



**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 CERGREN 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 CERGREN 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.*



## R E S U M E

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
$\lambda$	coefficient de biodégradation	$T^{-1}$
$\rho$	masse volumique	$ML^{-3}$
$\beta$	coefficient d'expansion thermique	$\text{celsius}^{-1}$



$\epsilon$	coefficient de diffusion moléculaire	$L^2 T^{-1}$
$p^* = p + \rho g x_i \delta_{iz}$	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 $U_i$	$LT^{-1}$
$\mu$	viscosité dynamique	$ML^{-1} T^{-1}$
$x, y, z$	coordonnées dans un système d'axes cartésiens orthonormés	$L$
$q$ ou $QI$	débit d'infiltration	$L^3 T^{-1}$
$\nu$	viscosité cinématique	$L^2 T^{-1}$
$\delta_{iz}$	symbole de KRONECKER (égal à 1 si $i=z$ et à zéro autrement)	

## notations particulières

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

$\Delta$  = 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</u> <u>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</u> <u>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</u> <u>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 discriminatoire (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 discriminatoire 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<sup>-1</sup>. 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.

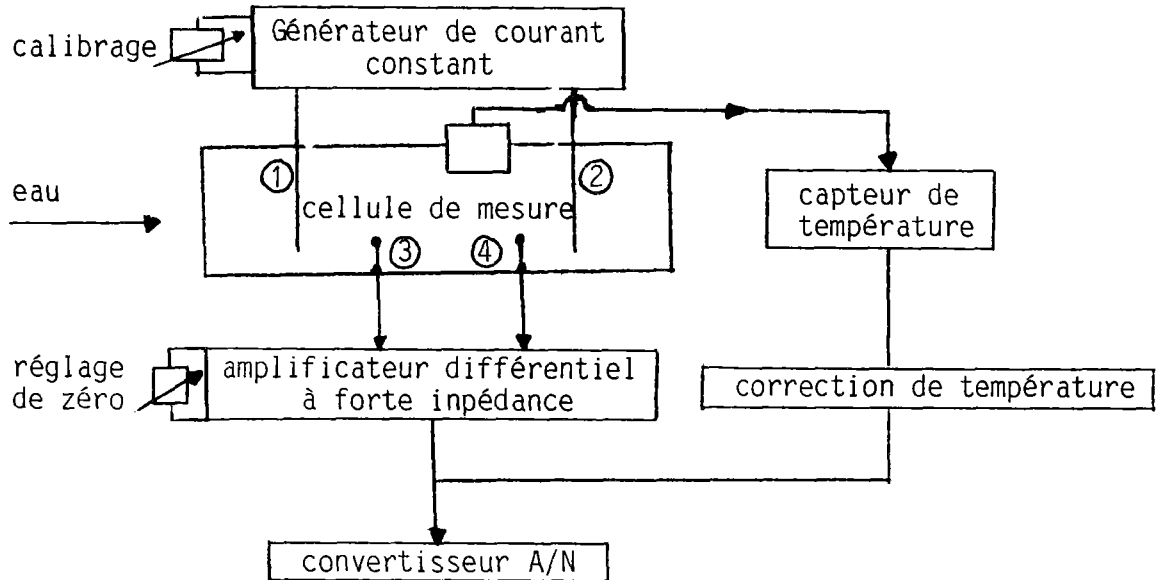


Figure 1 : Principe de mesure à 4 électrodes (documents PRUCAL)

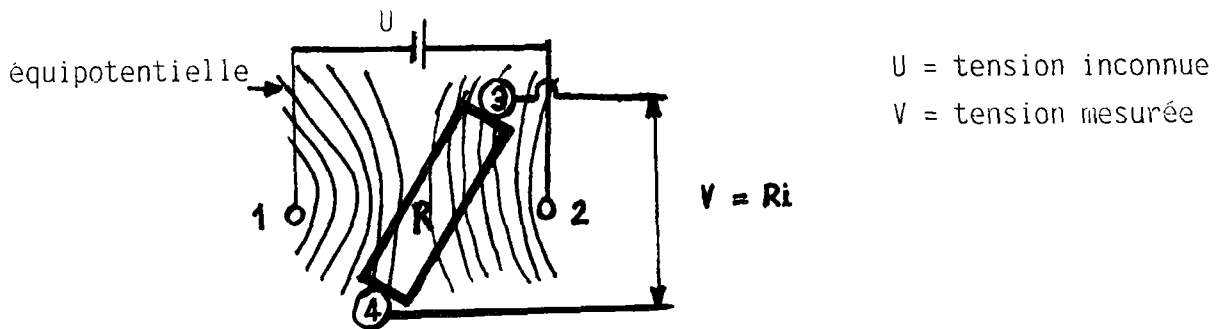


Figure 2 : Disposition des électrodes dans la cellule de mesure (capteur-Ponselle)

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  $25^{\circ}\text{C}$  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  $20^{\circ}\text{C}$  [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 cablée, 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'aborderons 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.

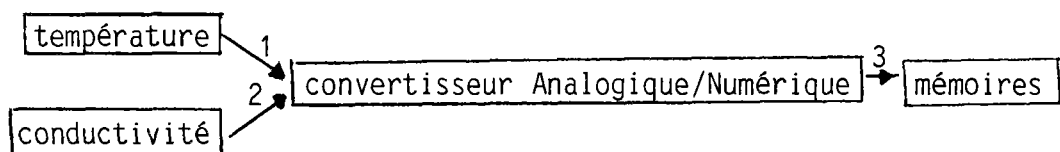
Les sorties vers l'interface comportent :

- 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, déjaugée 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'Ichthyotherme.

## 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 :



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

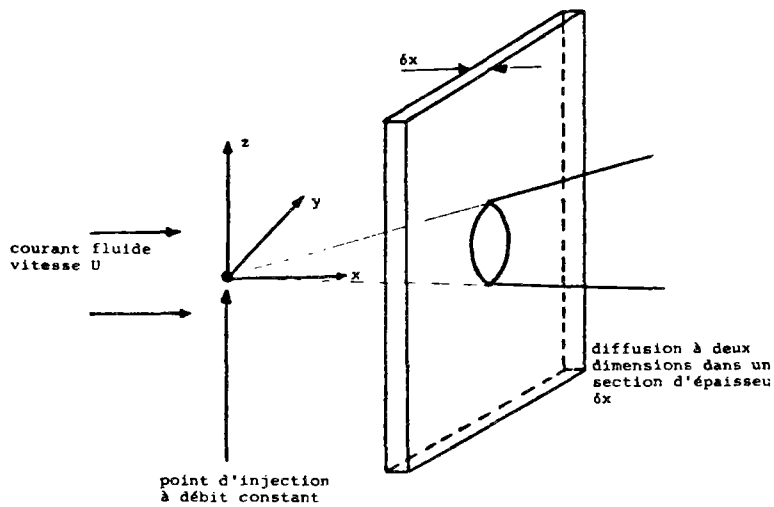
$$T(\infty) = 0$$

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

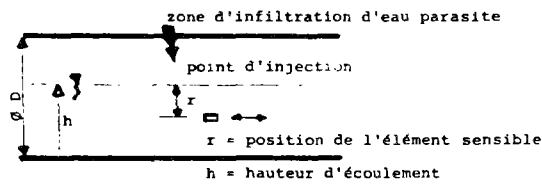
La solution analytique est :

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

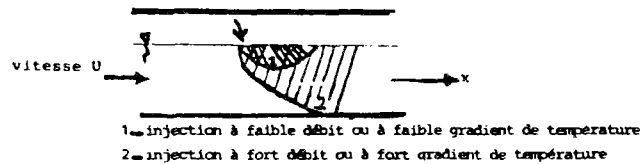
**Fig. 3** - Réduction du problème de 3 dimensions à 2 dimensions en considérant une diffusion dans une section transversale en mouvement - tiré de (43)



**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  $10^\circ\text{C}$  mais cette valeur n'est utilisable qu'en régime d'écoulement laminaire. En écoulement turbulent, la diffusivité thermique  $\epsilon_T$  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  $\lambda$  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'Ichthyotherme 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.

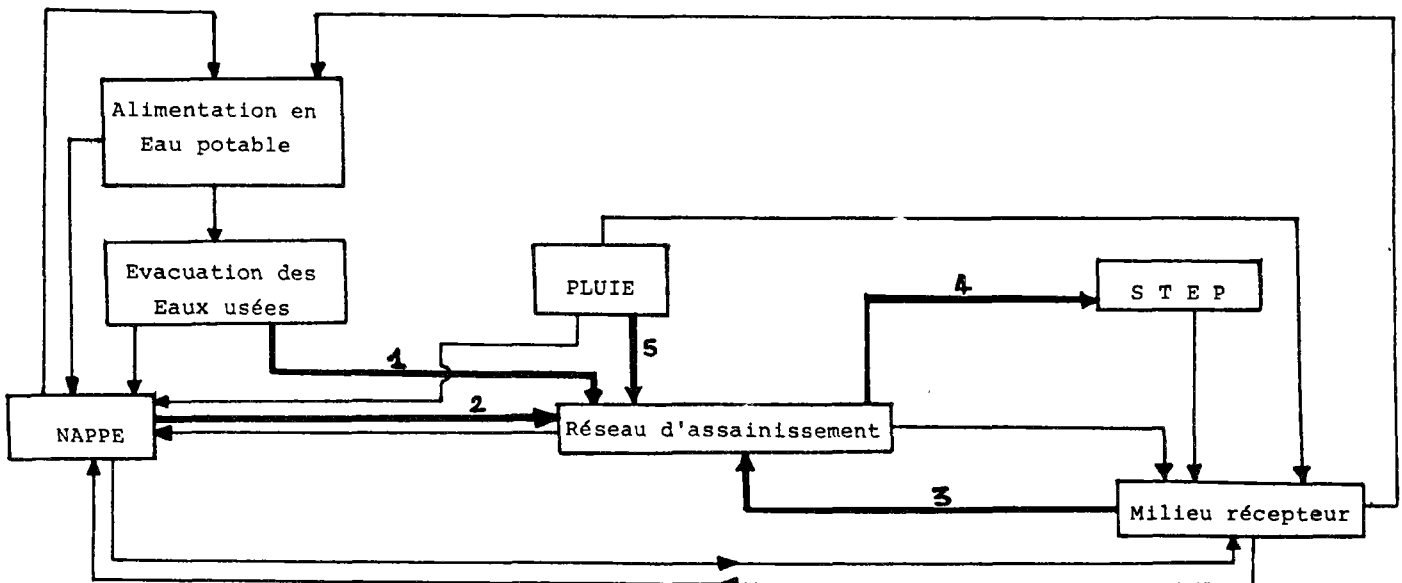
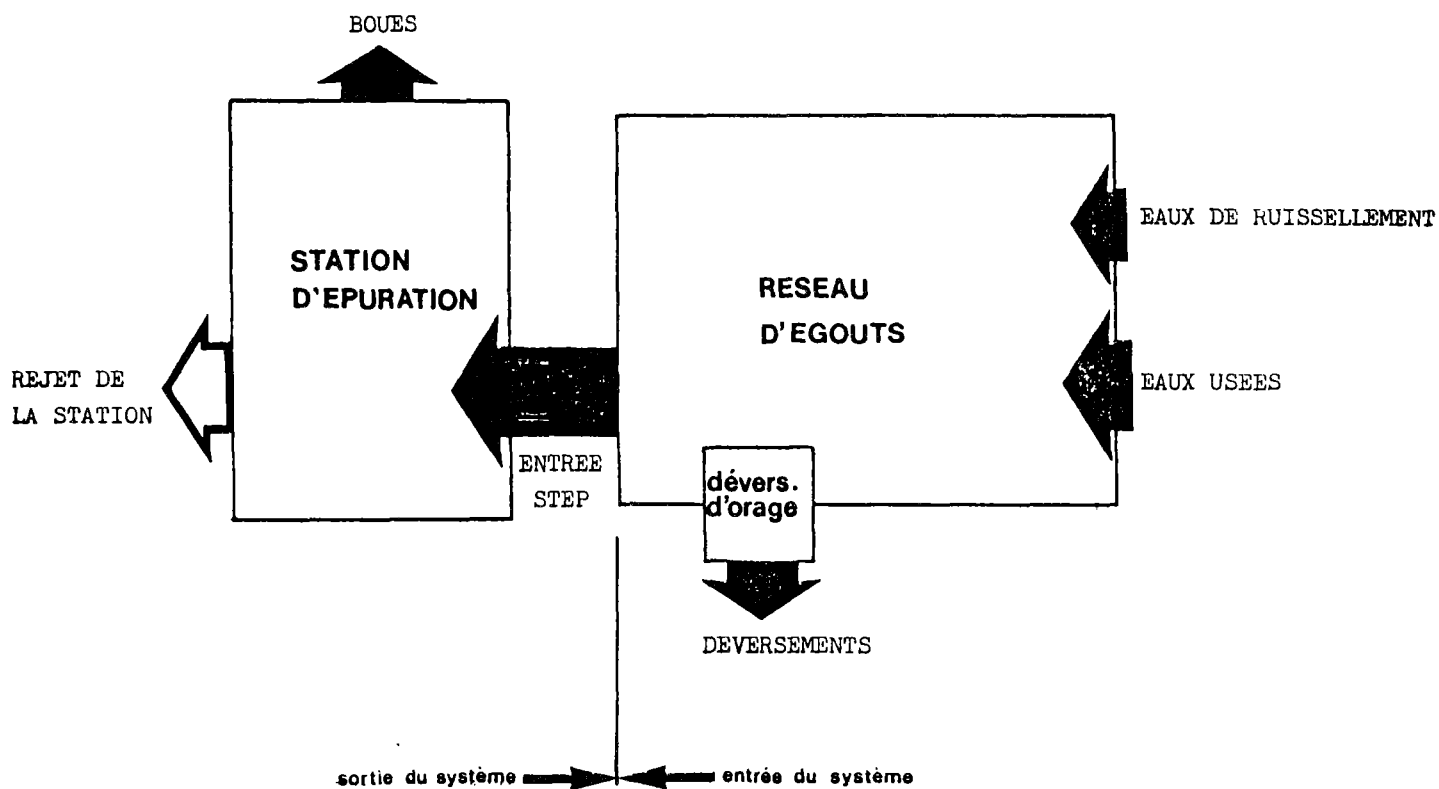


Fig.6 - Approche systémique des eaux parasites

(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

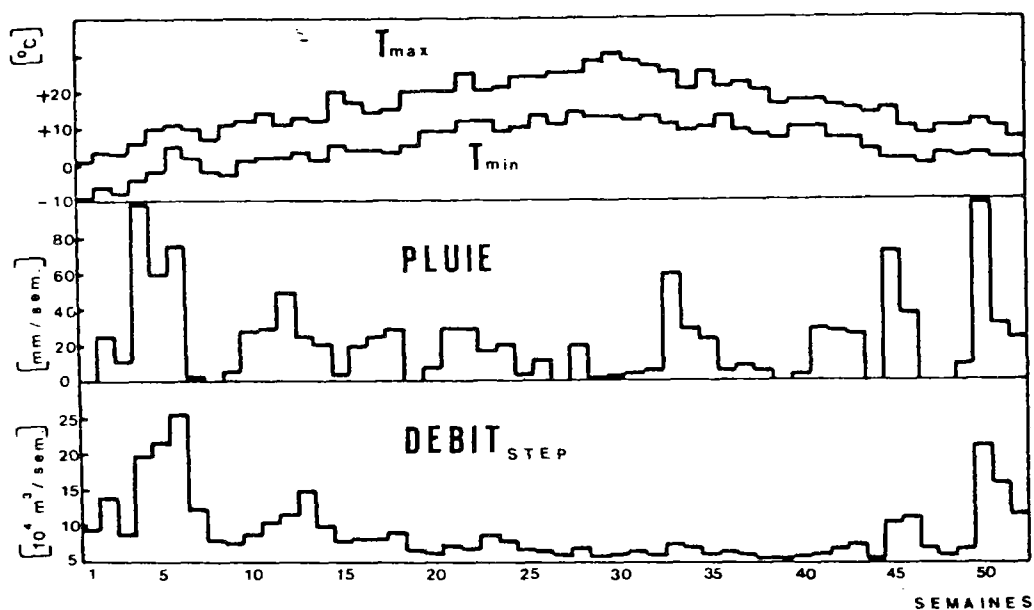


Fig.8 - Températures, pluies et débits d'entrée de la STEP en 1979 tiré de (70)

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  $20^\circ\text{C}$  (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 résiduares 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'égout  
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'Épuration 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'Épuration 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

**C**ONTRAIREMENT 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).	

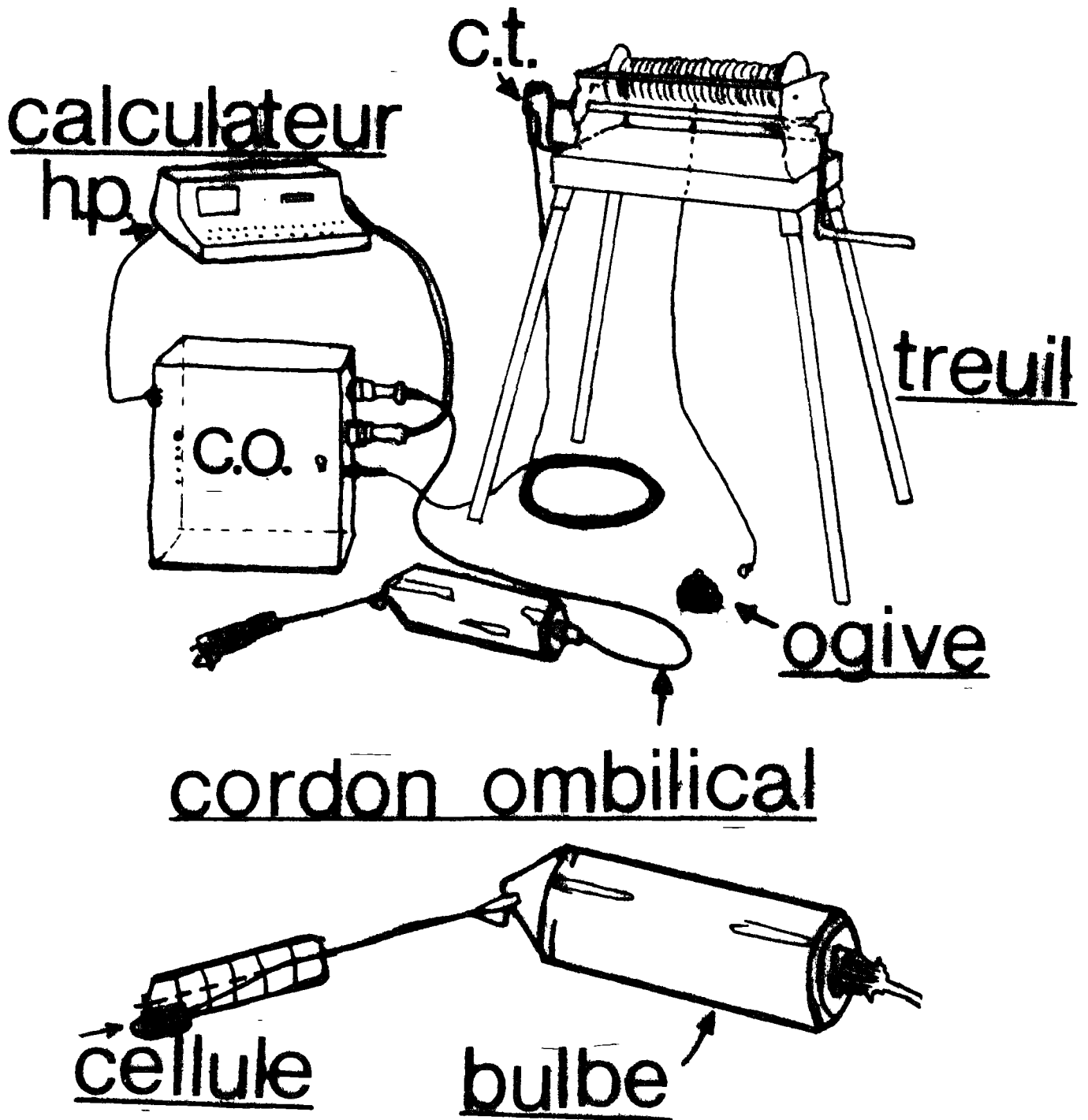
#### CALCULATEUR

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  $\left\{ \begin{array}{l} T = f \text{ (tps)} \\ T = \bar{f} \text{ (L)} \end{array} \right.$

