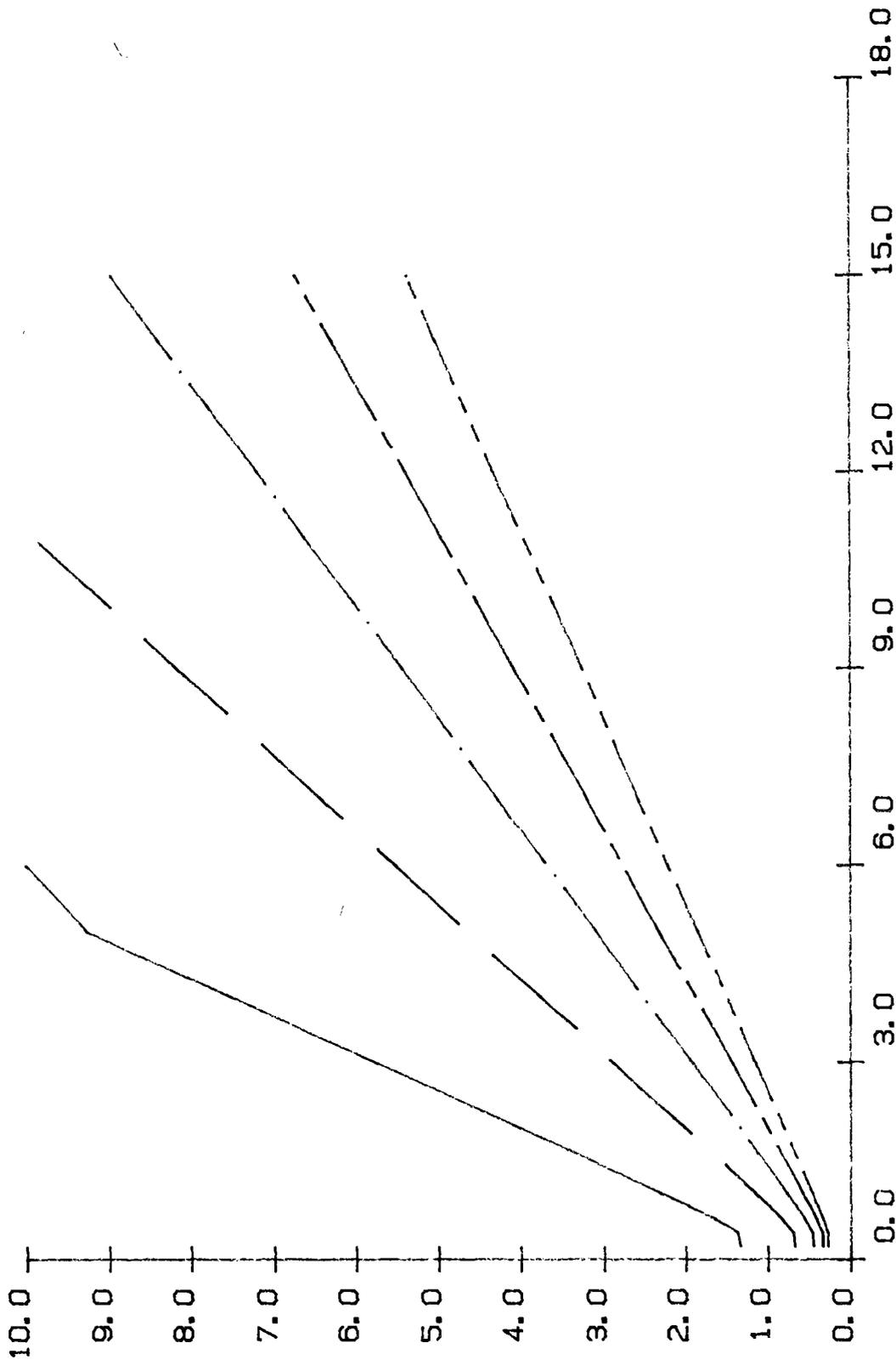


Figure 3 : $r = 5 \text{ cm}$, $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

———— QI= 1.0 ———— QI= 4.0
 ———— QI= 2.0 - - - - QI= 5.0
 - - - - QI= 3.0

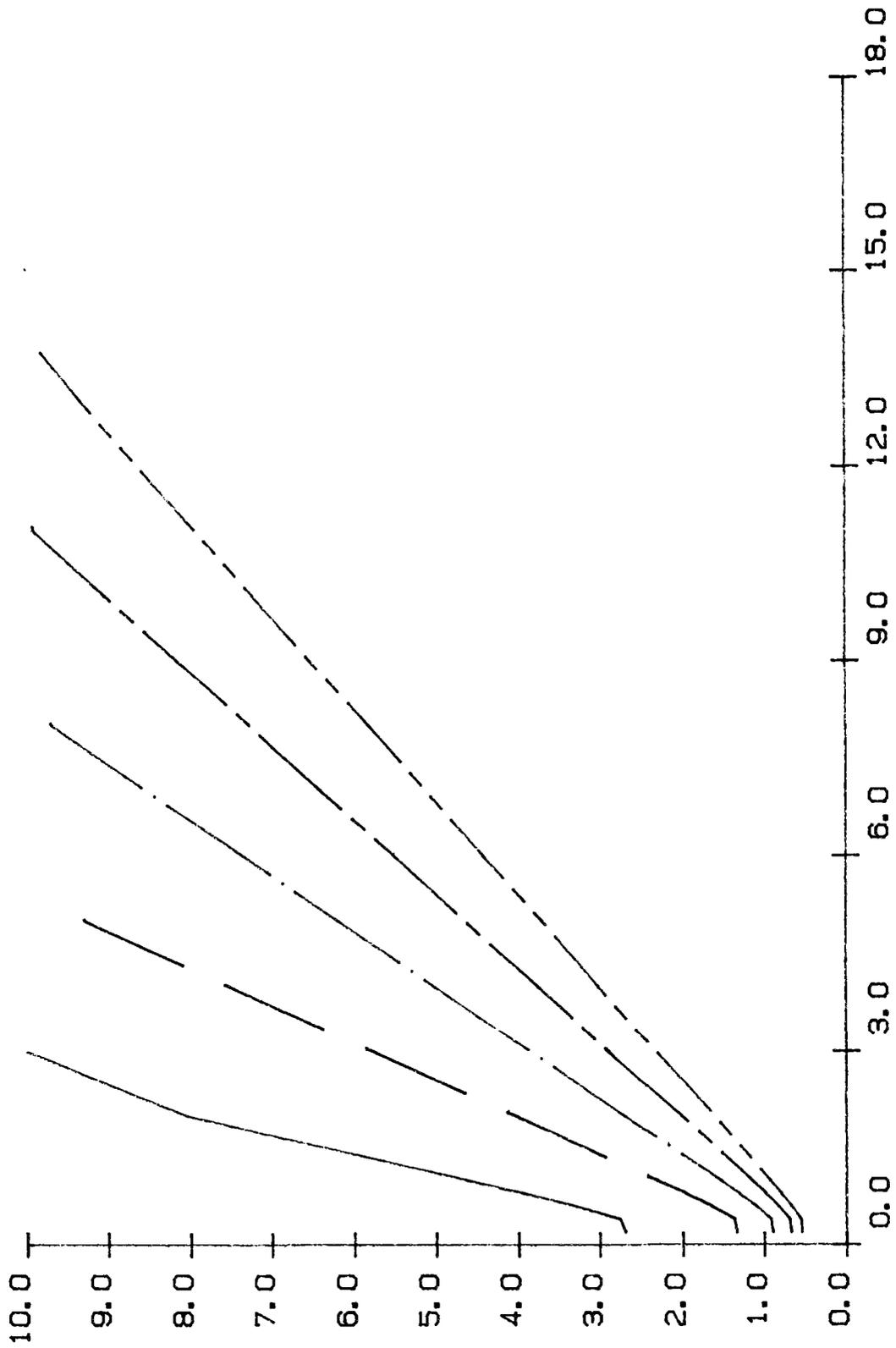


Figure 4 : $r = 5 \text{ cm}$, $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE
 MELANGE A DTI CONSTANT

———	DTI= 1	———	DTI= 4
———	DTI= 2	———	DTI= 5
———	DTI= 3	———	

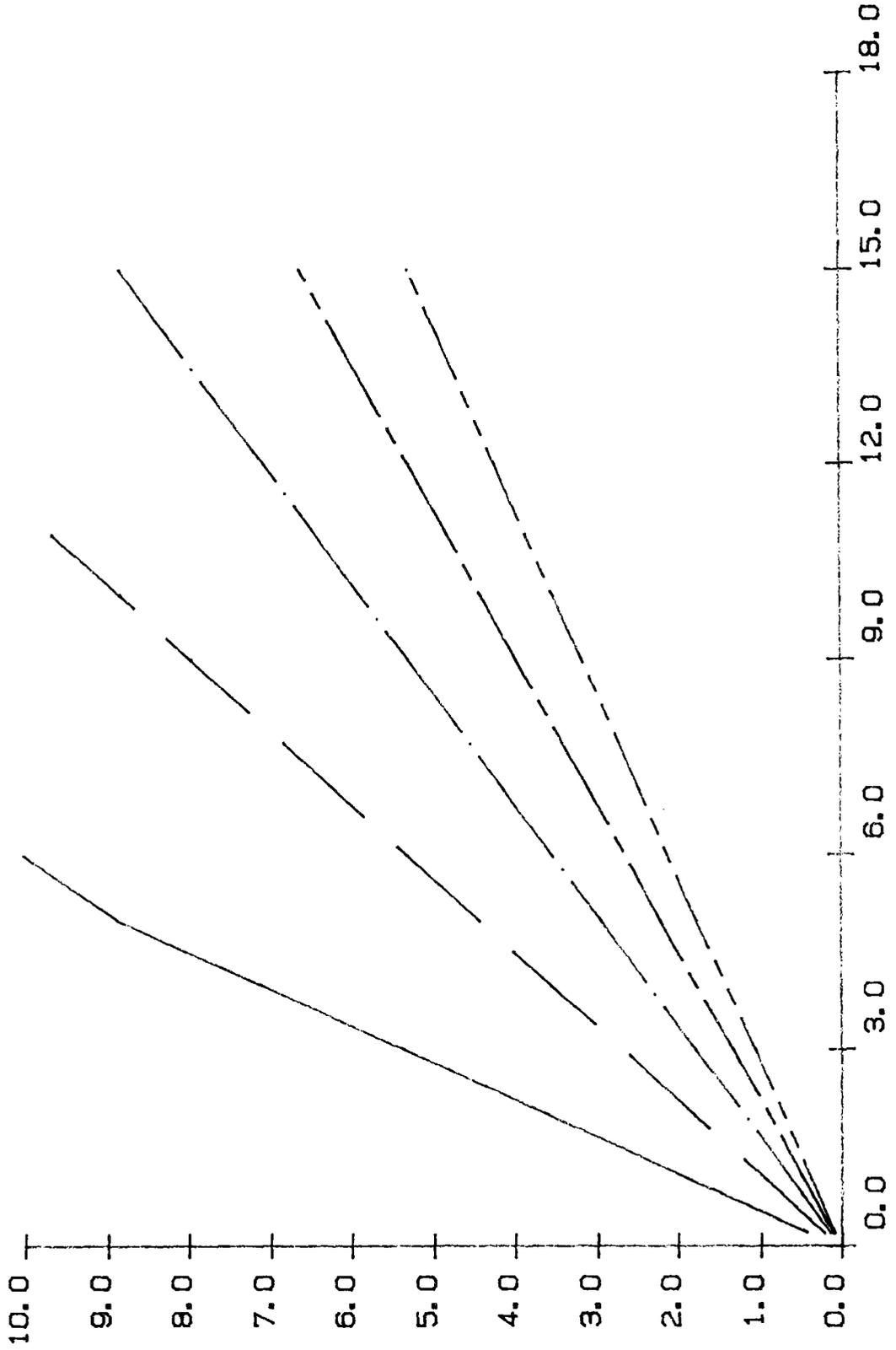


Figure 1 : $r = 2 \text{ cm}$, $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE
MELANGE A DTI CONSTANT

———	DTI= 1	———	DTI= 4
———	DTI= 2	———	DTI= 5
———	DTI= 3	———	

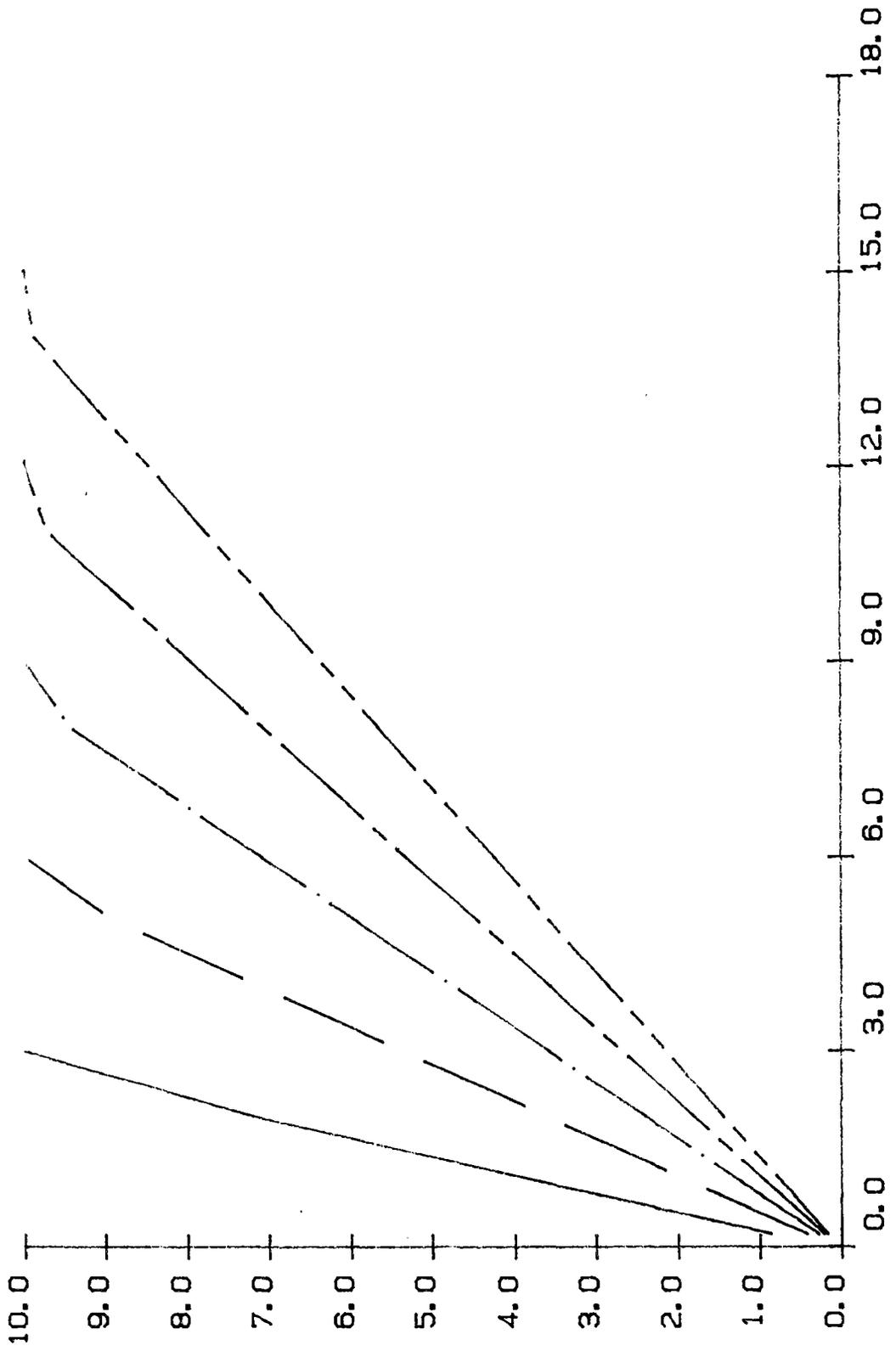


Figure 2 : $r = 2$ cm, $DT = 0,2^{\circ}C$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE
 MELANGE A DTI CONSTANT