#### COMPTAGE DISTANCE

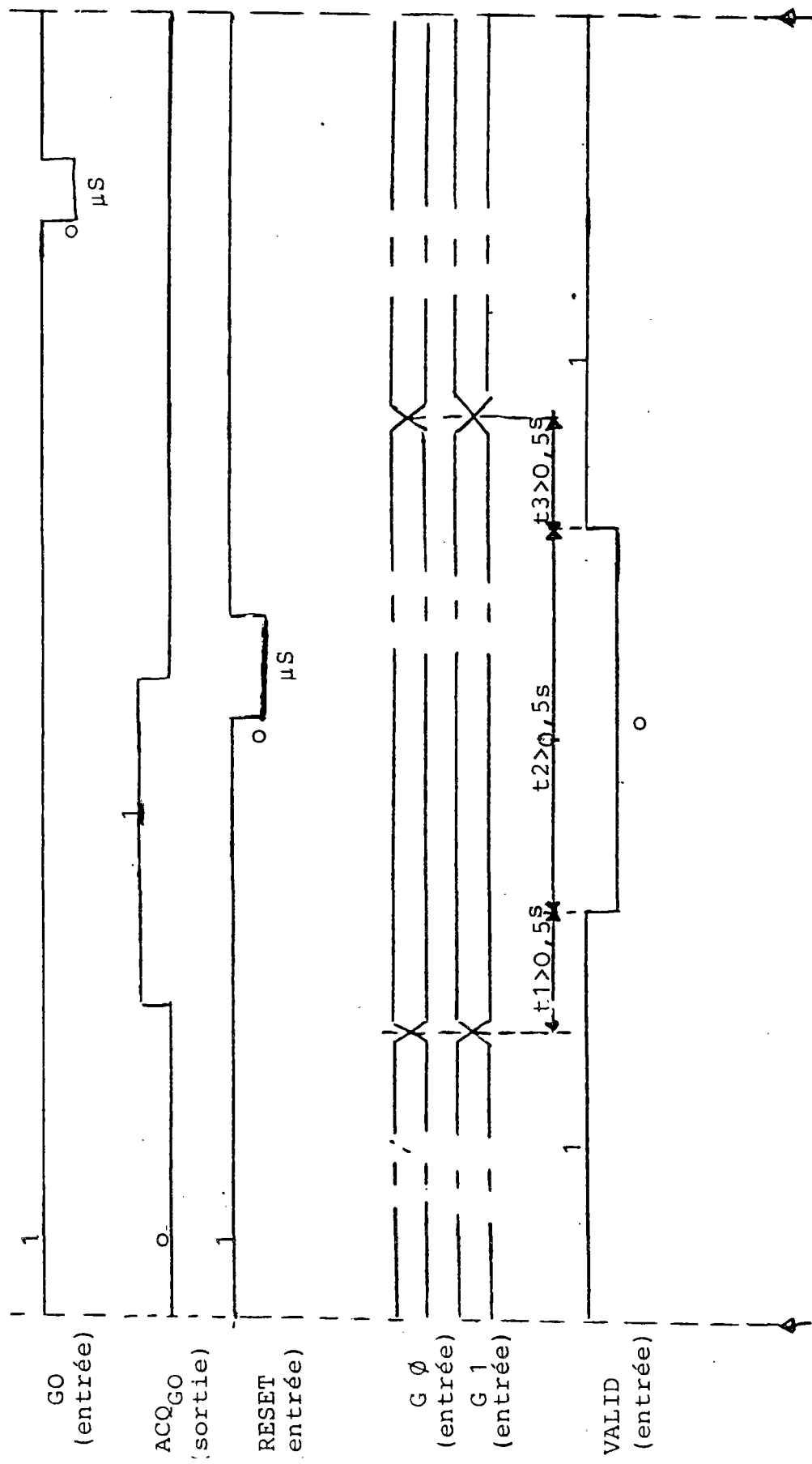
Générateur d'impulsion sur treuil  
Liaison par câble jusqu'à 300 m  
Top par interrupteur  
Suivi en temps réel de la position de la sonde

# 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

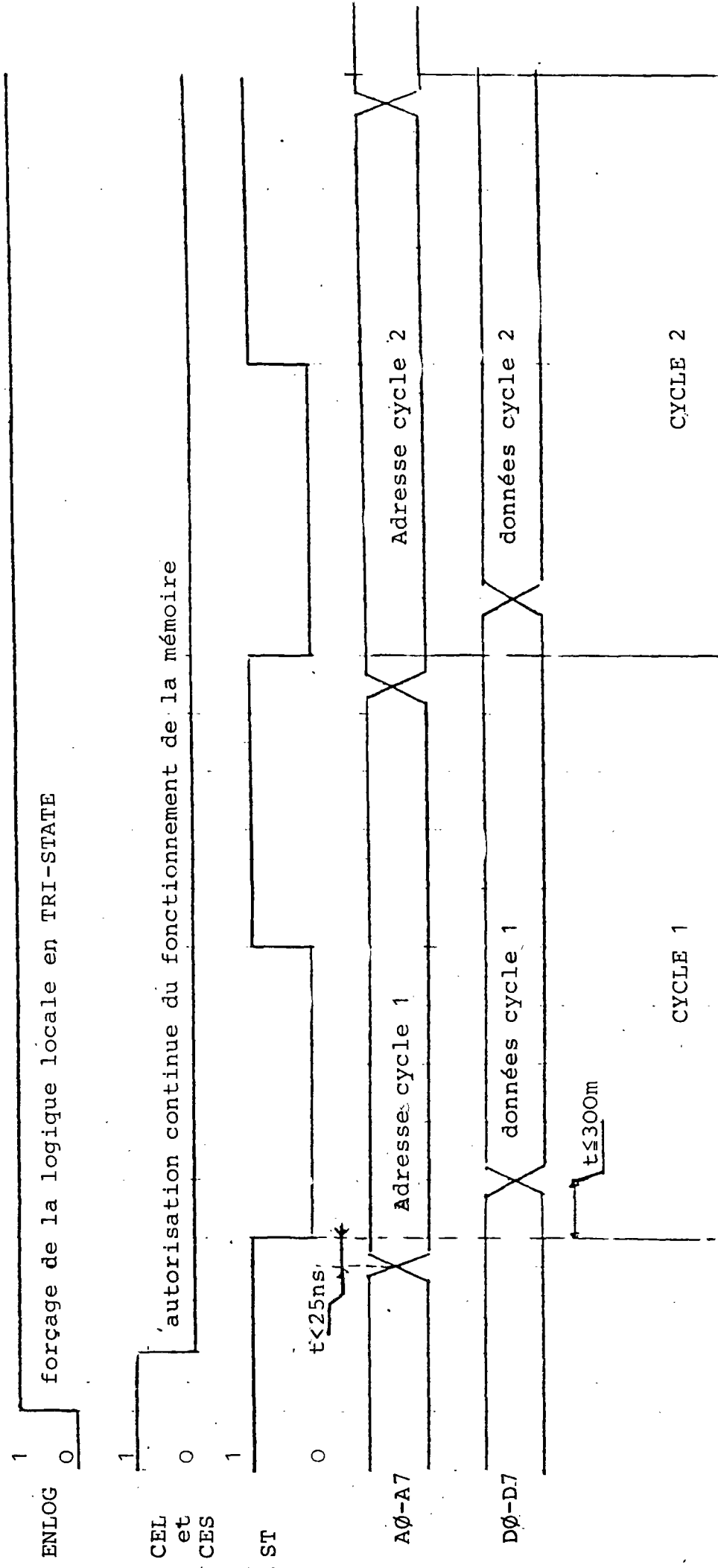


Fig.1 - Recueil des données à partir d'un automate industriel (version 1 sur site)

057\*019\*046\*063  
 179\*076\*082\*046  
 056\*020\*098\*084  
 104\*131\*028\*014  
 184\*089\*160\*167  
 006\*171\*101\*193  
 038\*142\*087\*089  
 178\*193\*133\*039  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 090\*090\*090\*089  
 090\*090\*090\*090  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 089\*089\*089\*089  
 090\*090\*090\*089  
 091\*091\*090\*090  
 091\*091\*091\*091  
 091\*091\*091\*091  
 090\*090\*090\*091  
 090\*090\*090\*090  
 090\*090\*090\*090  
 090\*090\*090\*090  
 090\*090\*090\*090  
 090\*090\*090\*090  
 089\*089\*090\*090  
 085\*086\*088\*088  
 043\*047\*073\*081  
 042\*042\*042\*043  
 041\*041\*041\*042  
 040\*040\*040\*041  
 037\*037\*037\*039  
 036\*036\*036\*036  
 036\*036\*036\*036

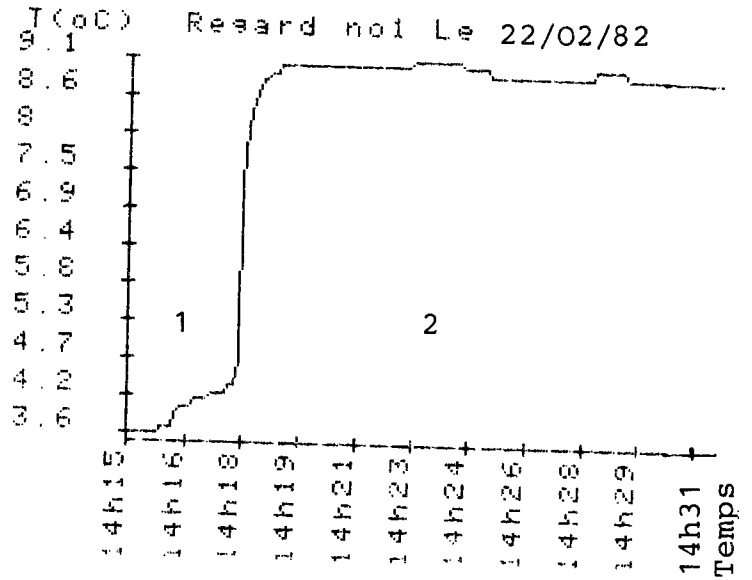
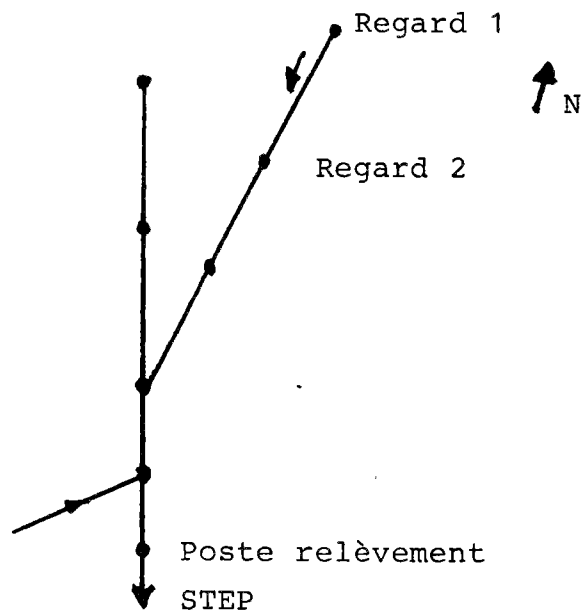


Fig.2 - Traitement des données en laboratoire (version 1).

Lieu : Villers-St.Paul, 22.02.82

② Réseau en charge, 70m de réseau inspecté Ø400, pas de branchement

- 1 - mesures en hors réseau
- 2 - mesures dans le réseau = R1-R2



①

Auscultation de réseaux (Version 1)

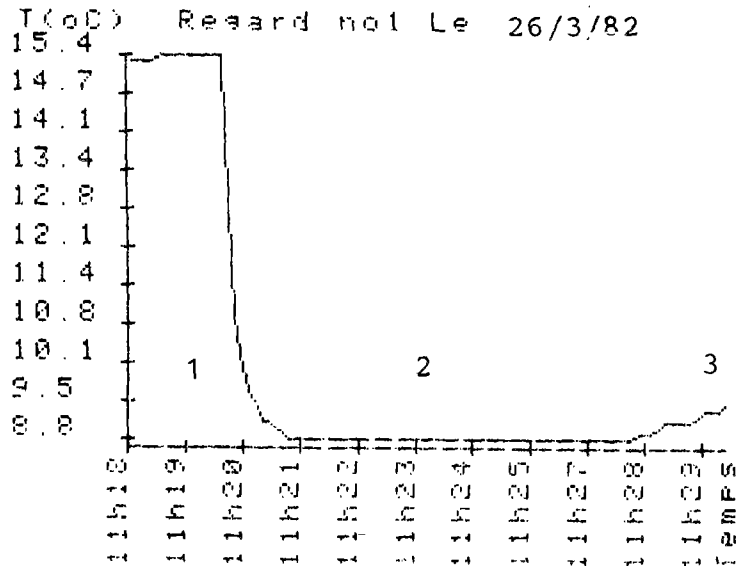


Fig.1 - Mogneville (60), Ø400, h = 300 mm  
Réseau à 2m de la rivière

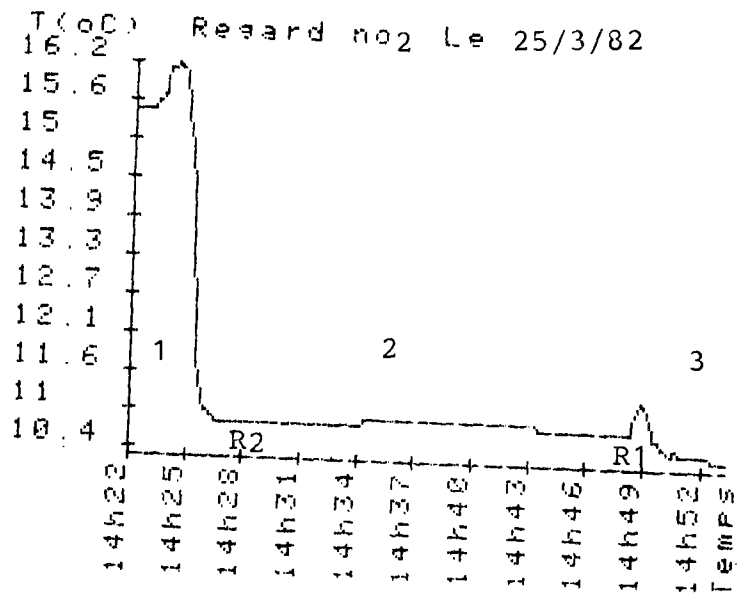
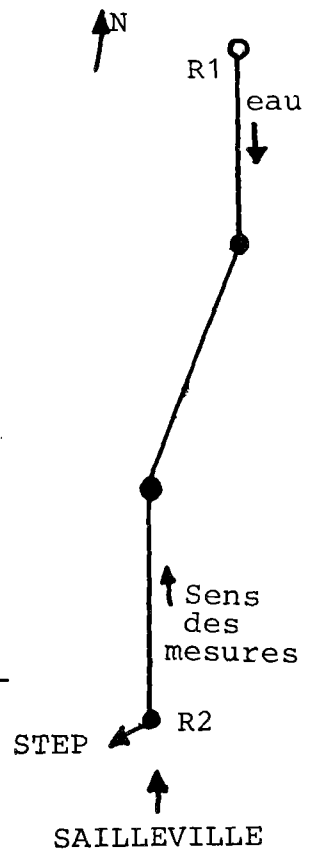


Fig.2 - Liancourt (60), Entrée de la STEP

- 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





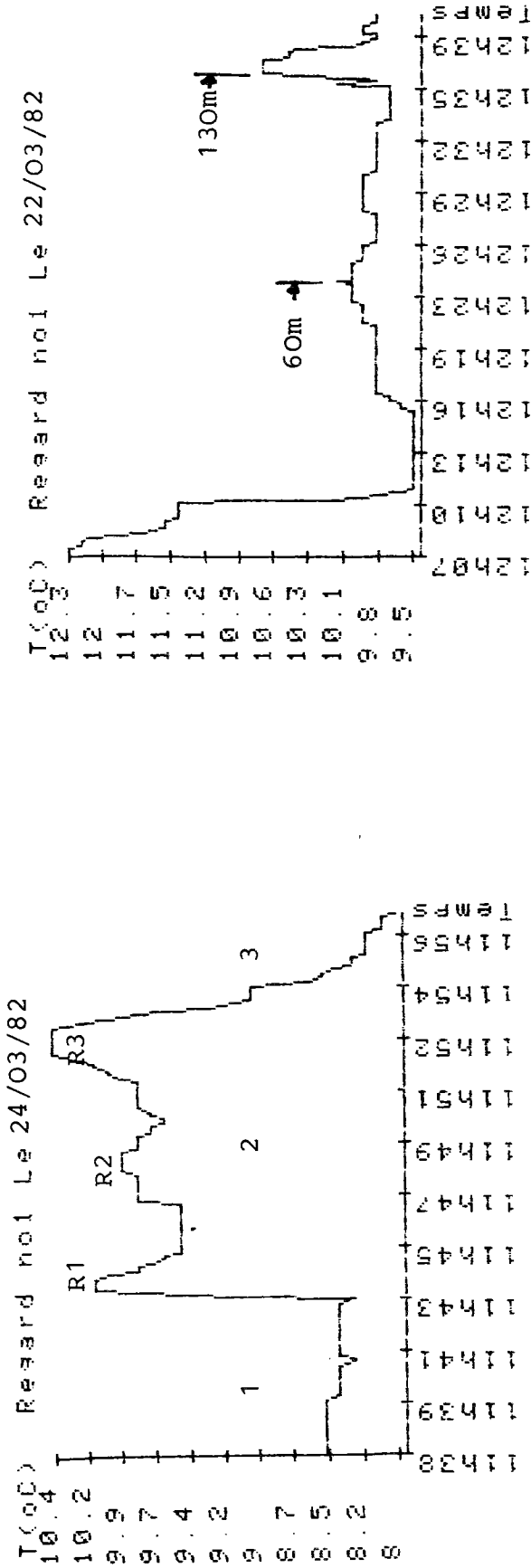


Fig.1 - Ville de Méru, Vve Mouffette

- R1 - branchement
- R2 à 25m de R1 : branchement (regard)
- R3 - branchement boucherie,...(à 45m)
- Ø200, sens mesure ➔ sens écoulement

Fig.2 - Villers-St.Leu (60)

- Écoulement à surface libre, 135 inspecté
- A 60m, entreprise branchée
- A 130m, point de jonction de 2 réseaux

Auscultation de réseaux (version 1)