DTI= 1 DTI= 4
 DTI= 2 DTI= 5
 DTI= 3

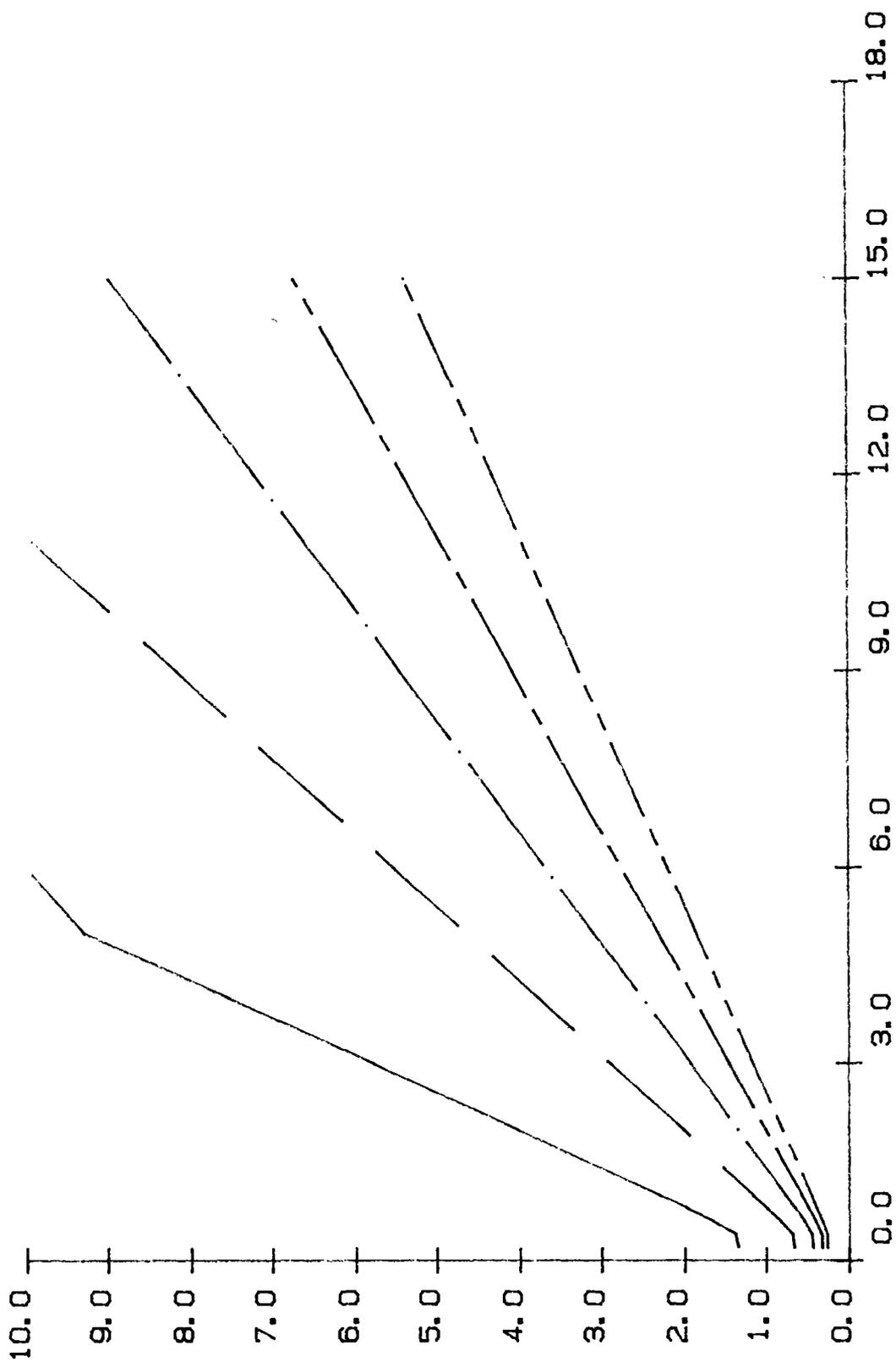


Figure 3 : $r = 5 \text{ cm}$, $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE
 MELANGE A DTI CONSTANT

—	DTI= 1	—	DTI= 4
—	DTI= 2	—	DTI= 5
—	DTI= 3	—	

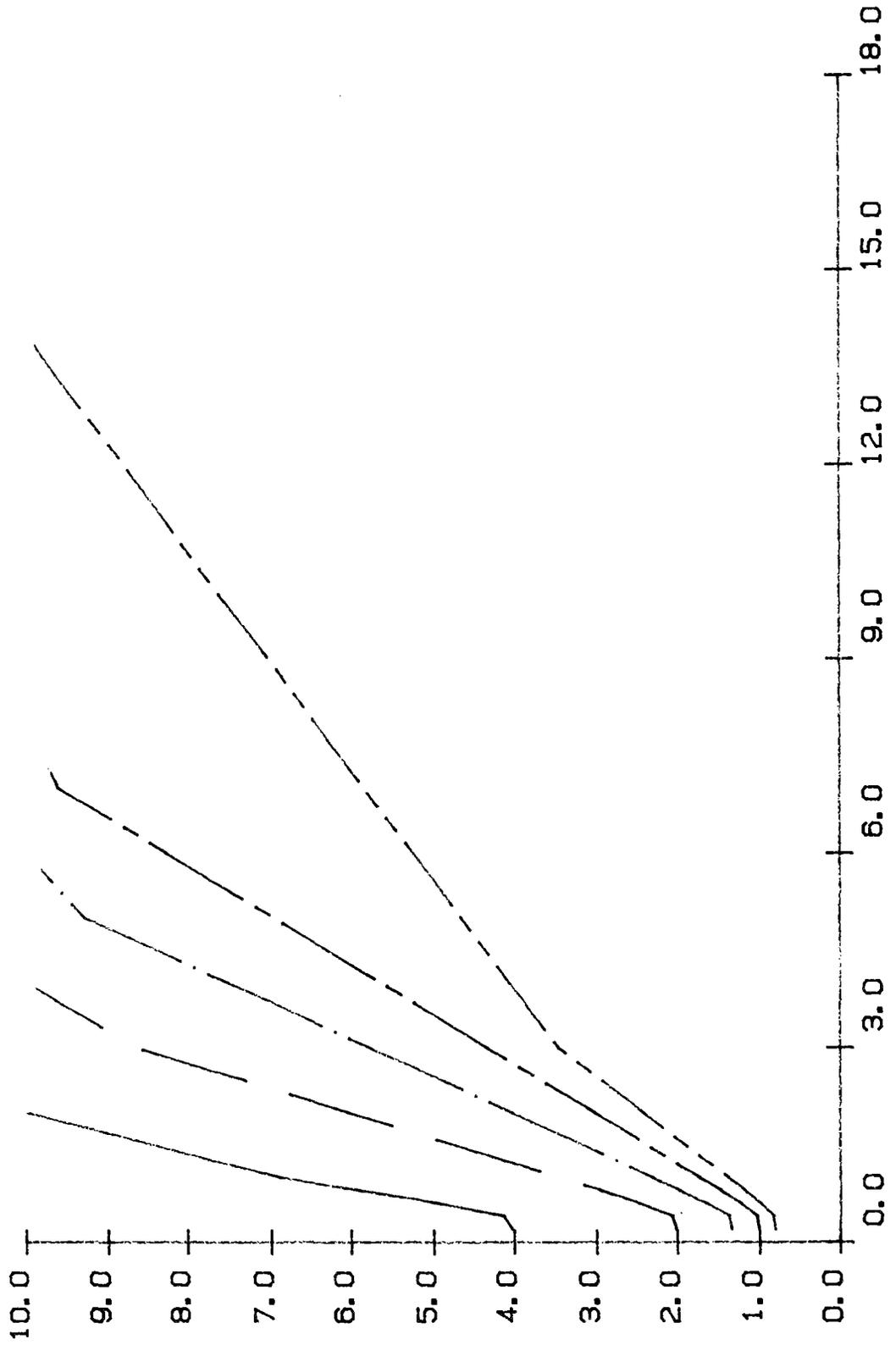


Figure 4 : $r = 5 \text{ cm}$, $DT = 0,2^\circ\text{C}$

STATION DE MESURE DE DEBIT (H,V par ultrasons) A VILLEMORISON-s/ORGE (91)