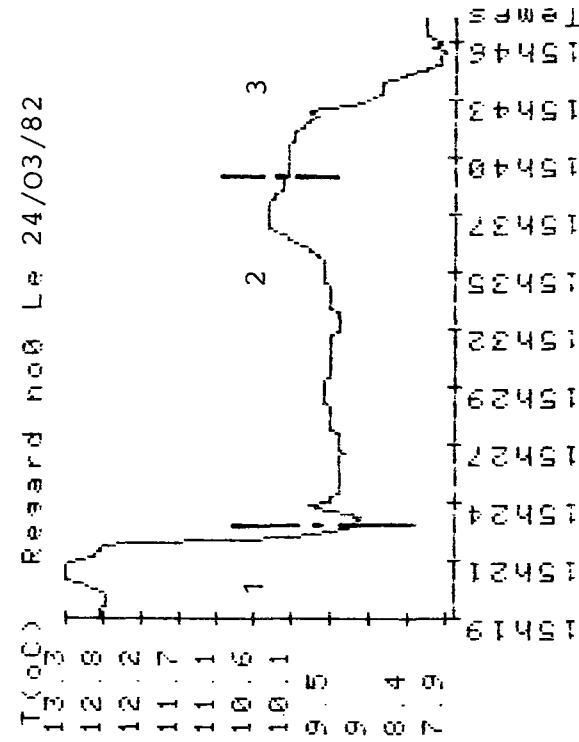


Fig. 2 - Ville de Méru, rue Mimault (60)  
 Ø200, 100m inspecté.  
 1 = air, 2 = eau, 3 = air

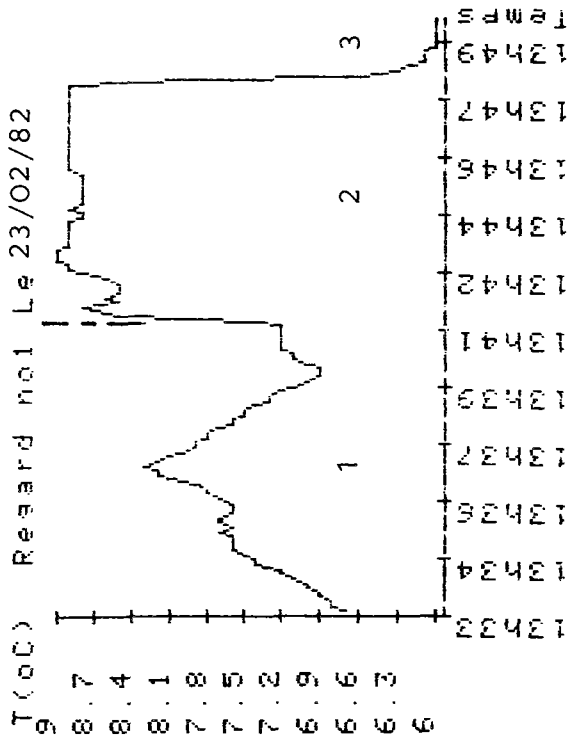


Fig. 1 - Villers St. Paul, rue du Marais (60)  
 En charge, 40m inspecté R3-R5  
 Entrée d'eau froide (tce de 3°C).  
 débordement rivière au niveau de R4  
 1 = air, 2 = eau, 3 = air

Version 2 de la chaîne

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

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

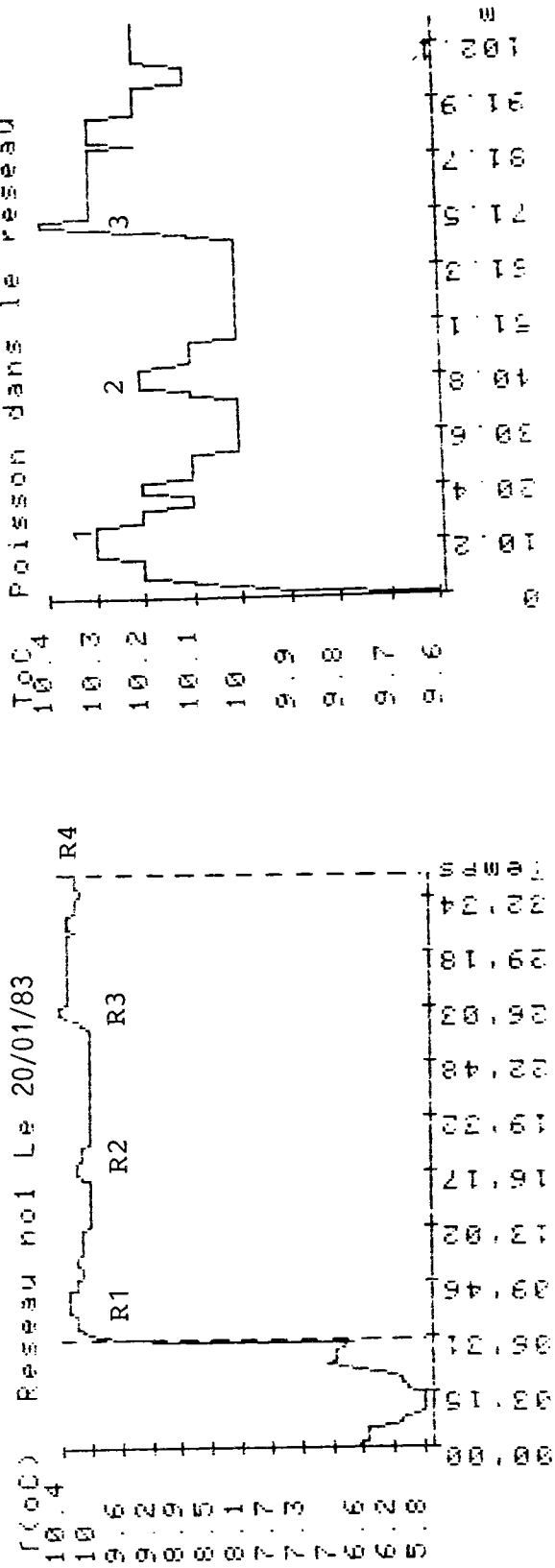
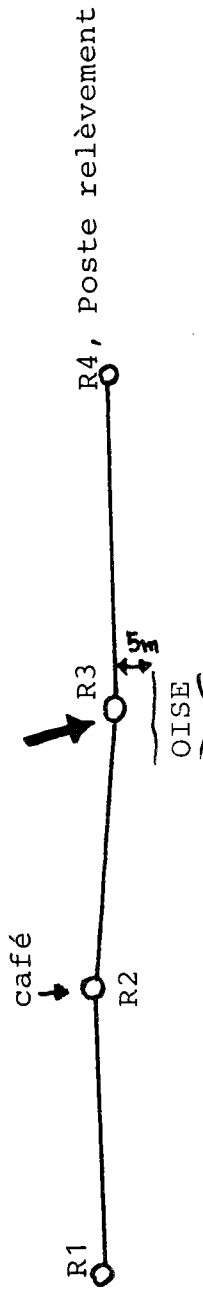


Fig.1 - St.Leu - D'ESSERENT, Poste de relèvement.  
124m inspecté, situé à 5m de l'Oise.  
R3 mentionné sur plan et non repéré.  
Ø250, passage caméra impossible  
réseau en mauvais état.

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

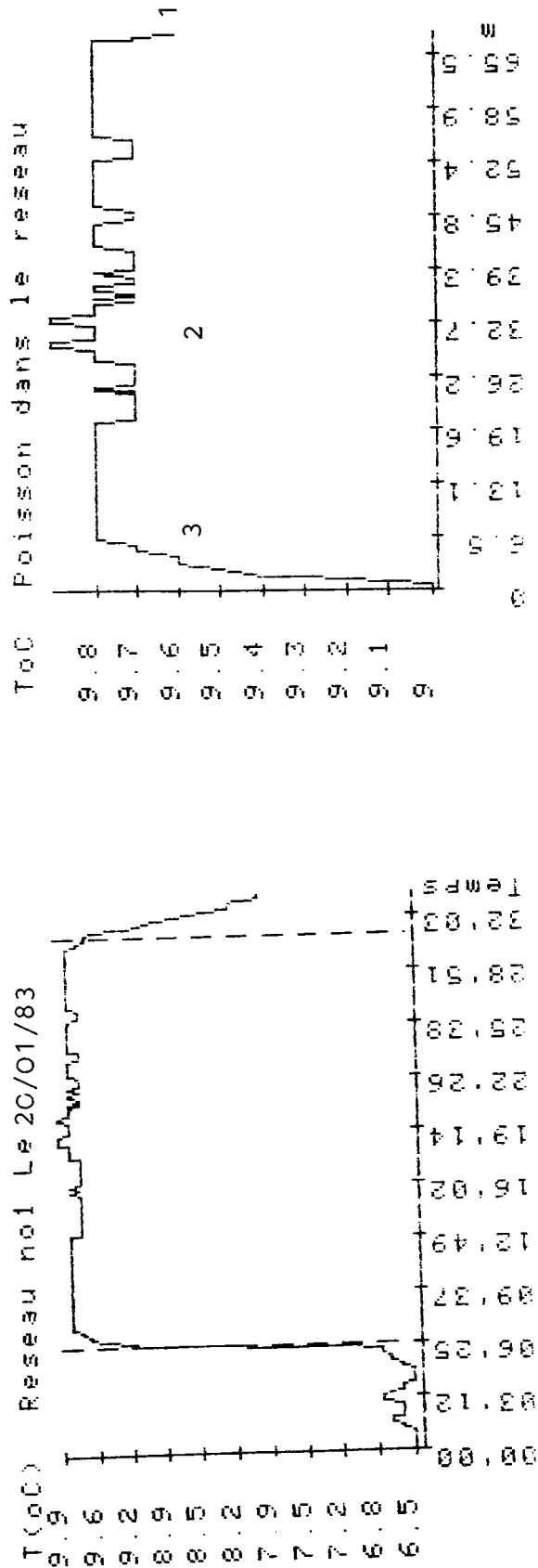


Fig.1 - Pont St.Maxence, Quai Mesnil.  
réseau en charge (arrêt volontaire  
pompe) - à 8m de l'Oise -  
sens mesure = sens écoulement

Auscultation de réseaux (version 1)

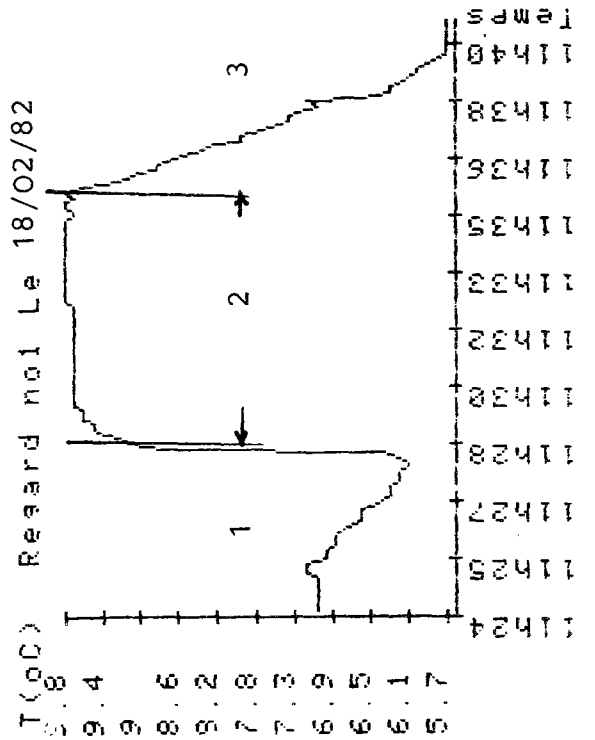


Fig.1 - Villers St. Paul R2-R3  
réseau en chargé, Ø400-10m  
à 80m rivière, pas de branchement  
nappe haute ( 40cm).

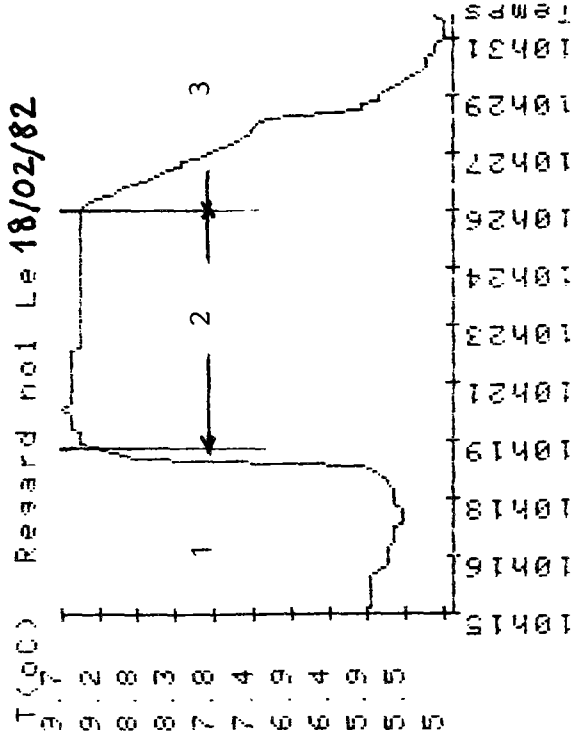
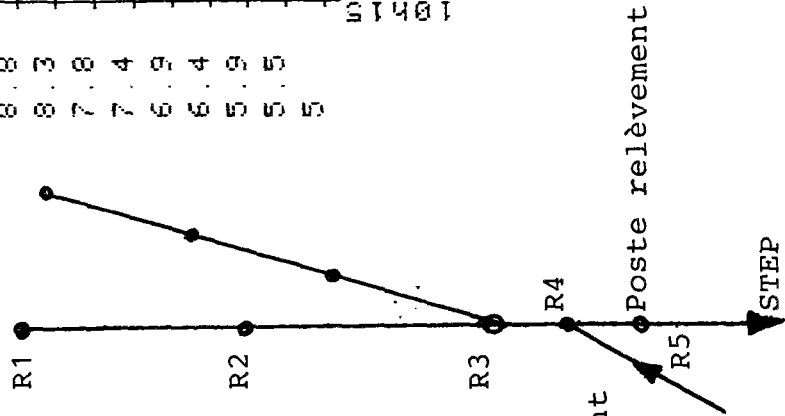
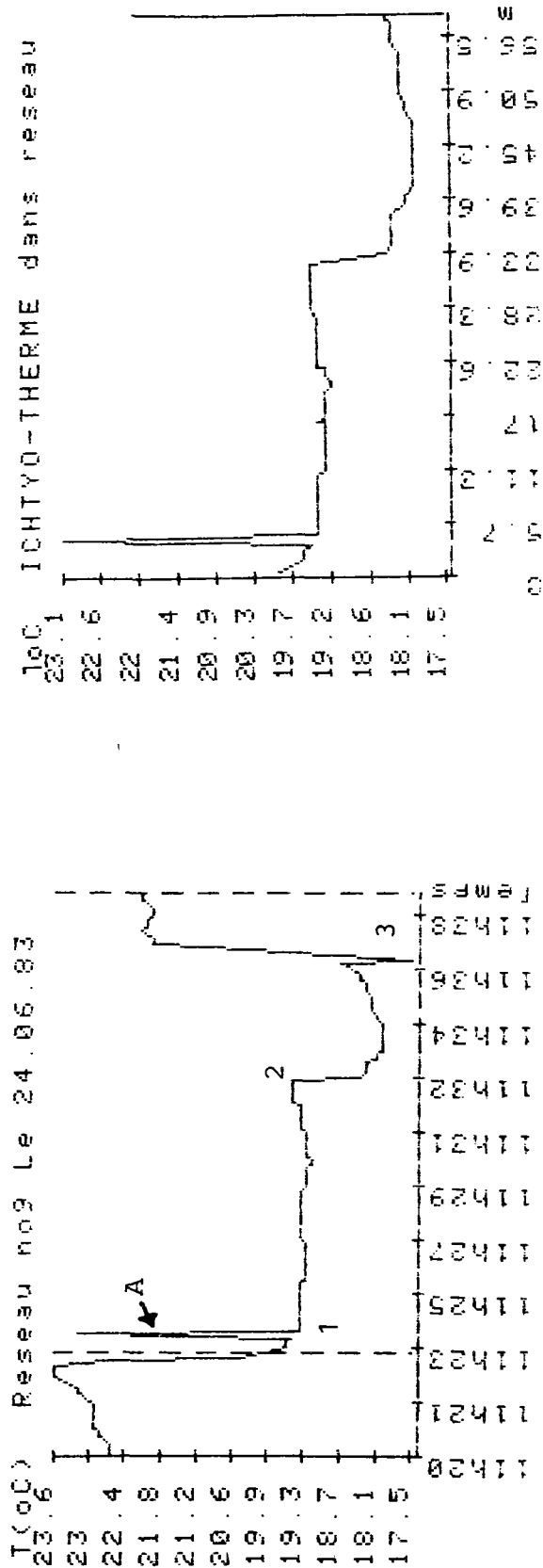


Fig.2 - Villers St. Paul R1-R2  
réseau en charge, Ø400, 40m  
Pas de branchement.



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)



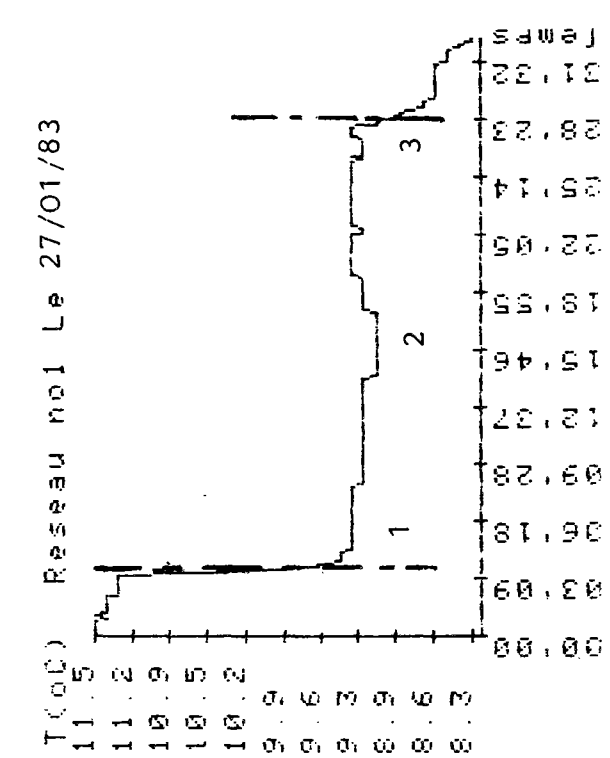


Fig.2 - 88m de réseau inspecté. Ec.à surface libre Fismes (51), avenue de la gare. Pas de branchement.