ANNEXE IX

Utilisation DE L'ICTYOTERME A POSTE FIXE

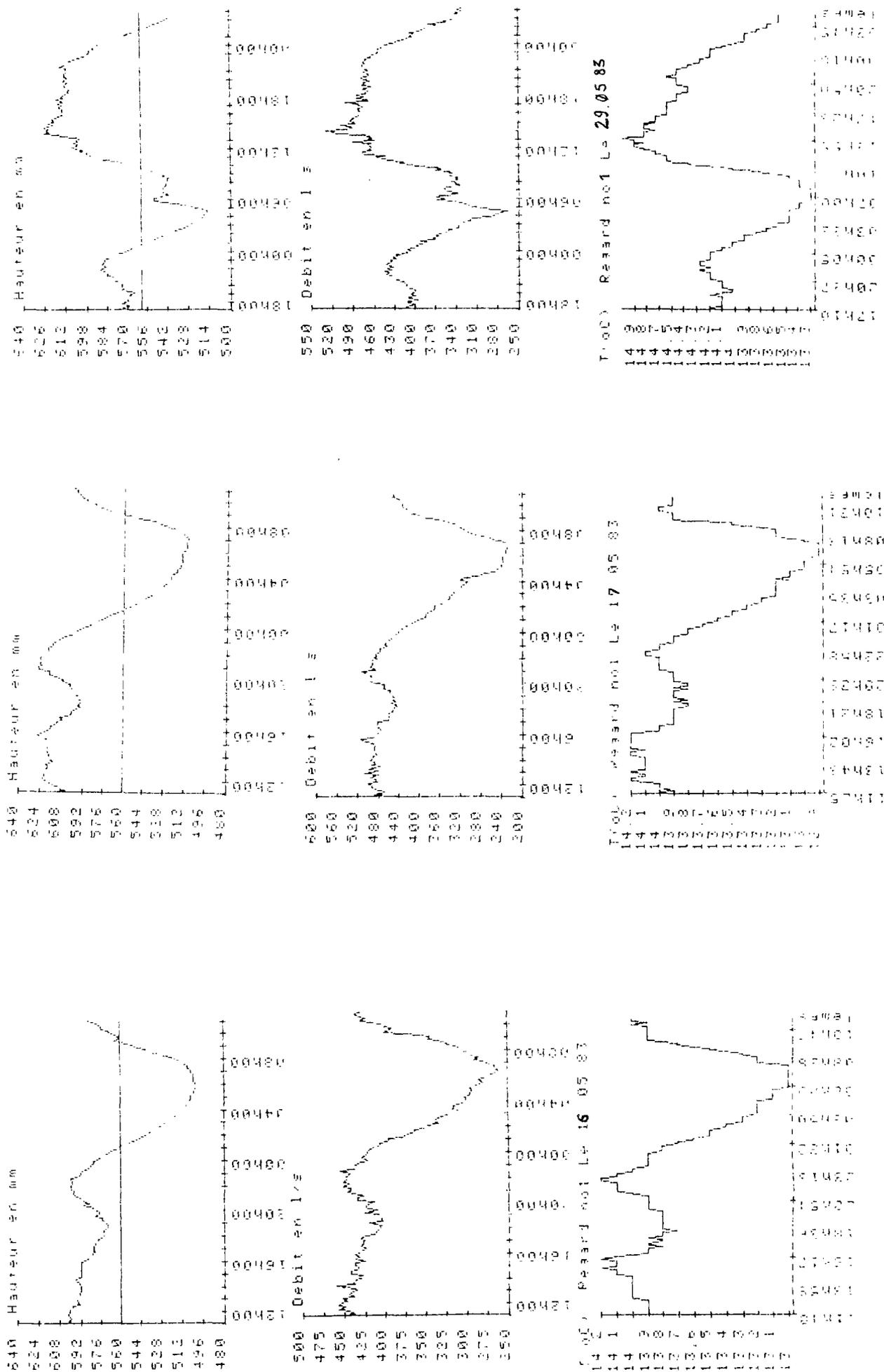


Fig.1 - Nuit du 16 au 17 mai 1983

Fig.2 - Nuit du 17 au 18 mai 1983

Fig.3 - Nuits du 27 au 28 et du 28 au 29 mai 1983

Suite "ICTYO 1"

```

1700 INPUT B$
1710 IF B$="OUI" THEN P1=0 @ GOTO
1720 CLEAR @ DISP "ATTENDEZ UN 14"
1730 IF B$="NON" THEN 1768 ELSE
1740
1750 P1=1 @ CRT
1760 @ DISP "CHOISISSEZ NOM
FICHIER A CREER" @ PAUSE
1770 CLEAR @ DISP "NOM DU FICHIE
R DE 6 lettres !!!"
1780 INPUT V$
1790 IF LEN(V$)>6 THEN 1790
1800 IF R1=0 THEN 1820
1810 CREATE V$/3/2100
1820 CLEAR @ DISP "APPUYEZ SUP 1
@ touche * CONT * POUR ENR
EGISTRER LES DONNEES" @ PAU
SE
1830 ASSIGN# 1 TO V$
1840 PRINT# 1 : B$(SORT(V$),J1,X
1850 1,M$,H1,H2,V$
1860 ASSIGN# 1 TO *
1870 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ
EXPLOITER LES DONNEES"
1880 INPUT I$
1890 IF I$="OUI" THEN 1900
1900 IF I$="NON" THEN 1920 ELSE
1910
1920 IF P=0 THEN CLEAR @ CHAIN "
TGRAFI1"
1930 IF R=1 THEN CLEAR @ CHAIN "
TGRAFI2"
1940 CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
EY LABEL pour la suite"
1950 DISP @ DISP "Appuyer sur la
touche en face du nom"
1960 RETURN
1970 CLEAR @ FOR I4=1 TO J1-2 ST
EP 13
1980 FOR I5=14 TO I4+12
1990 IF I5>J1-2 THEN 2020
2000 DISP:15: TAB(12):S(15):TAB(2
0):B(15)
2010 NEXT I5
2020 PAUSE
2030 NEXT I4
2040 RETURN
2050 CLEAR @ DISP "LA CAPACITE D
E STOCKAGE DU POISSON EST D
EPASSEZ(256 VALEURS ENREGIS
TRES)"
2060 OFF TIMER# 1 @ OFF INTR 4
2070 DISP @ DISP "R4 POUR DESTOC
KAGE DES DONNEES"
2080 RETURN

```

Programme traçage "température-temps"

```

100 REM TGRAFE : TEMPERATURE -
TEMPS
110 CLEAR @ DISP "ATTENDEZ UN 14"
120 START SUP 14
130 COM B(256) S(256) T(256) IN
TEGER J1=1:H1=H2=M(300)
140 DIM P1(2),P2(2),I(5),U(2)
150 J1=C(3):A(12):M(12)
160 INTEGER P1,K3,P4,J3,J4 I2,P
162 DE 6
164 J2=0 @ J3=0 @ T2=0 @ U=0
170 DISP @ DISP "Nom de la Rue"
180 INPUT U$
190 DISP @ DISP "Pue" @ M$ @ "a" @ M$
200 DISP @ DISP "No regard(100)
:DATE(ex07.01.83)"
210 INPUT D,R#
220 DISP "Resard No":D:"Inspecte
ur la sonde de TOC (dite ICH
TYO-THERME) le" @ R#
230 DISP "Temps sec.pluvieux:ora
900:ensoleille"
240 INPUT M# @ DISP "Temps" @ M$
250 ON KEY# 1:"GAPHE" GOSUB 280
260 ON KEY# 2:"ICTY01" GOTO 1140
270 ON KEY# 3:"FICH01" GOTO 1130
280 ON KEY# 4:"Autos" GOTO 1150
290 ON KEY# 5:"TGRAFI" GOTO 1160
300 CLEAR
310 DISP @ DISP "REGARPO INSPECTE
LE" @ R# @ "a" @ VAL$(H1)/%:"SVA
L"(H2)
320 DISP @ DISP " Appuyer sur
KEY LABEL pour la suite du
traitement"
330 DISP @ DISP " Appuyer sur
la touche en face du nom"
340 J1=J1-1
350 DISP @ DISP "FICH01 = lecture
e donneez"
360 DISP "GAPHE = tracer graphi
que"
370 DISP "ICTY01 = lancement me
ure"
380 GOTO 270
390 CLEAR
400 DISP "TEMPERATURE-TEMPS"
410 A1=0 @ A2=100
420 P0=0 @ F1=0
430 FOR V=1 TO J1-1
440 P0=MAX(A1,B(V))
450 F1=MIN(P2,B(V))
460 A1=F0
470 A2=F1
480 NEXT K
490 F2=0
500 F2=F0-F1
510 IF F2=0 THEN U=65 @ D2=1 @ F
2=01 @ GOTO 560
520 IF F2=1 THEN D2=1 @ GOTO 56