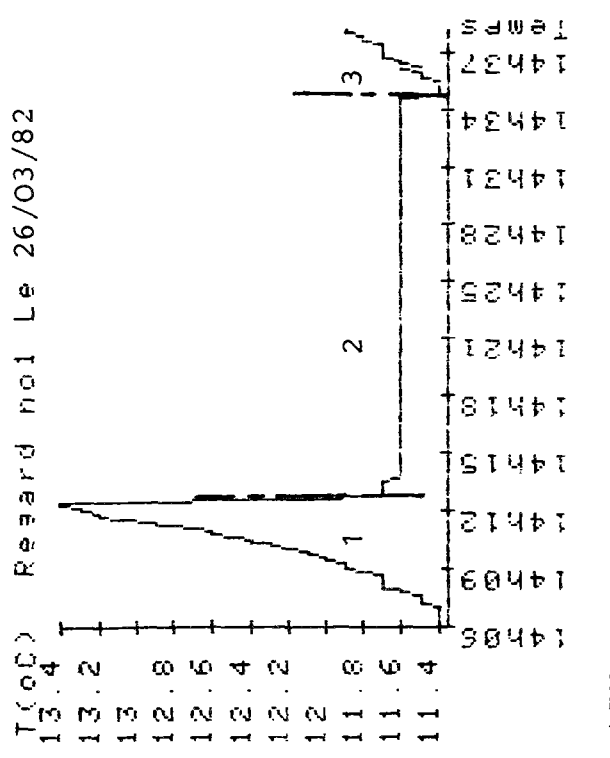


Fig.1 - Réseau à LIANCOURT (60) Ø400, h = 200, longueur inspectée = 120m Pas de branchement, t°C stable = 11,6°C à 5m de la rivière

Auscultation Réseau à Fismes (51)  
Avenue de la Gare

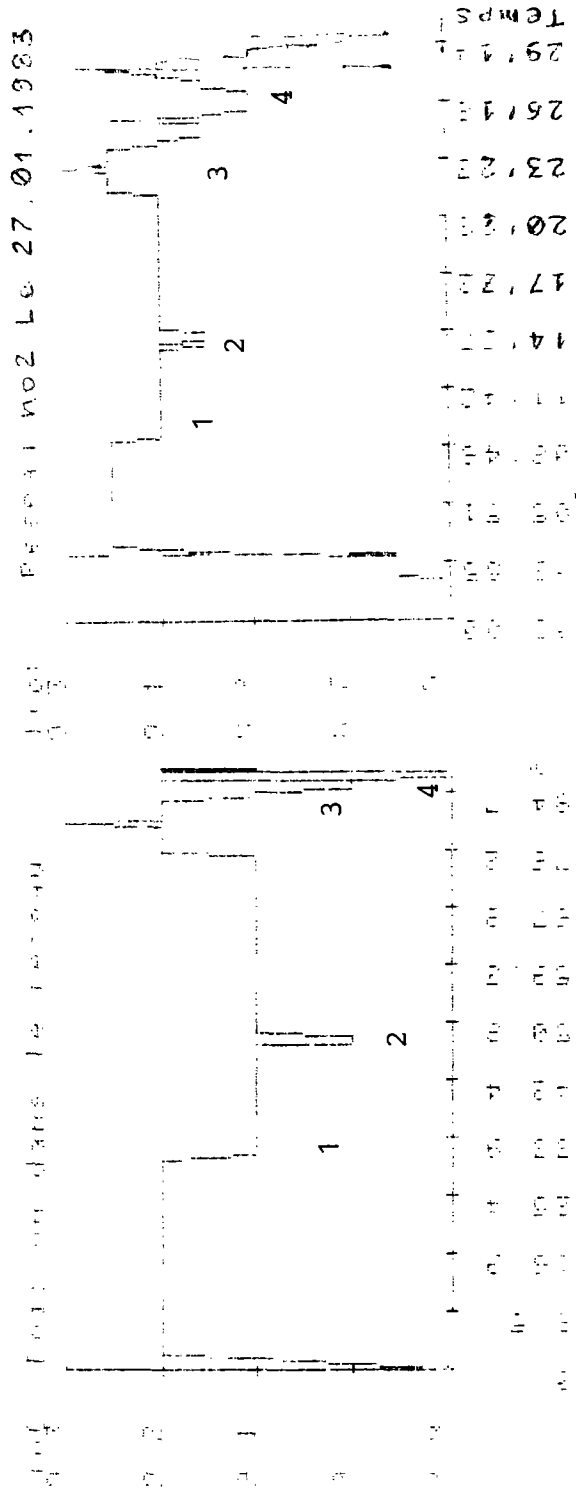


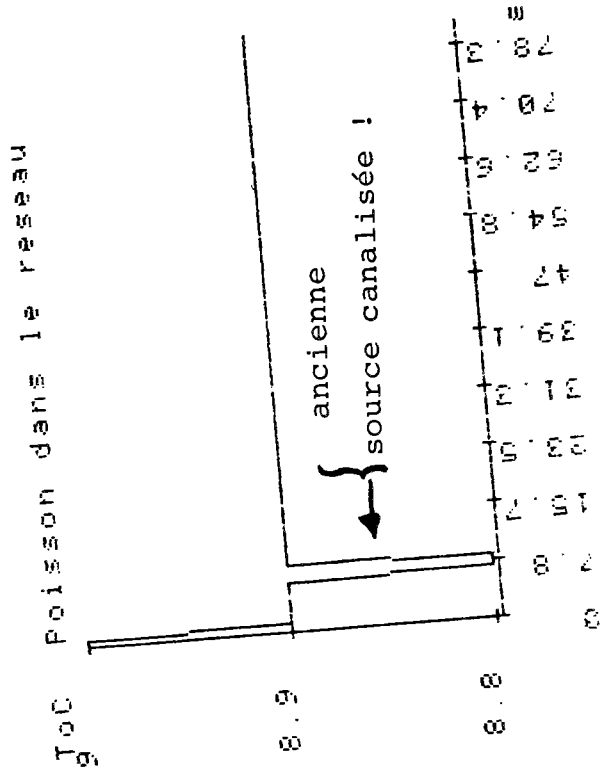
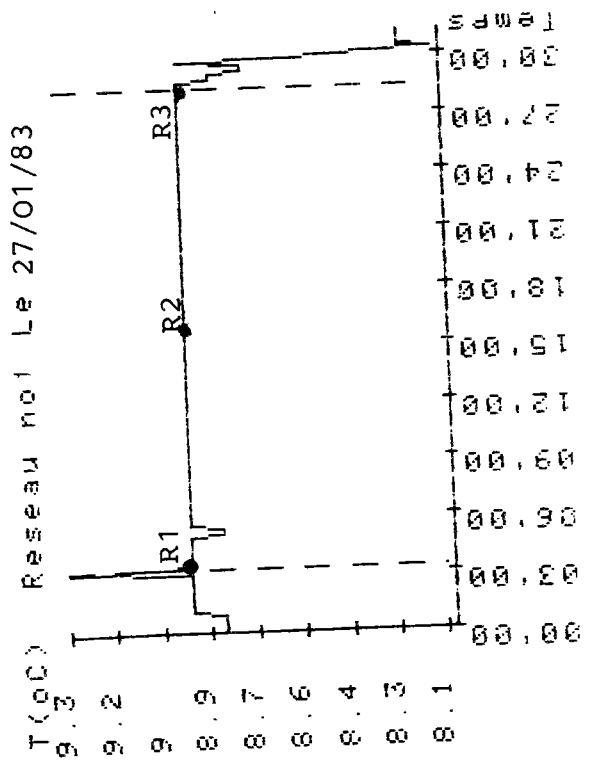
Fig.1 - 88m de réseau inspecté, écoulement à surface libre

- 1 - drainage nappe
- 2 - infiltration
- 3 - branchement
- 4 - infiltration



Auscultation d'un réseau

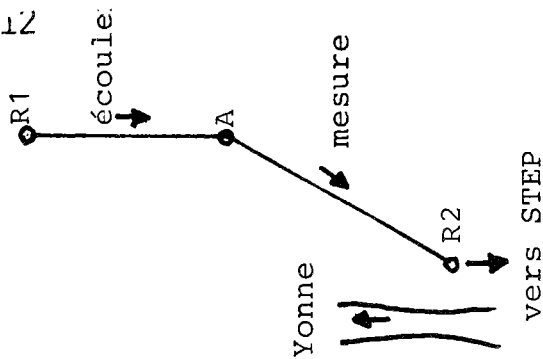
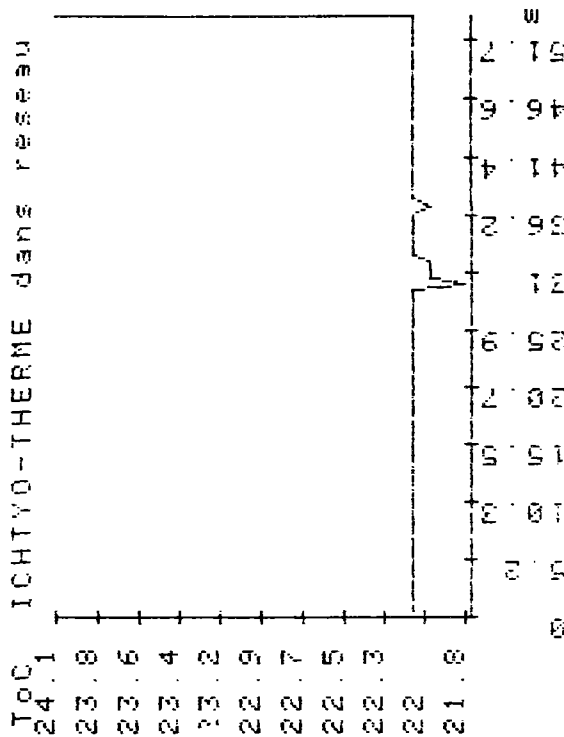
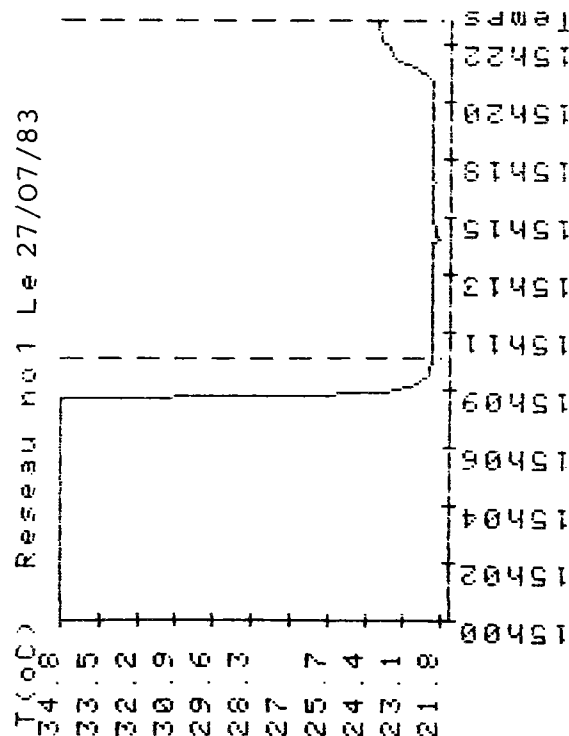
FISMES (51), Avenue de la gare.  
 Sens mesure contraire sens écoulement, écoulement à surface libre, Ø250  
 Ancienne source à 8m du regard R1, branchement en R1, R2 et R3



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



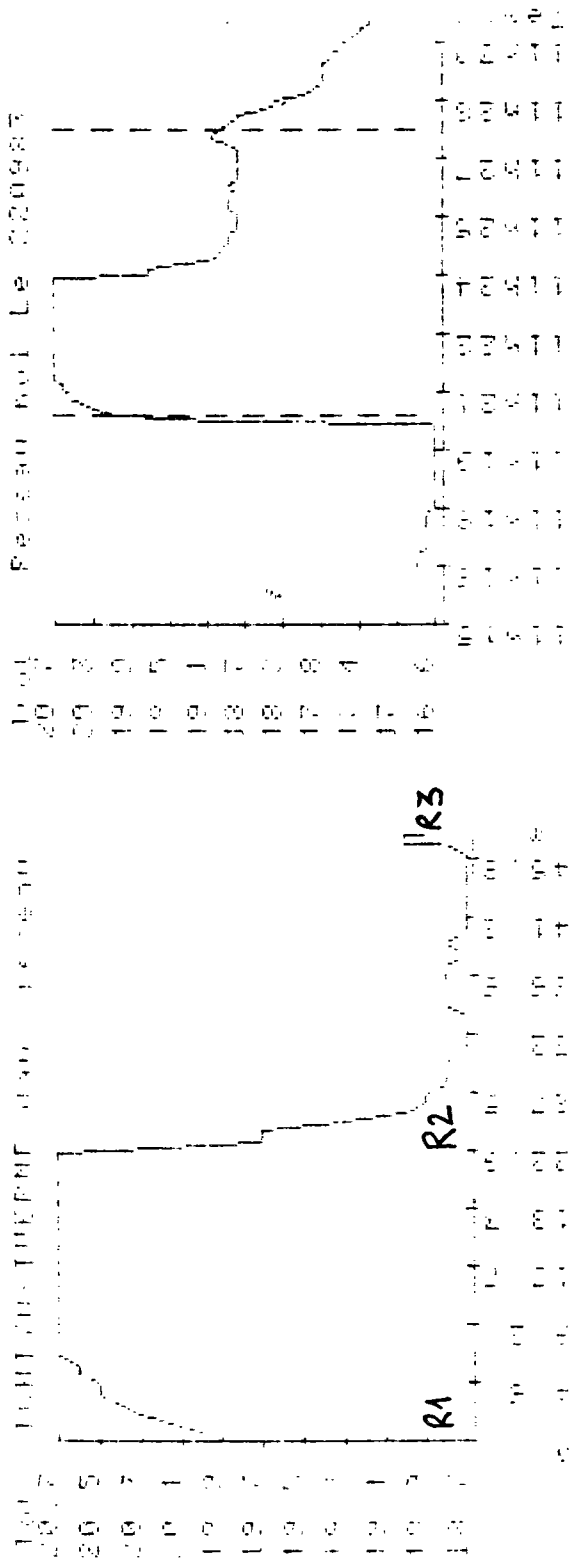
Réseau à 15m de l'Yonne, écoulement à surface libre. Ø500, h = 300.  
 Infiltrations au niveau d'un regard intermédiaire (A)  
 Stabilité à 22.1°C, température air ambiant > 35°C (capteur sous soleil).

Auscultation d'un réseau à Creil

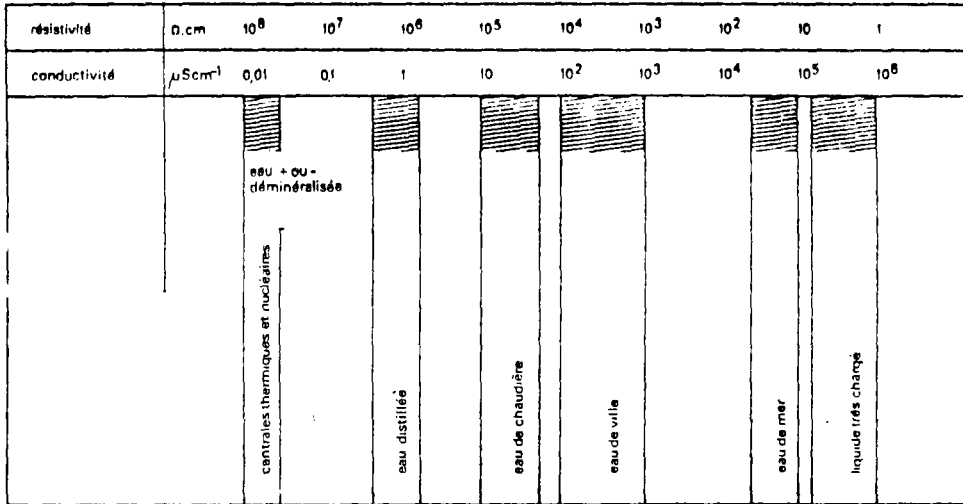
Boulevard Biondi

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

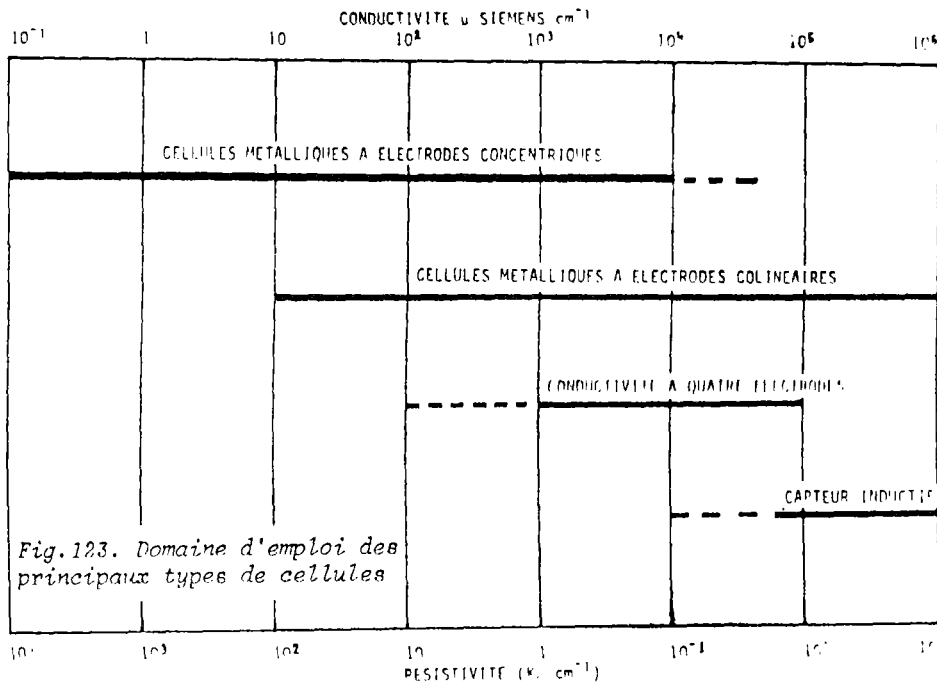
camion citerne - Démonstration



# 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							
	à 25°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			200	5000 Eaux douces peu minéralisées
939	1074		N/100		584,5	0,6	100	10000 Teneur max. tolérée dans les eaux potables
120	132	N/1000		74,6			50	20000 Eaux très saumâtres
98,5	112		N/1000		250	0,25		
	125,4				58,5	0,06		

# 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

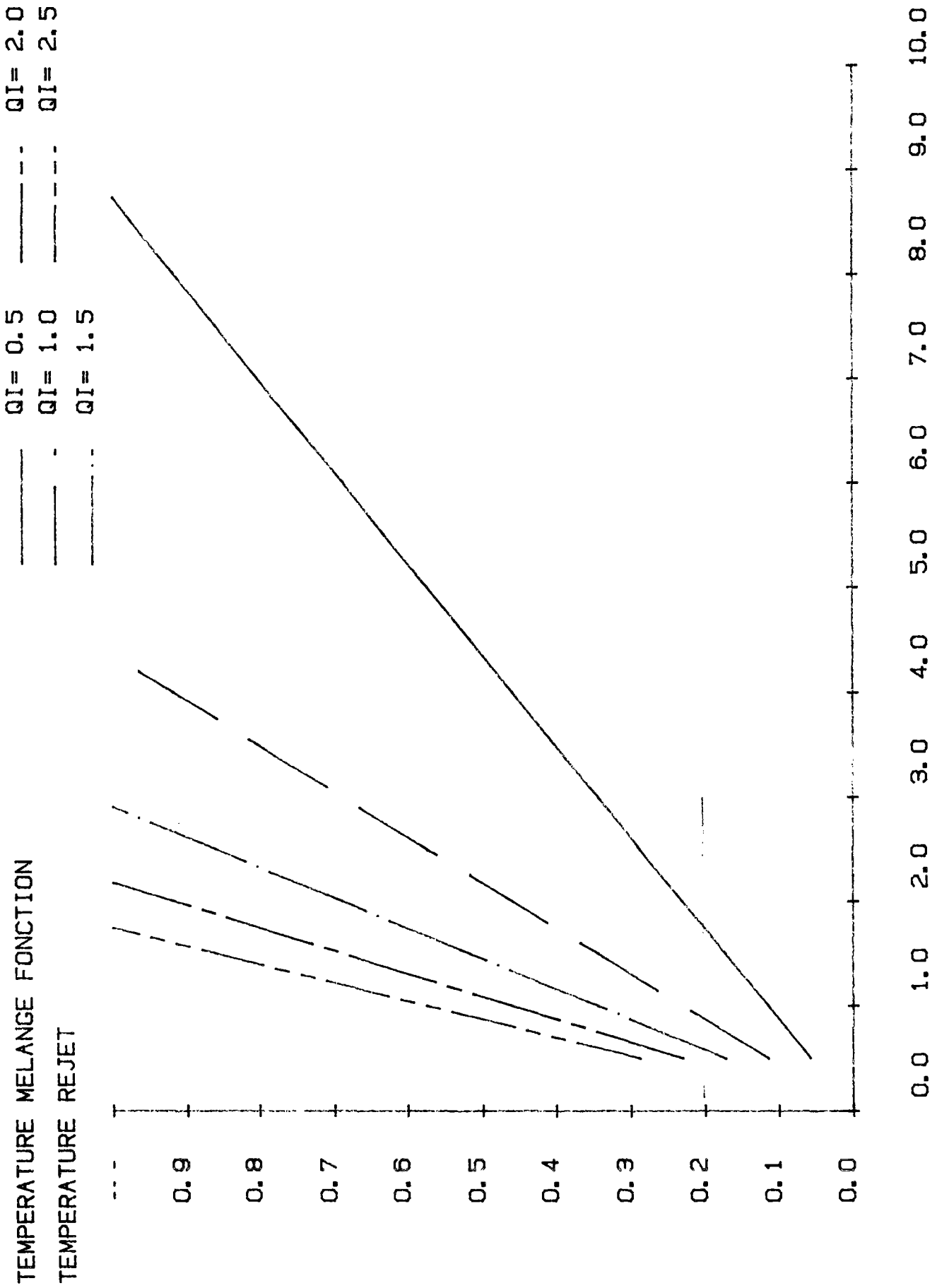


Figure 1 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $x = 20 \text{ cm}$

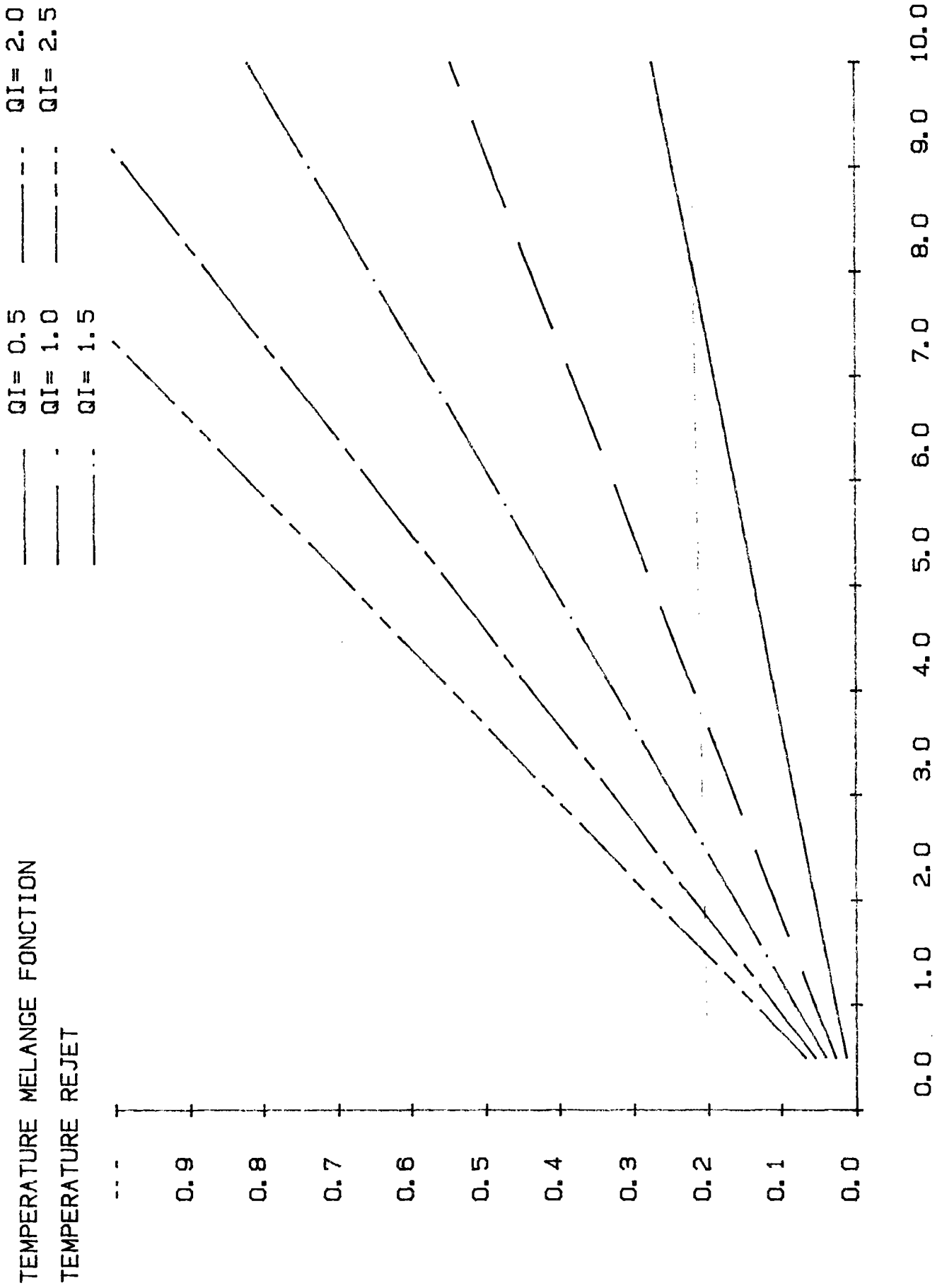


Figure 2 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $x = 1 \text{ m}$



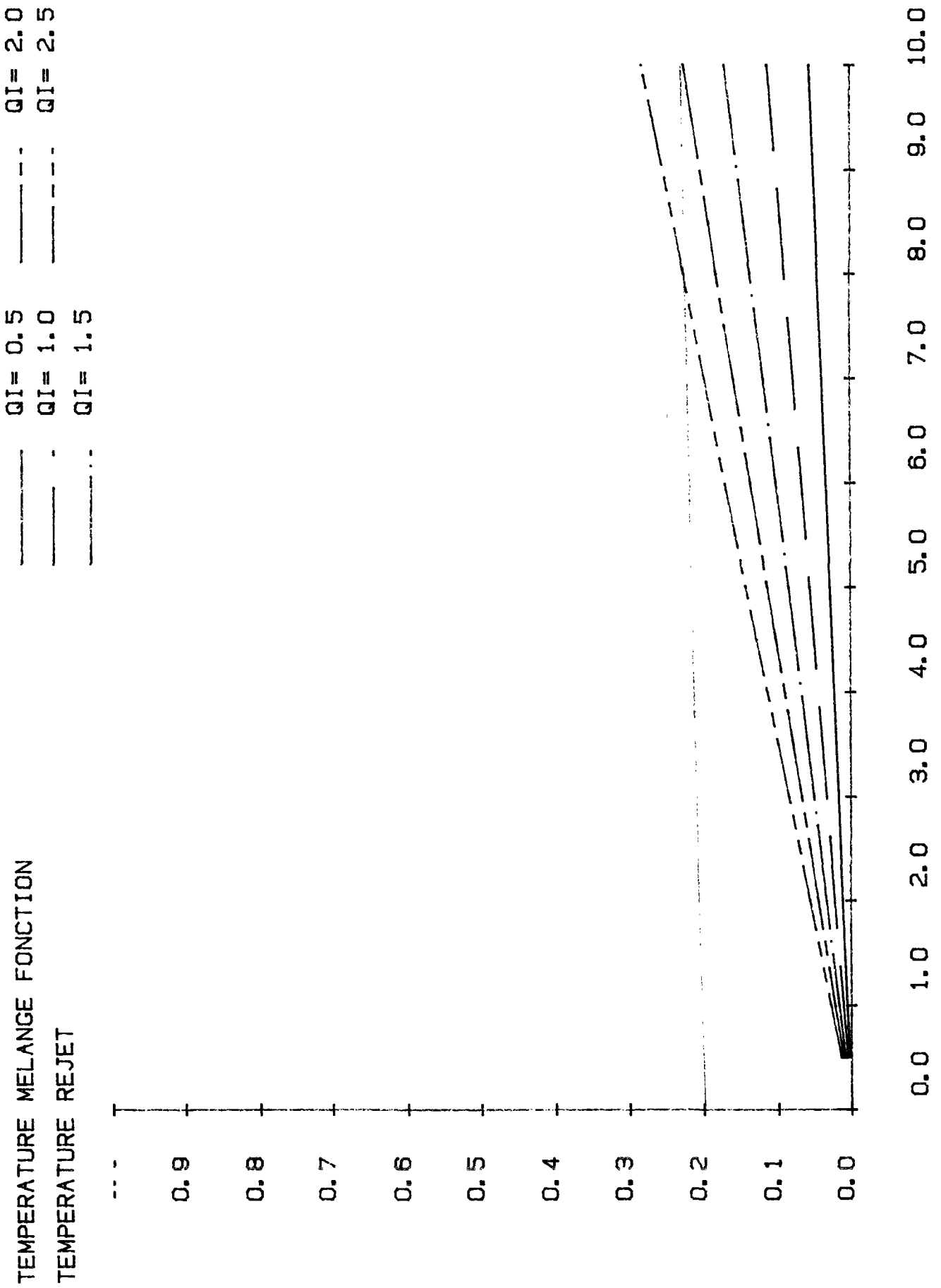


Figure 3 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $x = 5 \text{ m}$

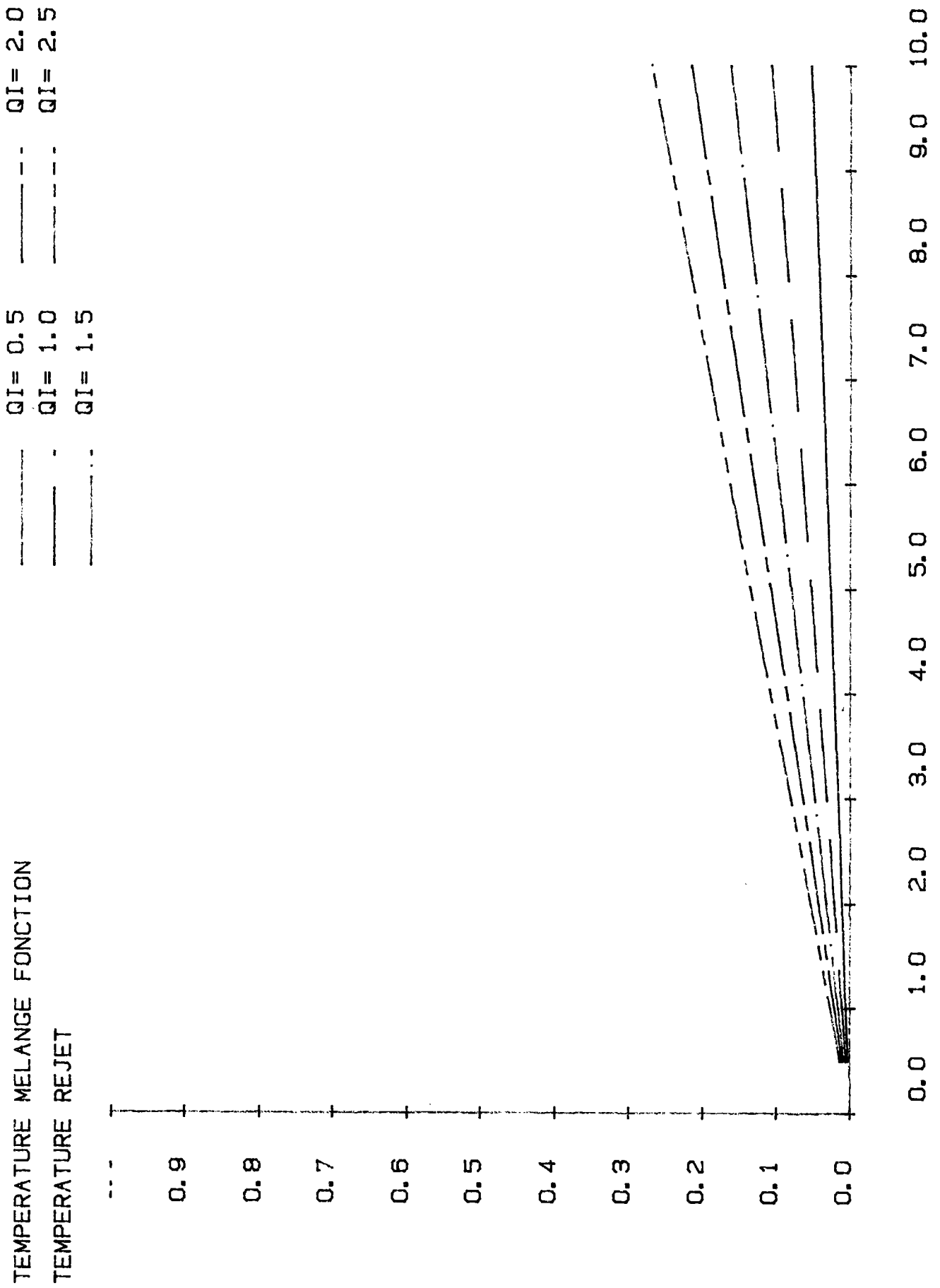


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $x = 5 \text{ m}$

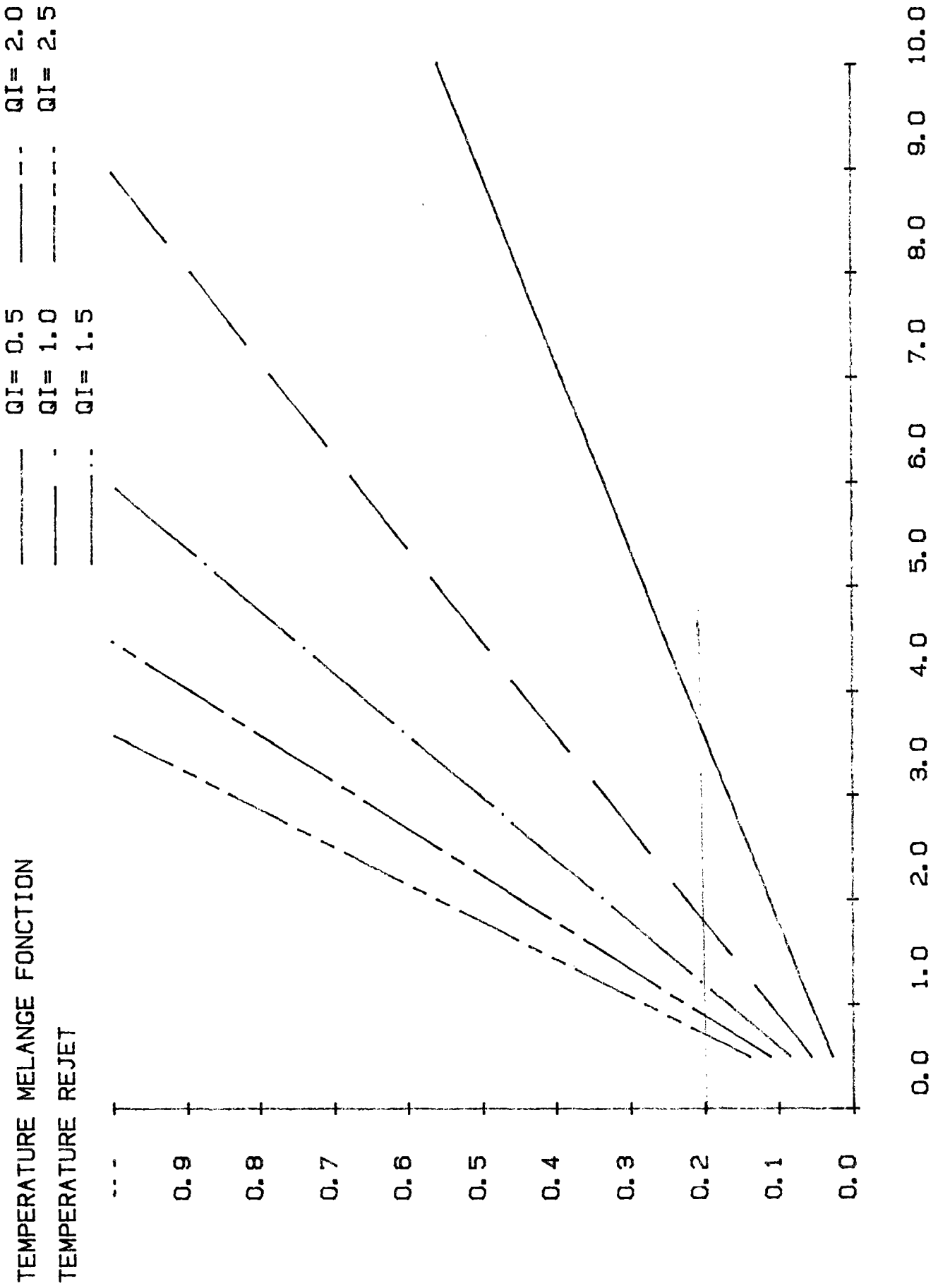


Figure 5 :  $r = 3$  cm,  $x = 40$  cm

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

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

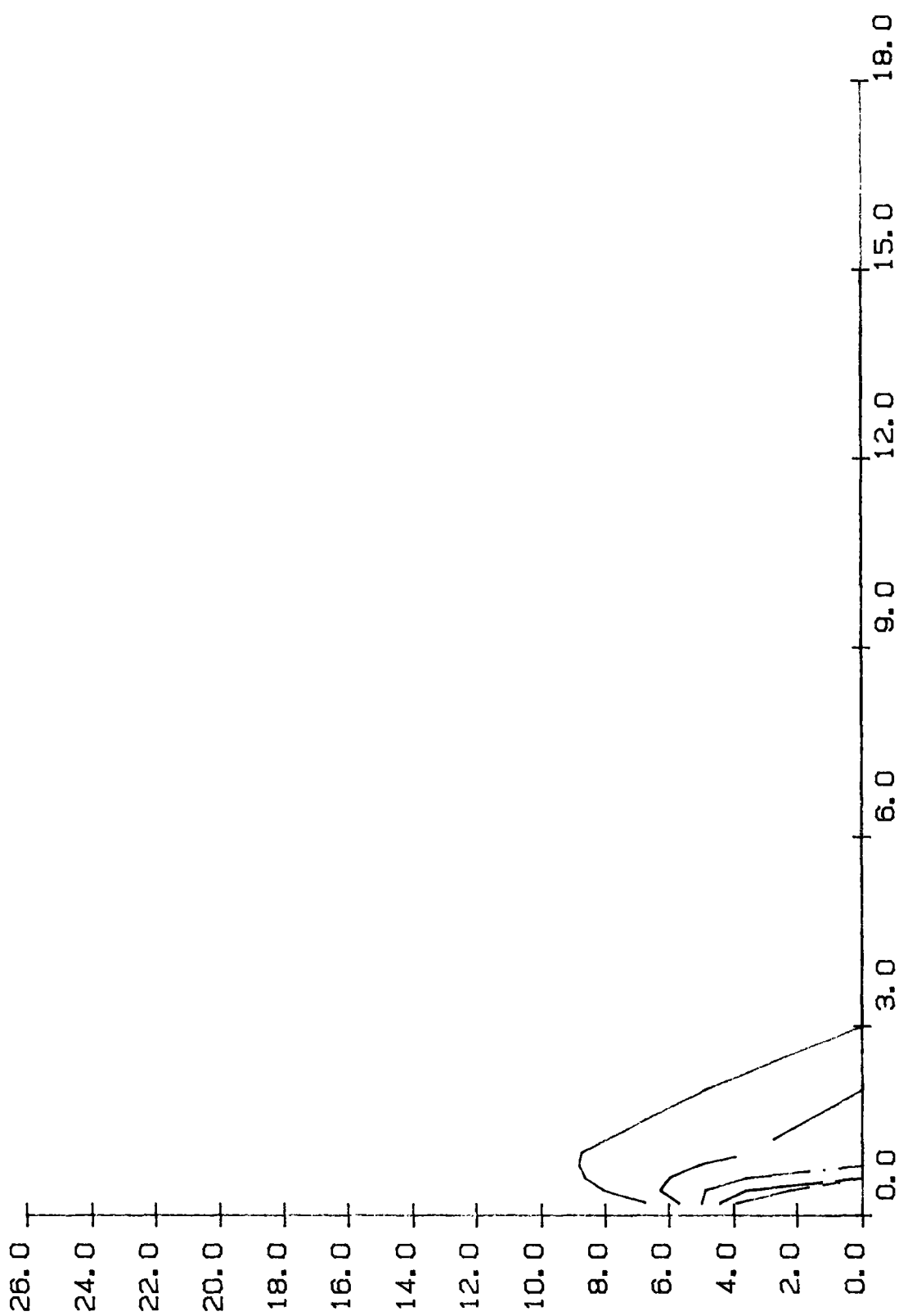


Figure 1 : QI = 4l/s, DTI = 1°C

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

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

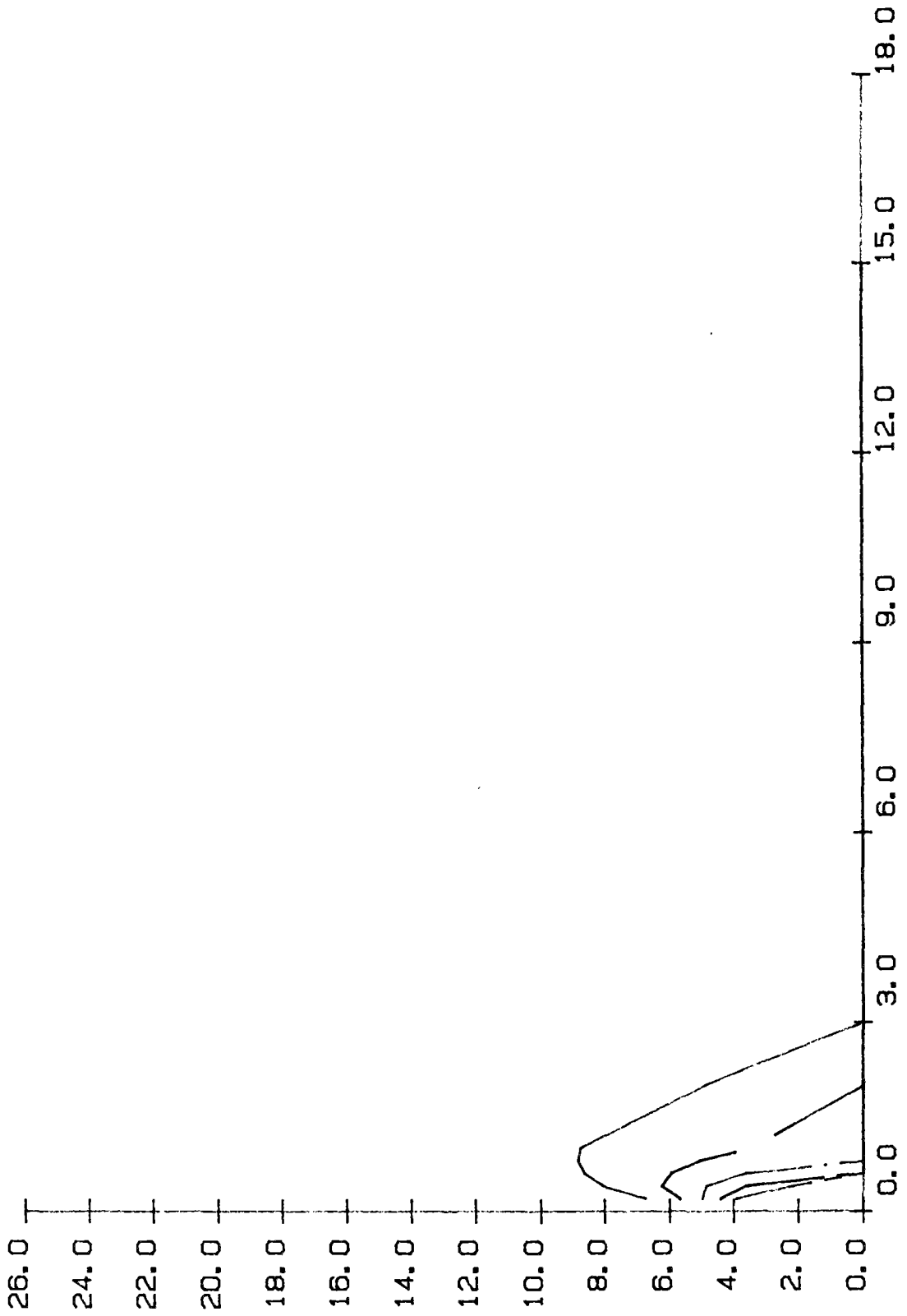


Figure 2 :  $QI = 11/s$ ,  $DTI = 4^\circ C$