```

```

560 NEXT L2
570 MOVE S(183)
580 LABEL "TOC"
590 $TOY% Le "R#H"
600 IF J2=0 THEN 1000
610 MOVE J2:208/J1-1)+42 45
620 FOR J5=45 TO 175 STEP 130 D2
630 DRAW J2:208/(J1-1)+42 J5
640 MOVE J2:208/(J1-1)+42 J5+65
650 D2=U1
660 NEXT J5
670 MOVE J4:208/(J1-1)+42.45
680 FOR J6=45 TO 175 STEP 130 D2
690 DRAW J4:208/(J1-1)+42 J6
700 MOVE J4:208/(J1-1)+42 J6+65
710 D2=U1
720 NEXT J6
730 MOVE 42+208/(J1-1):(B(1)-F
1):130/F2+45+U
740 FOR O=1 TO J1-1
750 DRAW O:208/(J1-1)+42 (B(O)-
F1):130/F2+45+U
760 NEXT O
770 PAUSE
780 CLEAR
790 DISP " Appuyer sur KEY"
800 BEL pour la suite du trait
ement"
810 DISP @ DISP " Appuyer su
r la touche en face du nom"
820 DISP @ DISP "FICH01 = lectu
re donneez"
830 DISP "GAPHE = tracer graphi
que"
840 DISP "ICTY01 = lancement m
sure"
850 DISP "Autos = Gestion de
l'ICTY0-THERME"
860 RETURN
870 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
880 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
890 CLEAR @ CHAIN "Autos"
900 CLEAR @ CHAIN "TGRAFI"

```

Programme de traçage : Temperature-Distance

```

1340 J3=K
1350 NEXT I
1360 IF S(K)=0 OF S(K)=K-1 THEN
1370 EN 1270 ELSE 1280
1380 S(K)=S(K-1)
1390 IF I=J1-1 AND J4=0 THEN 130
1400 NEXT K
1410 J4=J1-1
1420 GOTO 1360
1430 IF S(K-1)=0 THEN 1280
1440 IF S(K) < S(K-1) THEN 1270
1450 IF T(K)=0 THEN 1280
1460 J4=K
1470 IF J3=0 AND J4=0 THEN 2020
1480 T3=0
1490 FOR I=J3 TO J4
1500 T3=T3+BC(I) @ NEXT I
1510 PRINT @ PRINT "Longueur line
1520 PRINT @ "%VAL(T3/(J4-J3+1))
1530 T3=T3/(J4-J3+1)
1540 @ PRINT "Toc moyen
1550 @ du reseau en oc=
1560 T2=0
1570 T1=0 @ T7=(J4-J3+1)/1000
1580 PRINT "Temps d'immersion
1590 @ "LICHTYO-THERME en secon
1600 des = " T1
1610 V=0 @ V=(S(J4)-T7)*59*100
1620 + S/100 @ PRINT "Vitesse m
1630 @enne en m /mn= " V @ PRINT
1640 IF J3=0 THEN J2=J3+1
1650 A1=0 @ A2=100
1660 F0=0 @ F1=0
1670 FOR K=J3 TO J4
1680 F0=MAX(A1,B(K))
1690 F1=MIN(A2,B(K))
1700 A1=F0
1710 A2=F1
1720 NEXT K
1730 F2=0
1740 F3=F0-F1
1750 IF F2=0 THEN U=70 @ D2=1 @
1760 IF F2=0 @ GOTO 1740
1770 IF F2=1 THEN D2=1 @ GOTO 1
1780 T4=0
1790 IF F2=2 THEN D2=2 @ GOTO 1
1800 IF F2=3 THEN D2=3 @ GOTO 1
1810 IF F2=4 THEN D2=4 @ GOTO 1
1820 IF F2=5 THEN D2=5 @ GOTO 1
1830 IF F2=6 THEN D2=6 @ GOTO 1
1840 IF F2=7 THEN D2=7 @ GOTO 1
1850 IF F2=8 THEN D2=8 @ GOTO 1
1860 IF F2=9 THEN D2=9 @ GOTO 1
1870 IF F2=10 THEN D2=10 @ GOTO 1
1880 IF F2=11 THEN D2=11 @ GOTO
1890 IF F2=12 THEN D2=12 @ GOTO
1900 IF F2=13 THEN D2=13 @ GOTO
1910 IF F2=14 THEN D2=14 @ GOTO
1920 IF F2=1.4 THEN D2=1.4 @ GOTO
1930 CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
1940 @ LABEL pour la suite du
1950 @ traitement"
1960 DISP @ DISP "Appuyer sur la
1970 @ touche en face du nom"
1980 RETURN
1990 S(A)=0 @ T(0)=0 @ J3=0 @ J4
2000 =0
2010 FOR K=1 TO J1-1
2020 IF S(K)=S(K-1) THEN 1300
2030 IF S(K-1)=0 THEN 1340 ELSE
2040 MOD 3600
2050 R=P1 DIV 60 @ P2=VAL(F2)
2060 R=P1 MOD 60 @ P3=VAL(F3)
2070 IF R=0 THEN P3="0" @ VAL(F4)
2080 @ ELSE R=VAL(R)
2090 T=R/100 THEN P3="0" @ P2#
2100 T=R/100 THEN P3="0" @ P2#
2110 MOVEL1=1
2120 LABEL L1
2130 NEXT I
2140 FOR K=1 TO J1-1
2150 LDIR 90
2160 MOVE 254.1
2170 LABEL "Temps"
2180 LDIR 0
2190 IF F2<=1 THEN U1=2 ELSE U1=
2200 1
2210 FOR L2=45 TO 175 STEP 130/D2
2220 MOVE 2.12
2230 L3=INT(F2/130*(L2-45)*10+.5)
2240 /10+F1
2250 LABEL VAL(L3)
2260 NEXT L2
2270 MOVE 5.127
2280 LABEL "Troc" Réseau no"U1
2290 L3(D)=L3 @ R#
2300 IF J3=0 THEN 1120
2310 MOVE J3*208/(J1-1)+42.45
2320 FOR J5=45 TO 175 STEP 130/D
2330 DRAW J3*208/(J1-1)+42.45
2340 MOVE J3*208/(J1-1)+42.45+55
2350 /D2/U1
2360 NEXT J5
2370 MOVE J4*208/(J1-1)+42.45
2380 FOR J6=45 TO 175 STEP 130/D
2390 DRAW J4*208/(J1-1)+42.45
2400 MOVE J4*208/(J1-1)+42.45+55
2410 /D2/U1
2420 NEXT J6
2430 MOVE 42+208/(J1-1)*(B(1)-F1
2440 )/130/F2+45+U
2450 FOR O=1 TO J1-1
2460 DRAW O*208/(J1-1)+42.45+
2470 F1/130/F2+45+U
2480 NEXT O
2490 COPY
2500 PAUSE @ DISP "Appuyer sur K
2510 @ LABEL pour la suite du
2520 @ traitement"
2530 DISP @ DISP "Appuyer sur la
2540 @ touche en face du nom"
2550 RETURN
2560 FOR L1=42 TO 250 STEP 30
2570 L4=(L1-42)*(J1-1)*X1/208000
2580 R4=0 @ T5=3600*(H1+60)*H2
2590 R4=L4+T5
2600 MOD 3600
2610 DIV 3600
2620
2630
2640
2650
2660
2670
2680
2690
2700
2710
2720
2730
2740
2750
2760
2770
2780
2790
2800
2810
2820
2830
2840
2850
2860
2870
2880
2890
2900
2910
2920
2930
2940
2950
2960
2970
2980
2990
3000
3010
3020
3030
3040
3050
3060
3070
3080
3090
3100
3110
3120
3130
3140
3150
3160
3170
3180
3190
3200
3210
3220
3230
3240
3250
3260
3270
3280
3290
3300
3310
3320
3330
3340
3350
3360
3370
3380
3390
3400
3410
3420
3430
3440
3450
3460
3470
3480
3490
3500
3510
3520
3530
3540
3550
3560
3570
3580
3590
3600
3610
3620
3630
3640
3650
3660
3670
3680
3690
3700
3710
3720
3730
3740
3750
3760
3770
3780
3790
3800
3810
3820
3830
3840
3850
3860
3870
3880
3890
3900
3910
3920
3930
3940
3950
3960
3970
3980
3990
4000
4010
4020
4030
4040
4050
4060
4070
4080
4090
4100
4110
4120
4130
4140
4150
4160
4170
4180
4190
4200
4210
4220
4230
4240
4250
4260
4270
4280
4290
4300
4310
4320
4330
4340
4350
4360
4370
4380
4390
4400
4410
4420
4430
4440
4450
4460
4470
4480
4490
4500
4510
4520
4530
4540
4550
4560
4570
4580
4590
4600
4610
4620
4630
4640
4650
4660
4670
4680
4690
4700
4710
4720
4730
4740
4750
4760
4770
4780
4790
4800
4810
4820
4830
4840
4850
4860
4870
4880
4890
4900
4910
4920
4930
4940
4950
4960
4970
4980
4990
5000
5010
5020
5030
5040
5050
5060
5070
5080
5090
5100
5110
5120
5130
5140
5150
5160
5170
5180
5190
5200
5210
5220
5230
5240
5250
5260
5270
5280
5290
5300
5310
5320
5330
5340
5350
5360
5370
5380
5390
5400
5410
5420
5430
5440
5450
5460
5470
5480
5490
5500
5510
5520
5530
5540
5550
5560
5570
5580
5590
5600
5610
5620
5630
5640
5650
5660
5670
5680
5690
5700
5710
5720
5730
5740
5750
5760
5770
5780
5790
5800
5810
5820
5830
5840
5850
5860
5870
5880
5890
5900
5910
5920
5930
5940
5950
5960
5970
5980
5990
6000
6010
6020
6030
6040
6050
6060
6070
6080
6090
6100
6110
6120
6130
6140
6150
6160
6170
6180
6190
6200
6210
6220
6230
6240
6250
6260
6270
6280
6290
6300
6310
6320
6330
6340
6350
6360
6370
6380
6390
6400
6410
6420
6430
6440
6450
6460
6470
6480
6490
6500
6510
6520
6530
6540
6550
6560
6570
6580
6590
6600
6610
6620
6630
6640
6650
6660
6670
6680
6690
6700
6710
6720
6730
6740
6750
6760
6770
6780
6790
6800
6810
6820
6830
6840
6850
6860
6870
6880
6890
6900
6910
6920
6930
6940
6950
6960
6970
6980
6990
7000
7010
7020
7030
7040
7050
7060
7070
7080
7090
7100
7110
7120
7130
7140
7150
7160
7170
7180
7190
7200
7210
7220
7230
7240
7250
7260
7270
7280
7290
7300
7310
7320
7330
7340
7350
7360
7370
7380
7390
7400
7410
7420
7430
7440
7450
7460
7470
7480
7490
7500
7510
7520
7530
7540
7550
7560
7570
7580
7590
7600
7610
7620
7630
7640
7650
7660
7670
7680
7690
7700
7710
7720
7730
7740
7750
7760
7770
7780
7790
7800
7810
7820
7830
7840
7850
7860
7870
7880
7890
7900
7910
7920
7930
7940
7950
7960
7970
7980
7990
8000
8010
8020
8030
8040
8050
8060
8070
8080
8090
8100
8110
8120
8130
8140
8150
8160
8170
8180
8190
8200
8210
8220
8230
8240
8250
8260
8270
8280
8290
8300
8310
8320
8330
8340
8350
8360
8370
8380
8390
8400
8410
8420
8430
8440
8450
8460
8470
8480
8490
8500
8510
8520
8530
8540
8550
8560
8570
8580
8590
8600
8610
8620
8630
8640
8650
8660
8670
8680
8690
8700
8710
8720
8730
8740
8750
8760
8770
8780
8790
8800
8810
8820
8830
8840
8850
8860
8870
8880
8890
8900
8910
8920
8930
8940
8950
8960
8970
8980
8990
9000
9010
9020
9030
9040
9050
9060
9070
9080
9090
9100
9110
9120
9130
9140
9150
9160
9170
9180
9190
9200
9210
9220
9230
9240
9250
9260
9270
9280
9290
9300
9310
9320
9330
9340
9350
9360
9370
9380
9390
9400
9410
9420
9430
9440
9450
9460
9470
9480
9490
9500
9510
9520
9530
9540
9550
9560
9570
9580
9590
9600
9610
9620
9630
9640
9650
9660
9670
9680
9690
9700
9710
9720
9730
9740
9750
9760
9770
9780
9790
9800
9810
9820
9830
9840
9850
9860
9870
9880
9890
9900
9910
9920
9930
9940
9950
9960
9970
9980
9990

```

Programme

Suite "TGRAF1"

```

140 IF F2= 9 THEN D2=9 @ GOTO 1
141 PAUSE
142 IF F2=1 THEN D2=10 @ GOTO 1
143 IF F2=1 THEN D2=11 @ GOTO 200
144 IF F2=1 THEN D2=12 @ GOTO 210
145 IF F2=1 THEN D2=13 @ GOTO 220
146 IF F2=1 THEN D2=14 @ GOTO 230
147 IF F2=1 THEN D2=15 @ GOTO 240
148 IF F2>1 5 THEN D2=16 @ GOTO 250
149 GOCLEAR
150 IF S(J4)>99 9 THEN 1750 ELS
151 E 1770
152 P=41 @ GOTO 1780
153 P=33
154 SCALE 0,255,0,191
155 XAXIS P,20,42,250
156 YAXIS 42,173-P,0,2,P+2,175
157 LDIF 90
158 MOVE 253,2
159 LABEL " "
160 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
161 IF S(J4)=1-42+S(J4)*200+10
+5)/10
162 MOVE L1,1
163 LABEL VAL$(L5)
164 NEXT L1
165 LDIF 0
166 FOR L2=P+2 TO 175 STEP (175-P)/02
167 MOVE 2,1,2
168 INT(F2/(175-P))*(L2-P-2)*
10+5)/10+1
169 LABEL VAL$(L6)
170 NEXT L2
171 MOVE 5,1,83
172 "OC ICTY0-THERME d
ans resseu"
173 MOVE S(J3)*200/S(J4)+42,160
J3)-F1)*(173-P)/F2+P+2+0
174 FOR 0,13 TO J4
175 DRAM S(J3)*200/S(J4)+42,160
)-F1)*(173-P)/F2+P+2+0
176 NEXT 0
177 COPY
178 PAUSE
179 CLEAR @ DISP "Appuyer sur la
tache en face"
180 DISP @ DISP "Appuyer sur la
tache en face"
181 RETURN
182 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
183 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
184 CLEAR @ CHAIN "Autost"
185 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"