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

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

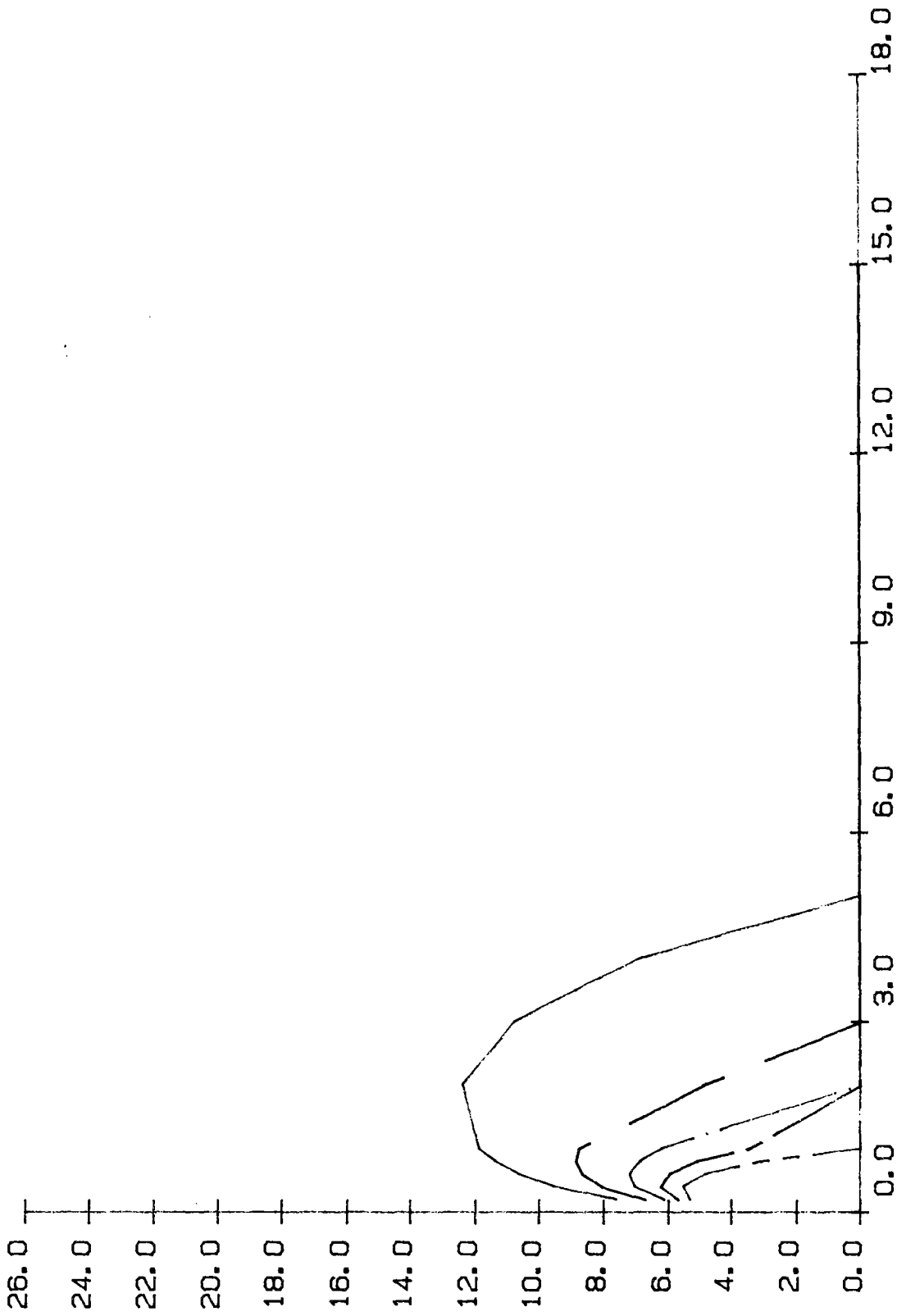


Figure 3 :  $QI = 21/s$ ,  $DTI = 4^{\circ}C$

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

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

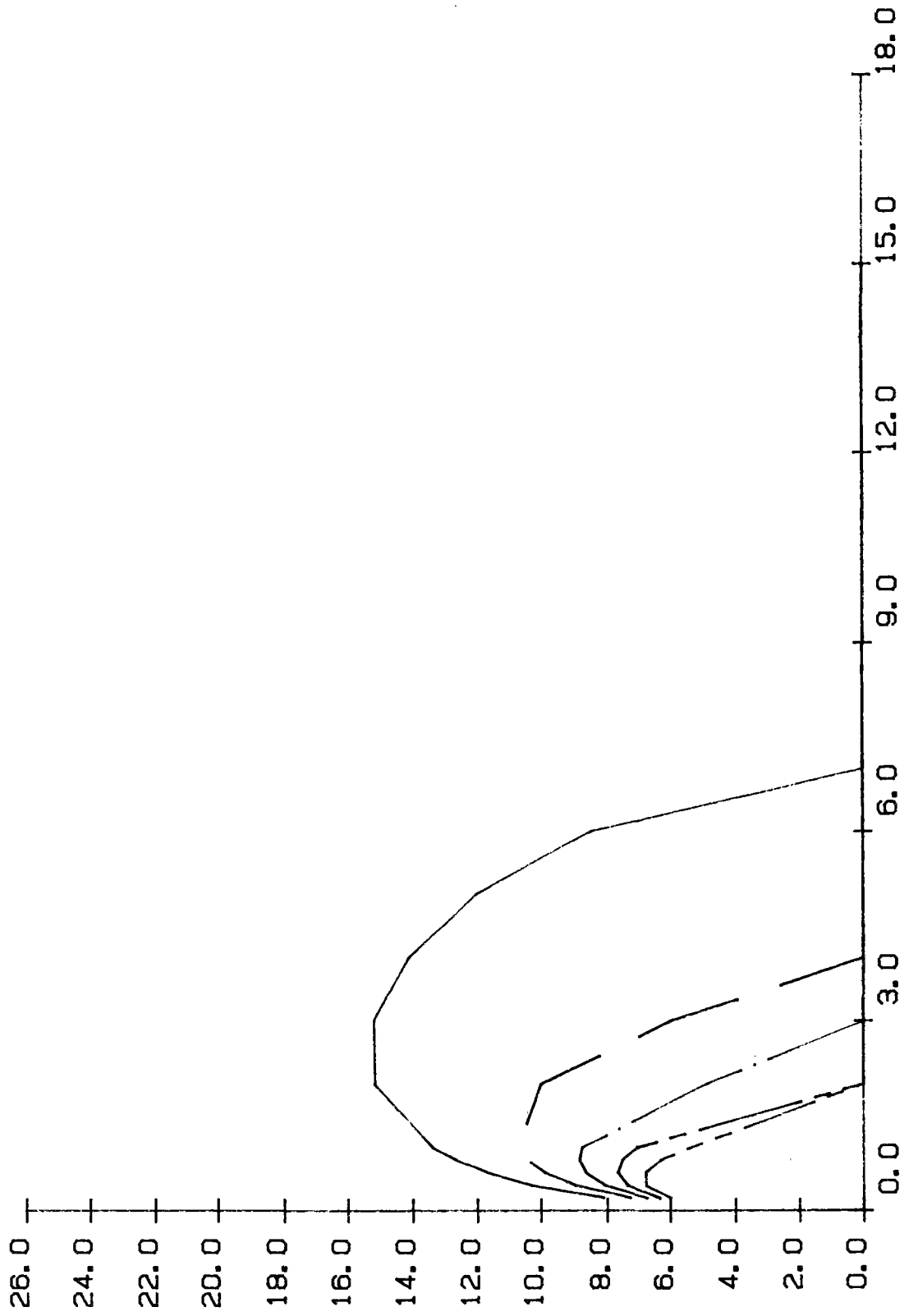


Figure 4 : QI = 31/s, DTI = 4°C

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

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

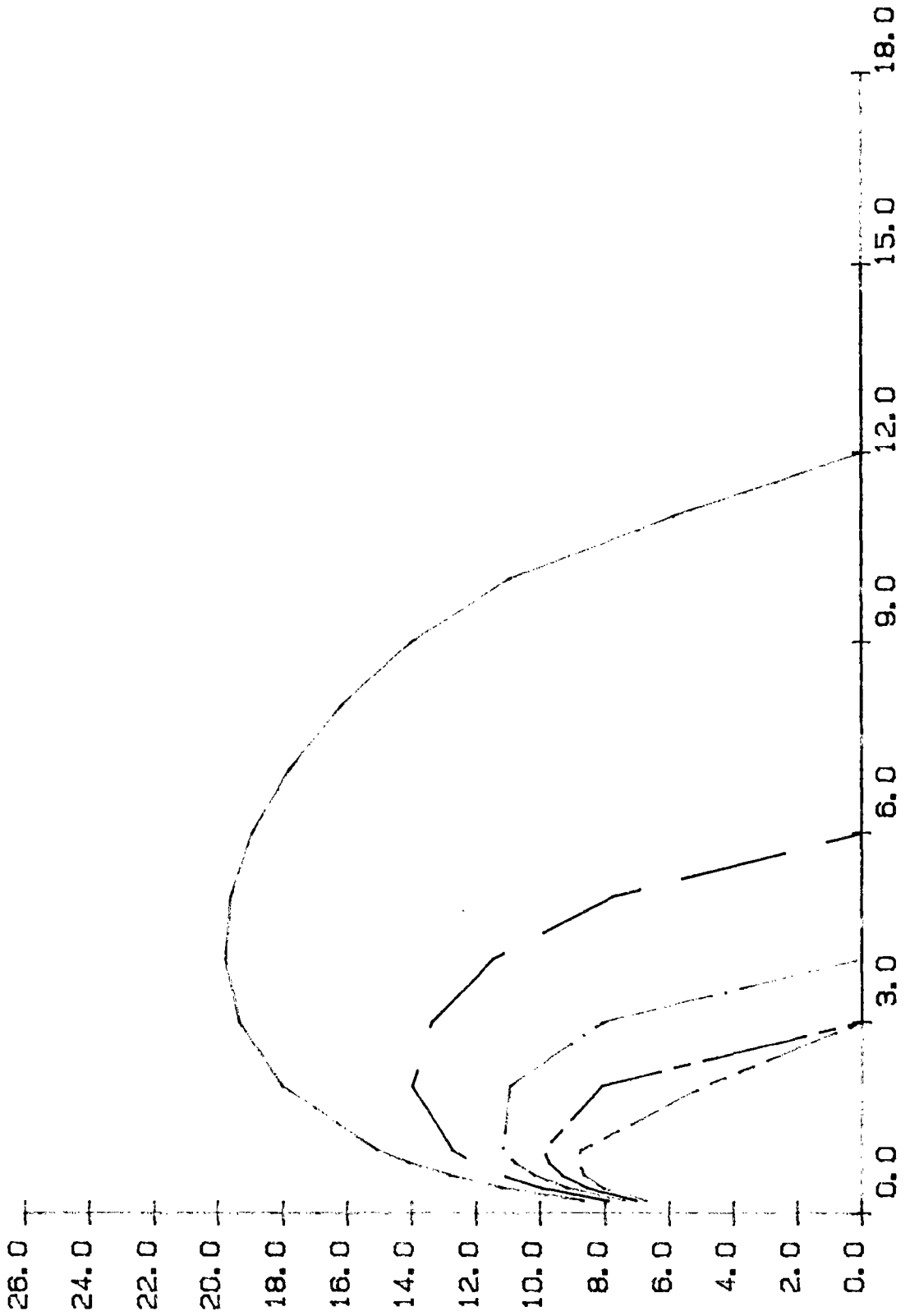


Figure 5 : QI = 41/s, DTI = 5°C



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

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

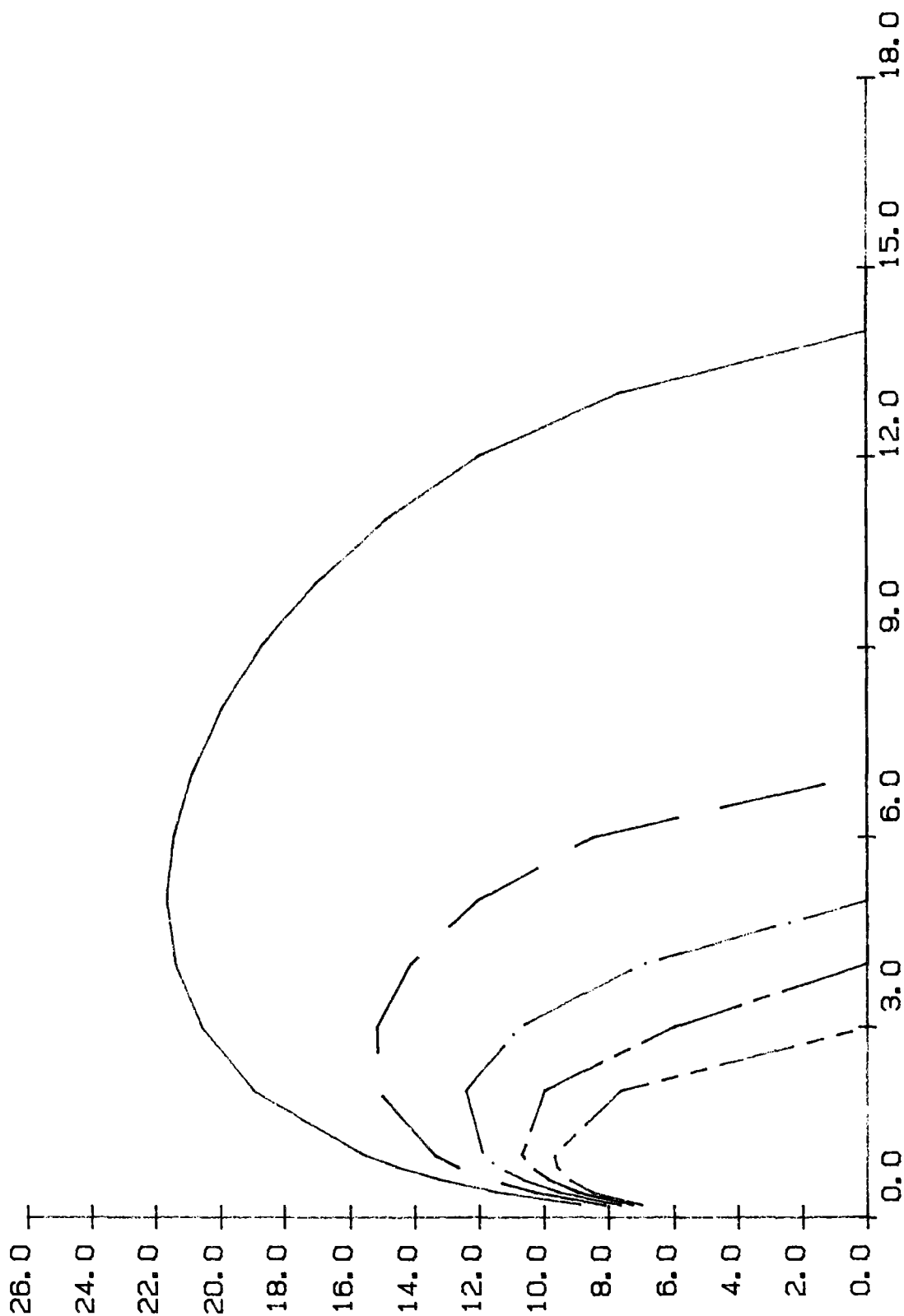


Figure 6 : QI = 31/s, DTI = 8°C

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

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