```

Fichier de données

```

1 REM *FICH01 = FICHIER DE DON
NEES *
2 COM B(255)/S(256)/T(256) IN
TEGER J1,J1,H1,H2,M$(30)
3 DIM GACC(Y$(6))
4 BEEP 50,500
5 CLEAR
6 CAT
7 DISP @ CHOISISSEZ LE FICHIER
A LIRE "
8 PAUSE
9 CLEAR
10 DISP "NOM DU FICHIER A LIPE"
11 INPUT V$
12 IF LEN(V$)<6 THEN 110
13 ASSIGN# 1 TO V$
14 READ# 1, B(),S(),T(),J1,M1
M$,H1,H2,V$
15 ASSIGN# 1 TO *
16 CLEAR
17 ON KEY# 1,"TGRAF1" GOTO 290
18 ON KEY# 2,"TGRAF2" GOTO 300
19 ON KEY# 3,"DONNEE" GOSUB 310
20 ON KEY# 4,"CORREC" GOSUB 400
21 DISP " * TRAITEMENT DES DON
NEES * "
22 DISP @ DISP " TGRAF1 = ICTY
OTHEREME TPRATE "
23 DISP @ DISP " TGRAF2 = ICTY
OTHEREME IMMOBILE "
24 DISP @ DISP " DONNEE = LECTU
RE DES DONNEES "
25 DISP @ DISP " CORREC = CORRE
CTION DES DONNEES "
26 DISP @ DISP " Appuyer sur KE
Y LABEL pour le traitemen
t des mesures "
27 DISP @ DISP " Appuyer sur le
s touches en face des NOMS "
28 GOTO 280
29 CLEAR @ CHAIN "TGRAF1"
30 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"
31 CLEAR @ DISP "ville de "&M$
32 DISP @ DISP "Inspection a "&
VAL$(H1)%&"&VAL$(H2)%&"mn"
33 DISP @ DISP "Cadence mesures
="&VAL$(X1/1000)%&"s"
34 DISP @ DISP "Nom du fichier="
&V$
35 DISP @ DISP @ DISP "Appuyer
sur CONT"
36 PAUSE
37 CLEAR
38 FOR I=1 TO J1-2 STEP 13
39 FOR I=14 TO I+12
40 IF I>J1-2 THEN 450
41 DISP I;TAB(12);S(I5);TAB(20
);B(I5)
42 NEXT I

```

ANNEXE XI

Programme de simulation des Isothermes
écrit en FORTRAN sur VAX 11/750

```

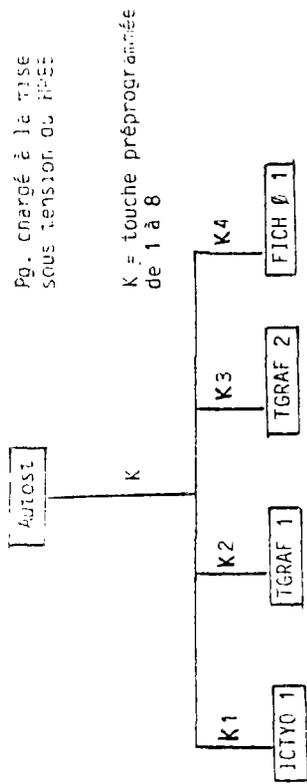
DIMENSION A(1,20),AA(0,1,20),YY(20)
LOGICAL*1 I1,I2
OPEN(UNIT 1,FILE='DONNE.DAT',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT 2,FILE='DEBQQ.DAT',STATUS='OLD')
10 FORMAT(1E4,F4.2,F4.2)
11 FORMAT(1E)
12 FORMAT(F4.2)
13 FORMAT(F5.1)
20 FORMAT(1E,10E10)
21 FORMAT(0)
READ(1,10)A(1,0)
READ(1,11)A(1,1)
IF(KTYPE.EQ.1)OR(KTYPE.EQ.2) GO TO 100
IF(KTYPE.EQ.3) GO TO 400
100 READ(1,1)DT
CALL INI1
CALL WIND(A(1,0),2700,4095,3071)
CALL WIND(A(1,1),6,136,3)
IF(KTYPE.EQ.2) GO TO 120
CALL FORTRM(0,1,2,3,6,24,'TRACE ISOOTHERME SUR 15 m')
CALL PEN(1)
CALL SEGMUR(0,0,23,2,2,0)
CALL ECRITX(0,14,2,2,3,2,8,'DT = .1')
CALL PEN(1)
CALL SEGMUR(0,1,4,23,1,4,5)
CALL ECRITX(0,14,1,4,3,2,8,'DT = .2')
CALL PEN(1)
CALL SEGMUR(0,0,5,23,0,5,6)
CALL ECRITX(0,14,0,5,3,2,8,'DT = .3')
CALL PEN(1)
CALL SEGMUR(0,2,2,31,2,2,7)
CALL ECRITX(0,14,2,2,3,2,8,'DT = .4')
CALL PEN(1)
CALL SEGMUR(0,1,4,31,1,4,8)
CALL ECRITX(0,14,1,4,3,2,8,'DT = .5')
GO TO 130
130 CALL WIND(A(1,2),4095,2700)
CALL WIND(A(1,3),4,20,28)
CALL AXES(0,0,0,16,0,3,5,0,-1,5,4,1)
CALL AXES(1,0,26,0,2,0,35,-1,5,0,3,4,1)
DO 200 K=1,5
IF(K.EQ.1) THEN
L=0
ELSE
L=K*3
ENDIF
VAR=K/10.
DO 250 J=1,20
X(J)=JA*0.
R=0.1*DT*(1.001-1.88*1440*X(J)*VAR)
IF (R.LE.1.0) THEN
R=1.
ENDIF
F=LOG(R)
Y(J)=4.4*X(J)*F*10
Y(J)=(Y(J)*F)*4.5*100
250 CONTINUE
DO 260 JJ=1,10
IF(JJ.LE.5) THEN
XX(JJ)=X(JJ)
YY(JJ)=Y(JJ)
IF(KTYPE.EQ.2) THEN
F=50.
ELSE
F=50.
ENDIF
ENDIF
IF(YY(JJ).GT.F) THEN
YY(JJ)=F
ENDIF
ELSE
J=5*JJ-20
XX(JJ)=X(J)
YY(JJ)=Y(J)
IF(YY(JJ).GT.F) THEN
YY(JJ)=F
ENDIF
ENDIF

```


Organigramme de "FICHØ1"

Appel de "FICHØ1" par la touche K3

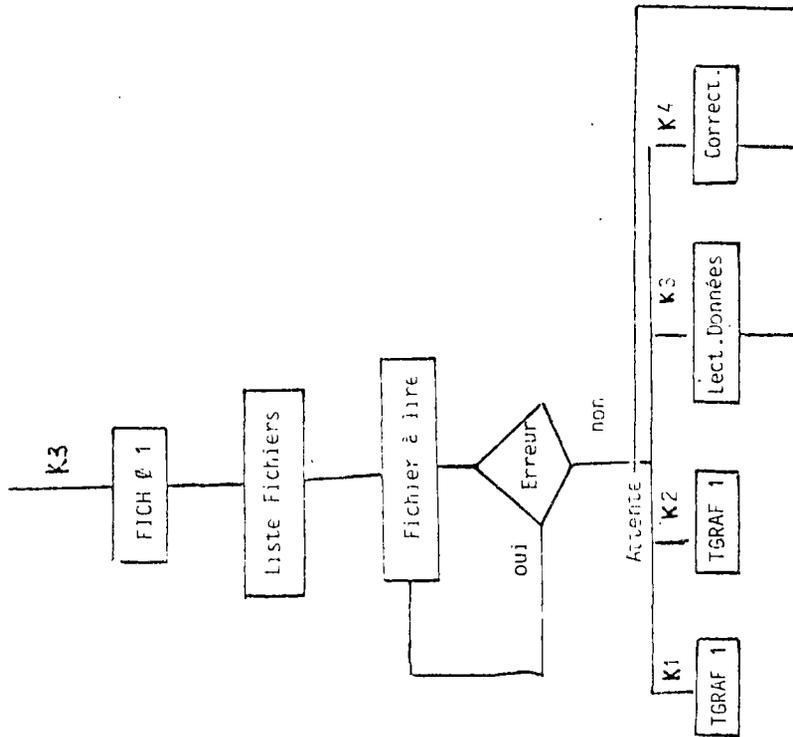
DEFINITION DES PROGRAMMES



JCTYO 1 = Pg. de commandes de JICHTYO-IRERNE
 TGRAF 1 = Pg. de tracage de graphiques de la température en fonction de la distance et du temps
 TGRAF 2 = Pg. de tracage du graphique température-temps
 FICHØ 1 = Pg. de lecture de fichiers de données.

Remarque

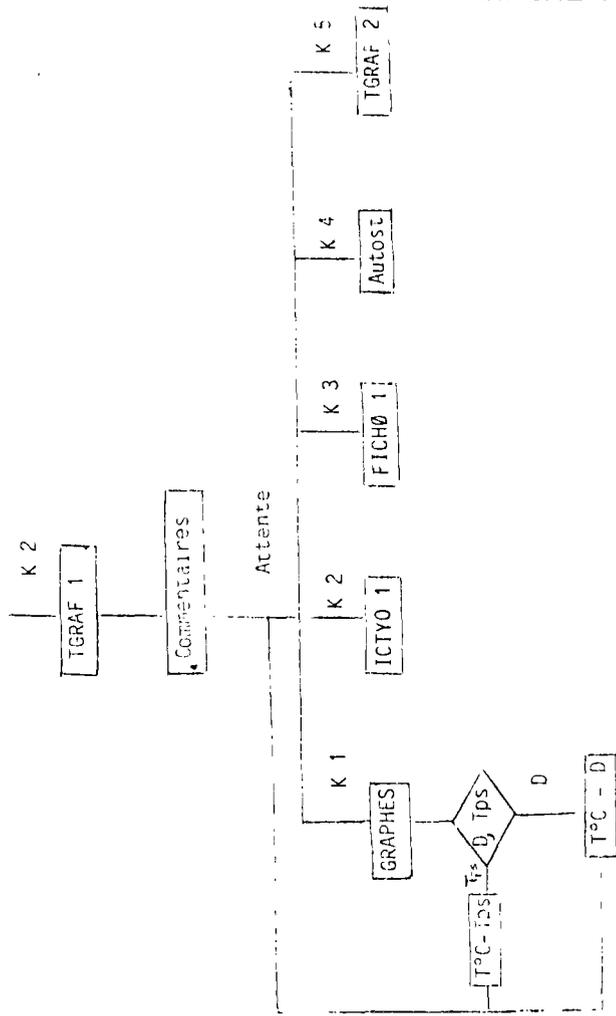
Les programmes TGRAF 1 et TGRAF 2 ne peuvent pas être utilisés directement avant d'avoir chargé un fichier ou procédé à une campagne de mesure.
 Seuls JCTYO 1 et FICH Ø 1 sont directement utilisables.



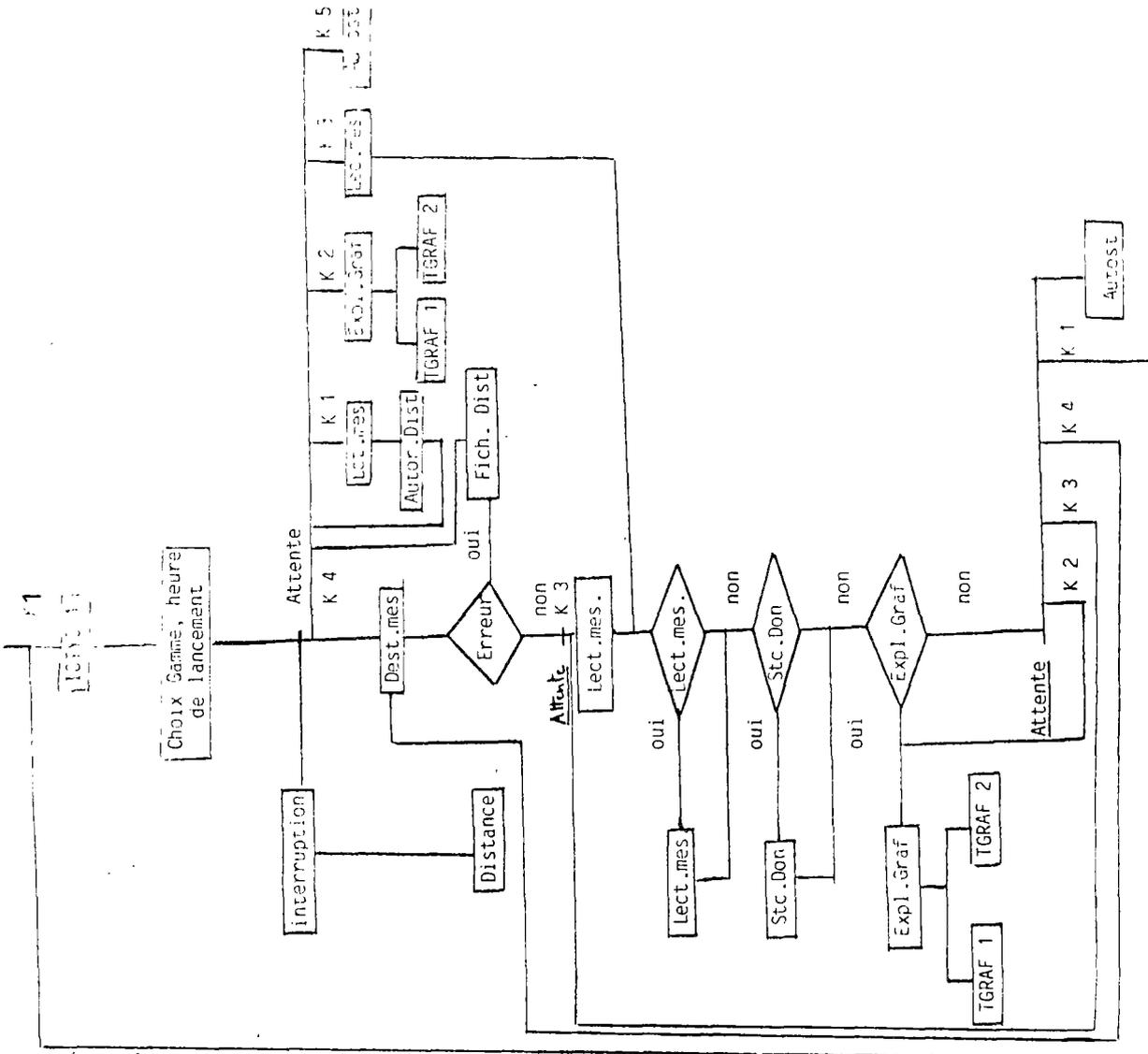
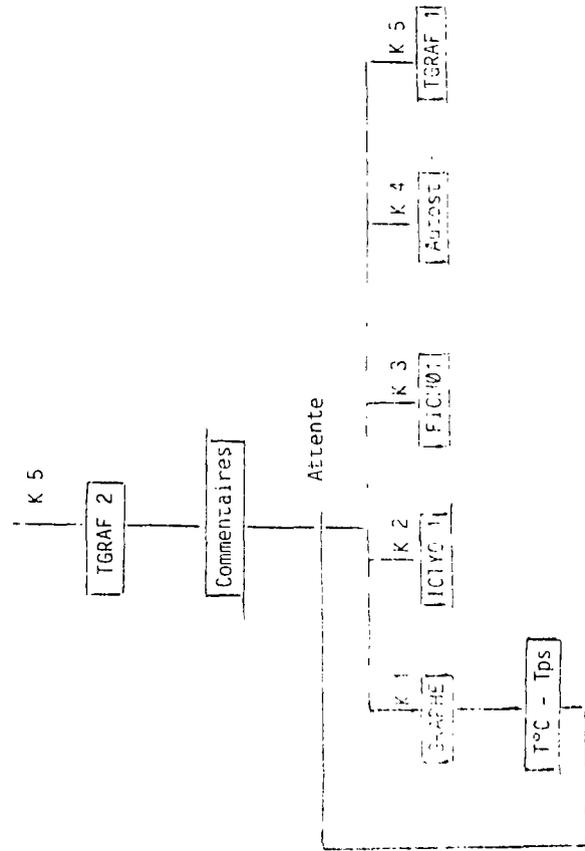
Pl.2 - Organigramme de "FICHØ1"

Pl.1 - Définition des programmes

Pl. 2 - Gestion des données de l'inspection des installations de réseaux



Pl. 3 - Gestion du graphique d'une inspection à poste fixe



Pl. 1 - Organigramme de ICTYO1