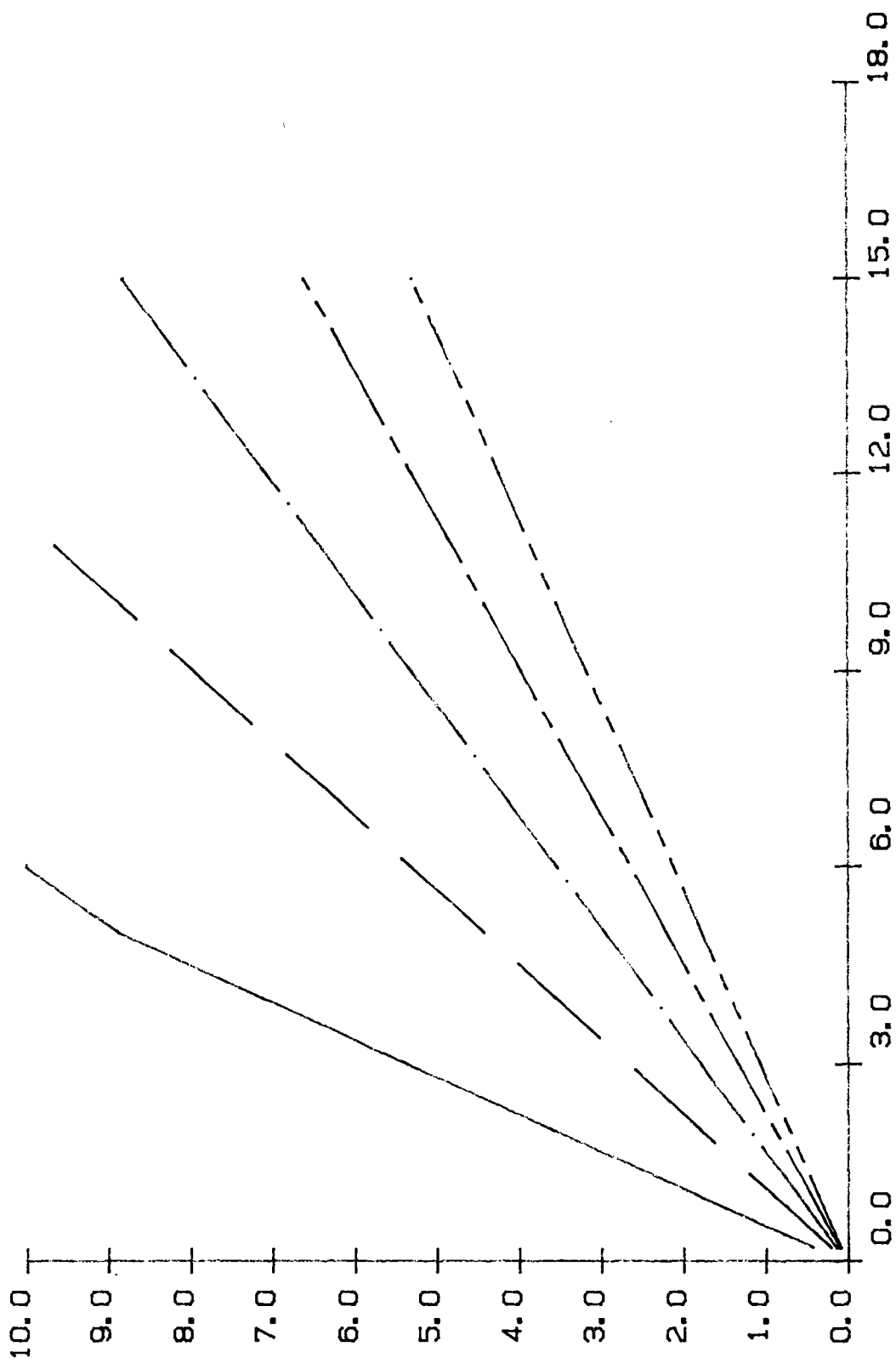


Figure 1 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

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

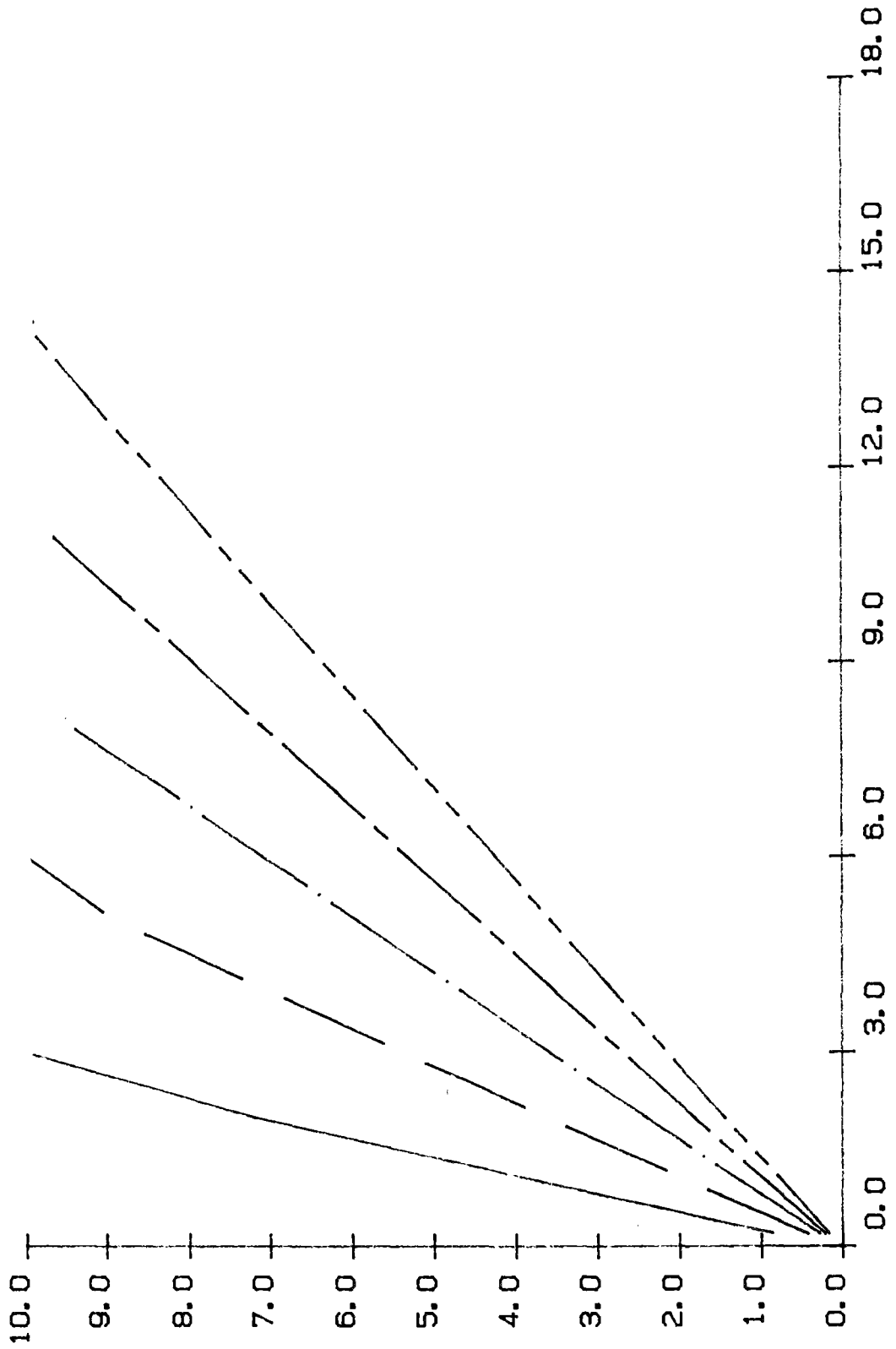


Figure 2 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

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

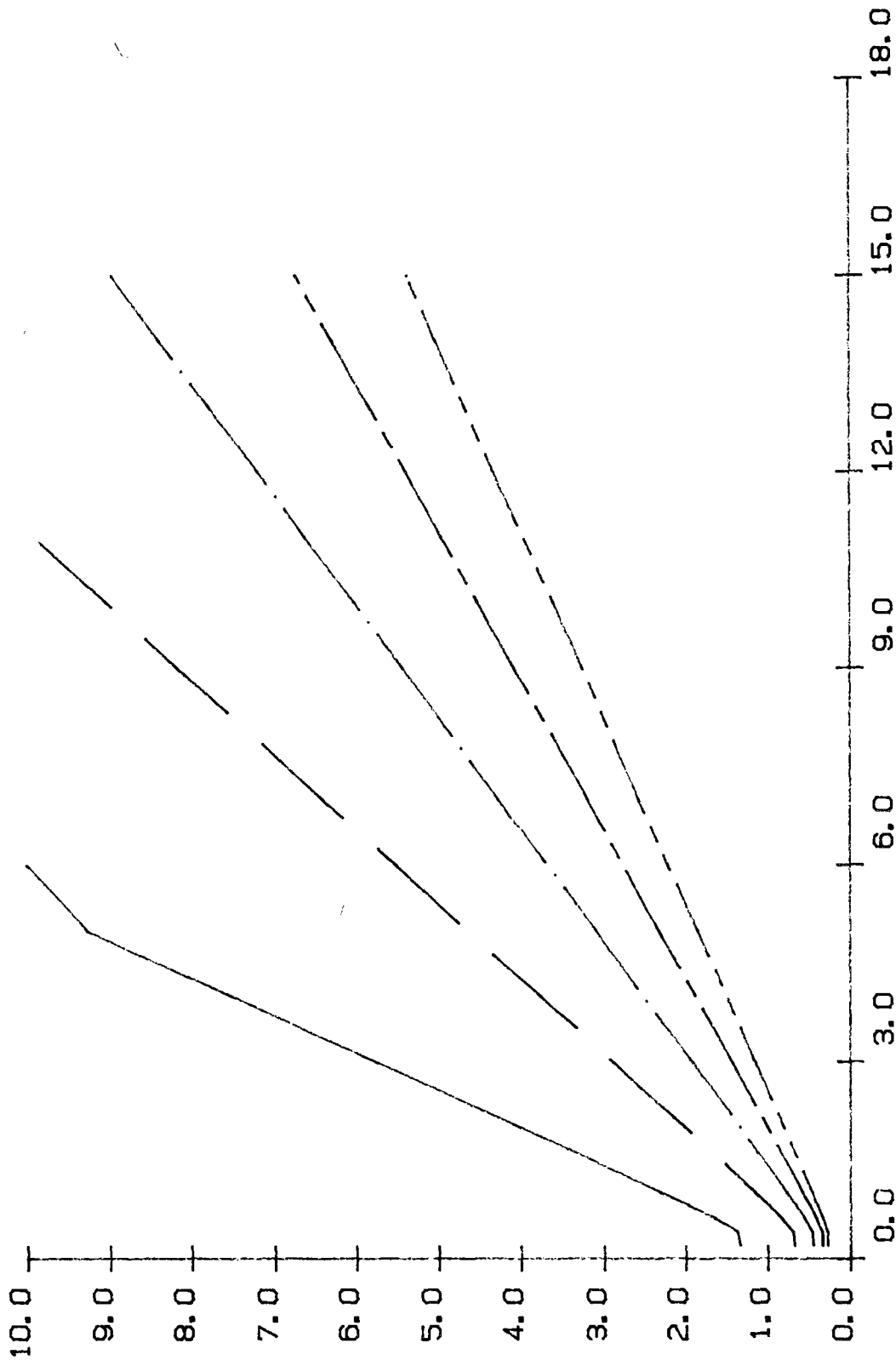


Figure 3 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
 DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

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

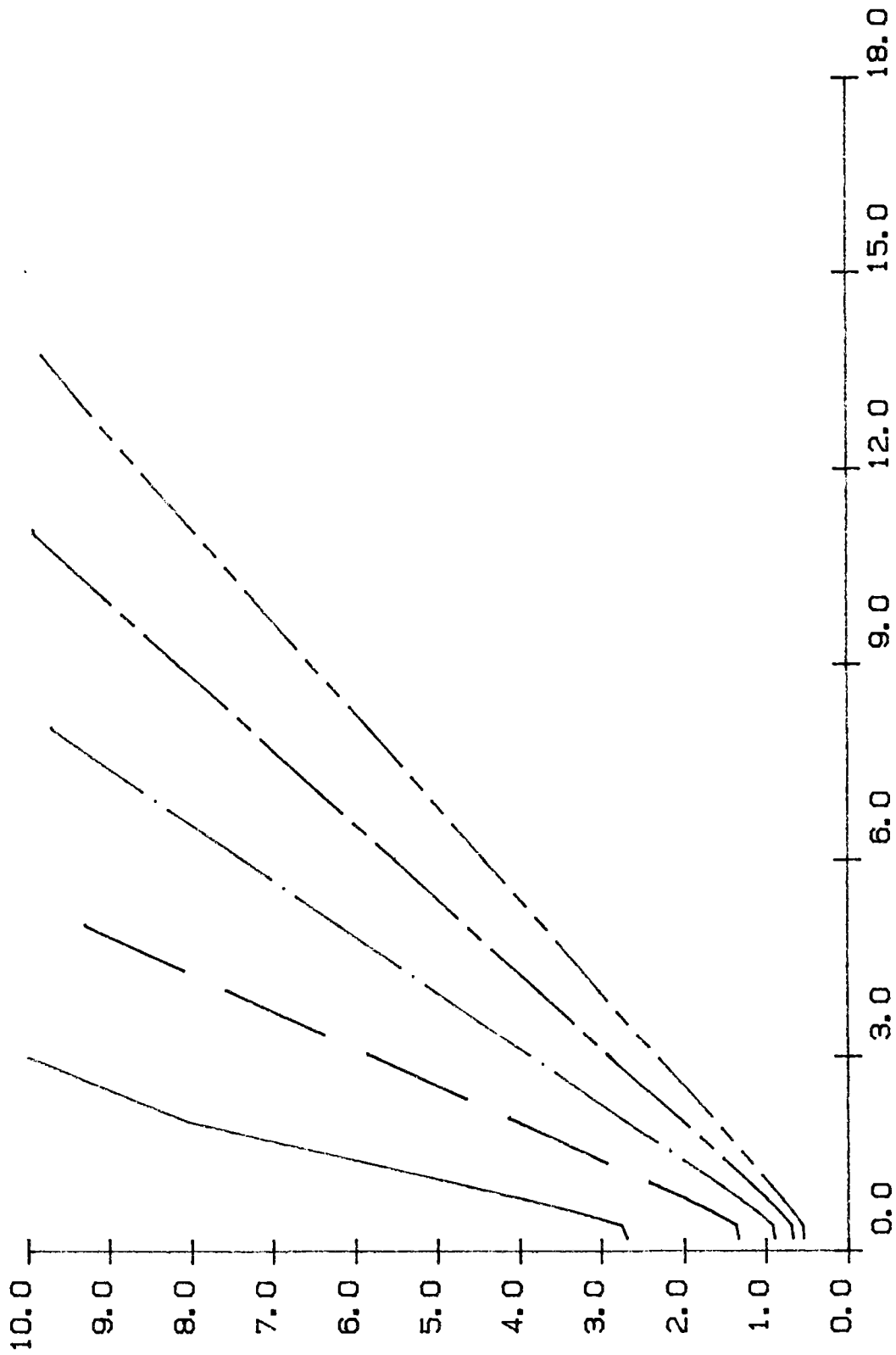


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
 MELANGE A DTI CONSTANT

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

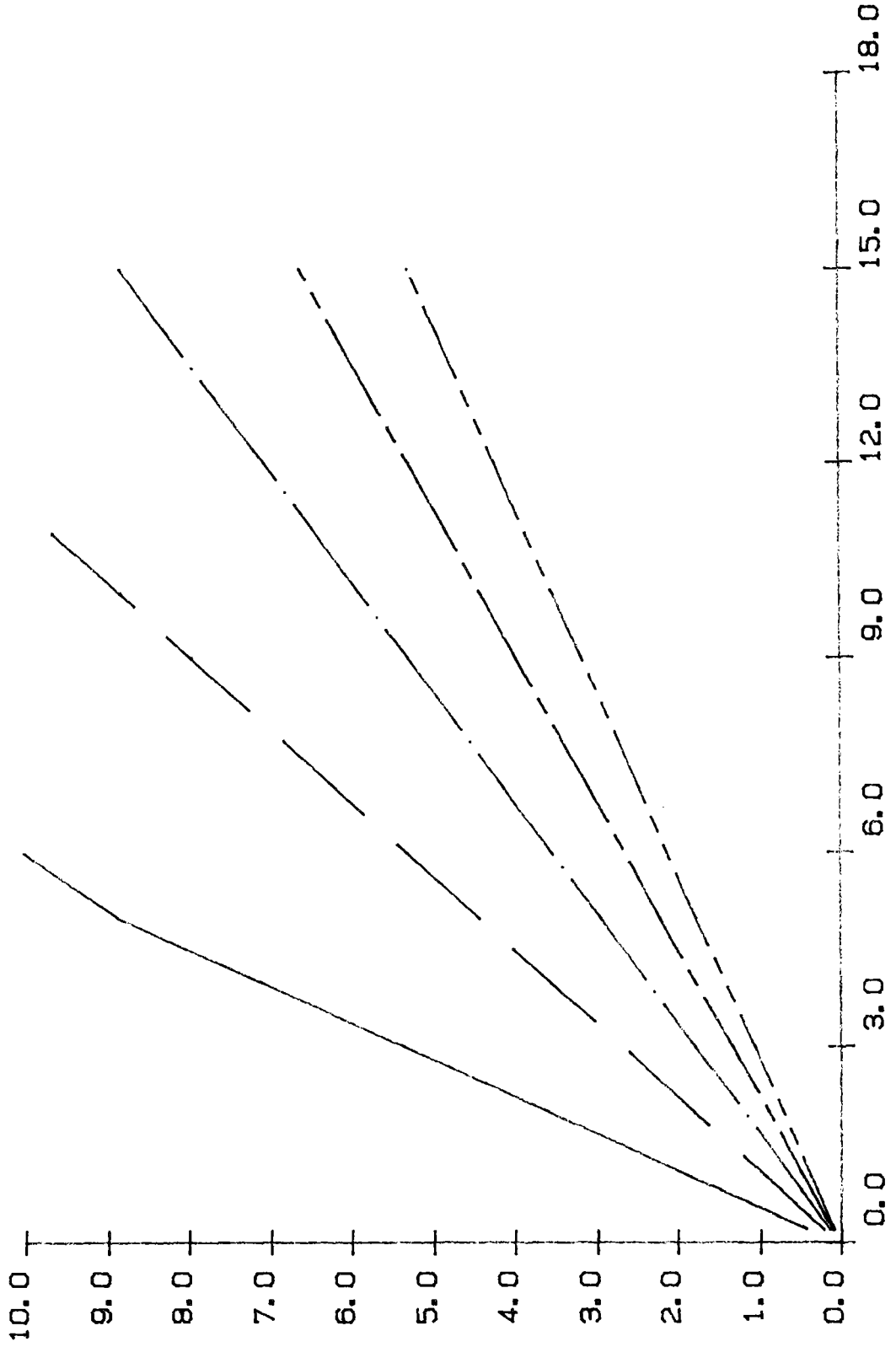


Figure 1 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
 MELANGE A DTI CONSTANT

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

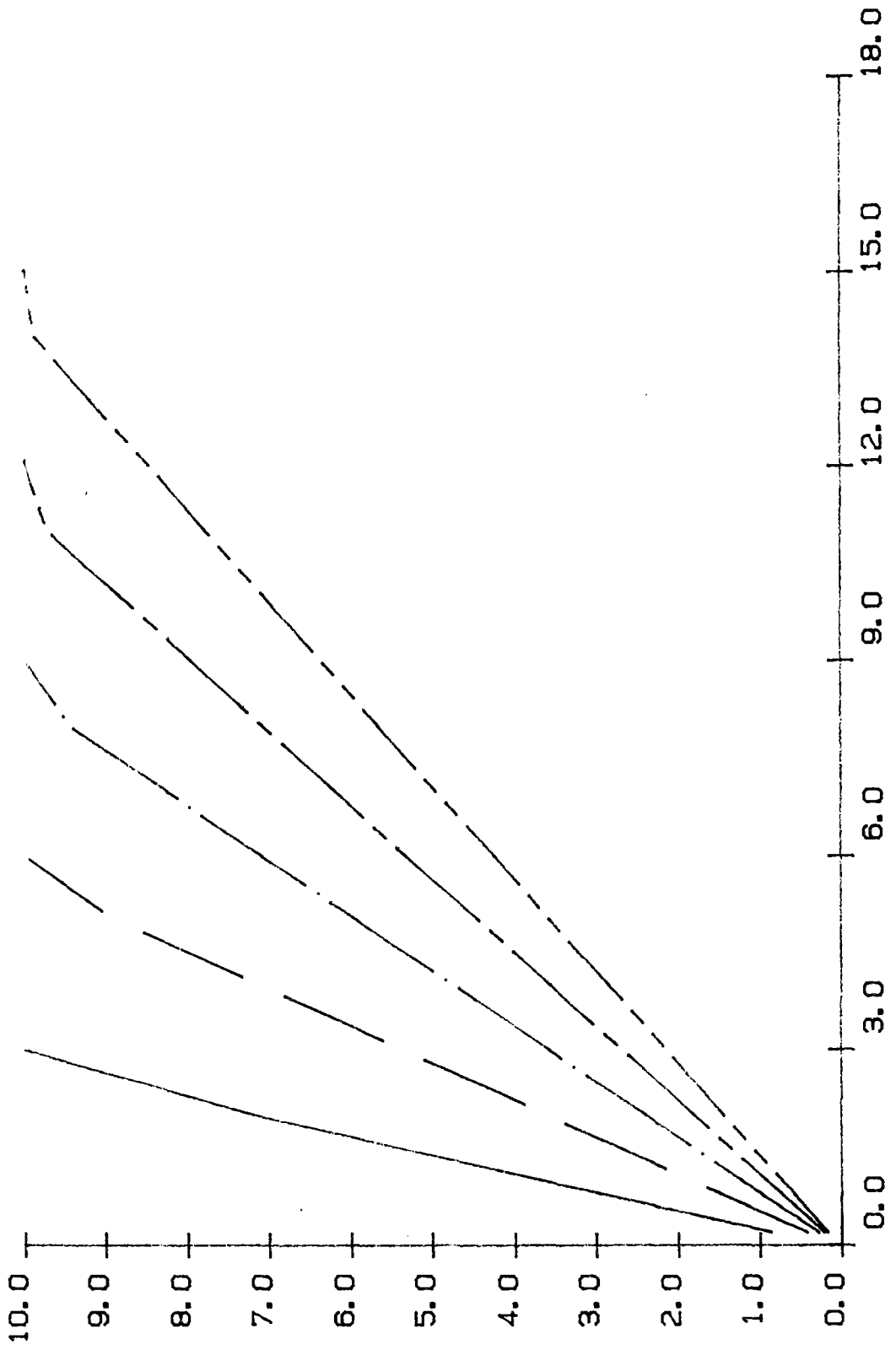


Figure 2 : r = 2 cm, DT = 0,2°C

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
 MELANGE A DTI CONSTANT

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

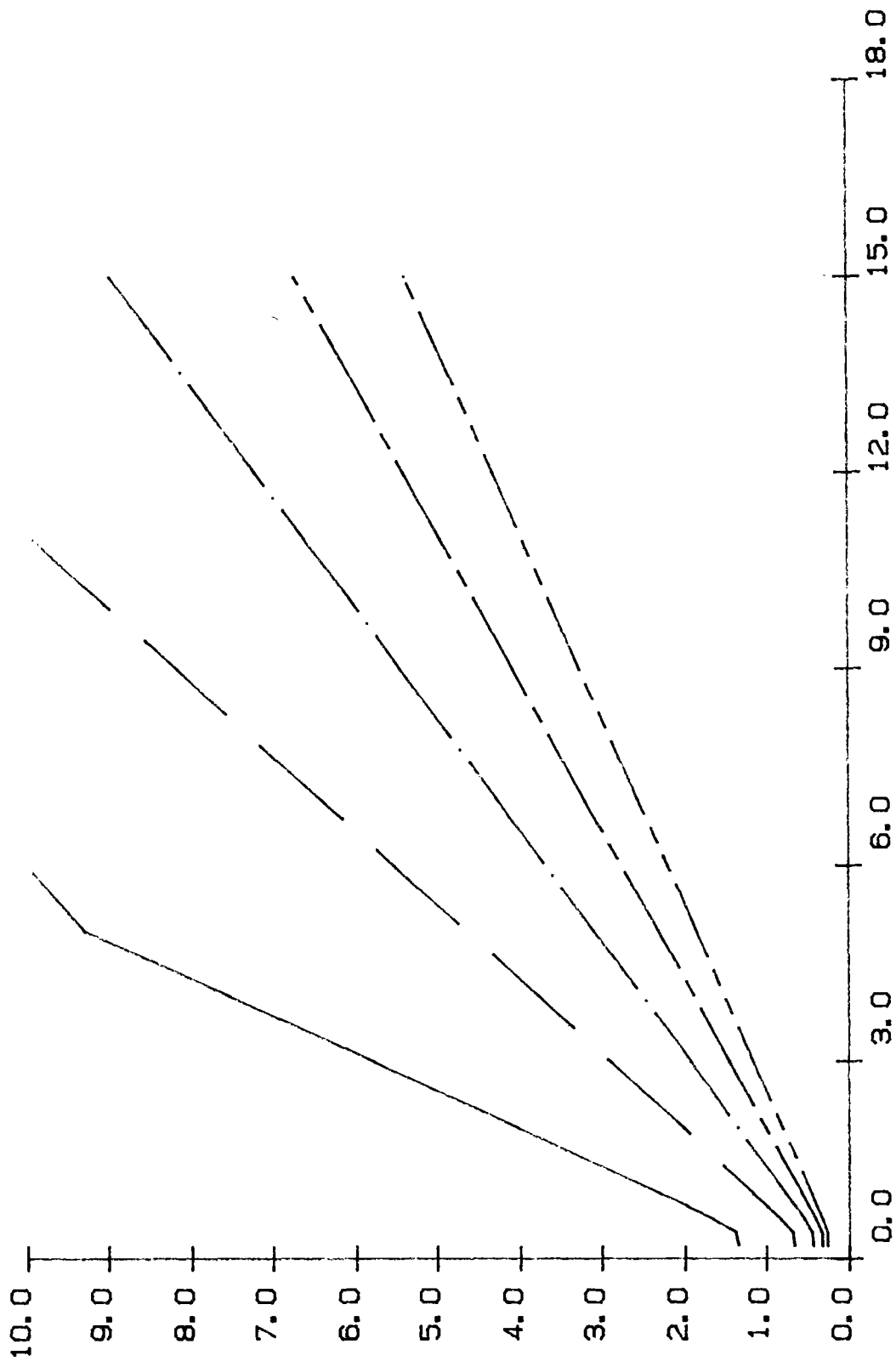


Figure 3 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$



DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
MELANGE A DTI CONSTANT

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

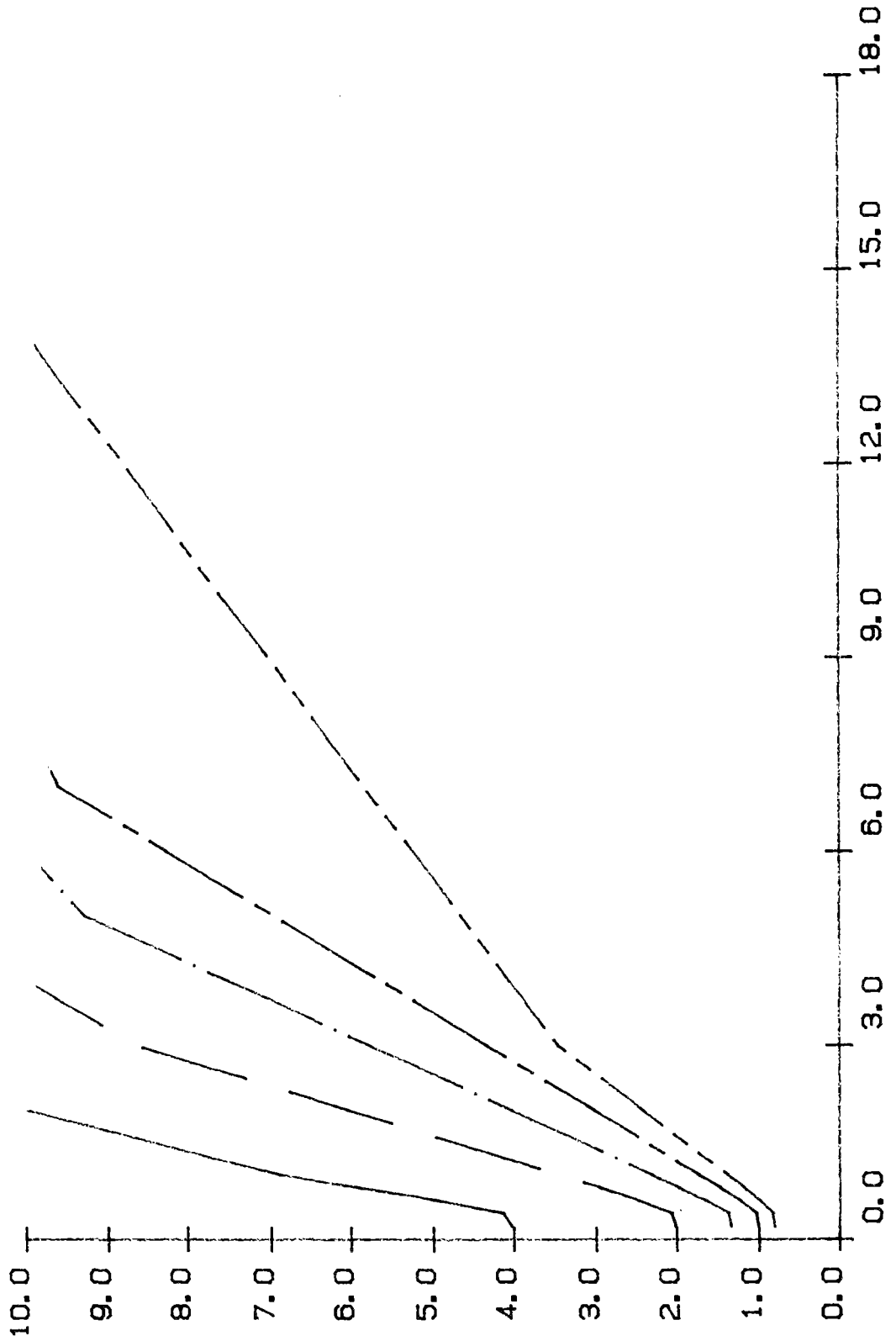


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

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

ANNEXE IX

Utilisation DE L'ICTYOTHERME A POSTE FIXE

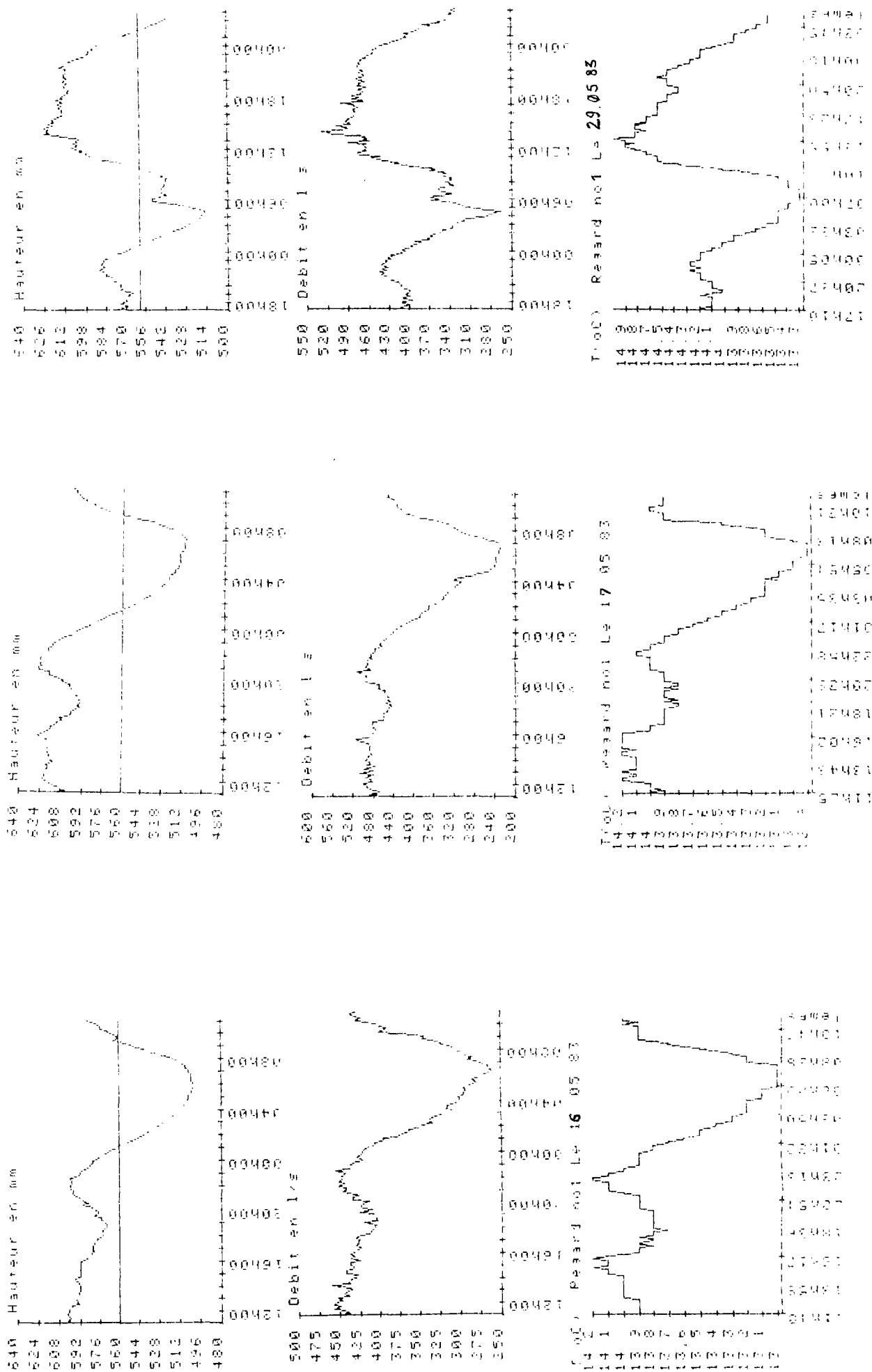


Fig.1 - Nuit du 16 au 17 mai 1983

Fig.2 - Nuit du 17 au 18 mai 1983

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

Programme de commandes de l'ICHTYOTHERME

```

350 GO TO 410 @ GOTO 410
355 GO TO 100 @ 100
360 DISP "GAMME 0 UTILISEE !!!"
365 ON KEY# 1 "GOMESU" GOSUB 550
370 ON KEY# 4 "DESTOC" GOSUB 570
375 ON KEY# 2 "EXPLOI" GOTO 1900
380 ON KEY# 3 "LECTUR" GOTO 155
385 DISP "heure de lancement de la mesure" en h.m.m? (ex.11h 23 = 11:23)
390 INPUT H1,H2
395 IF H1>24 OR H2>60 THEN 450 E
398 USE 470
400 GCLEAR
405 MOVE 10,180 @ LABEL "RELIEZ ICHTYOTHERME AU HP85 %"
410 BEEP 100,200 @ BEEP 50,80
415 MOVE 20,150 @ LABEL "K1 POUR LANCEUR LA MESURE"
420 ON KEY# 3 "LECTUR" GOSUB 155 @
425 GO TO 530
430 ON INTR 4 GOSUB 1470
435 ENABLE INTR 4,48
440 RETURN
445 RESET 4 @ BEEP 100,200
450 OFF KEY# 4
455 ASSEPT 4:3 ! GO A 1:ST A 1
460 ASSEPT 4:11 ! GO+RES+ST A 1
465 ASSERT 4:3 ! 50+ST+RES A 0
470 WAIT 2 ! DELAI a 2ms
475 ASSERT 4:11 ! GO+ST+RES A 1
480 CONTROL 4,4 : 192
485 OUTPUT 404 USING "#.B" ; 3 !
490 OUTPUT 404 USING "#.B" ; 4 ! PORT C, CES, CEL A 0 ET LE ENLOG A 1
495 ASSEPT 4:11 ! ST A 1 ET GO ET RESET A 1
500 MOVE 20,100 @ LABEL "ATTENDE Z UN INSTANT SVP !"
505 CONTROL 4,8 ; 2 ! PERMET SUR TIE SUR POPT B
510 FOR I=0 TO J1
515 OUTPUT 401 USING "#.B" ; 1 ! ADDRESSES EN SORTIE
520 ASSEPT 4:10 ! ST A 0, RE+GO A 1
525 WAIT 2
530 ASSEPT 4:11 ! ST P 1, RES+GO
535 ENTER 400 USING "#.B" ; 1
540 NEXT I
545 MOVE 20,90 @ LABEL "MERCI"
550 BEEP 100,20 @ LABEL "K2 POUR LIRE LES TEMPERATURES"
555 IF C5=1 THEN 340 ELSE 350
560 IF C5=1 THEN 360 ELSE 370
565 IF C5=1 THEN 380 ELSE 390
570 IF C5=2 THEN 380 ELSE 390
575 DISP "ATTENDEZ UN INSTANT SVP !"
580 FOR I=0 TO 255
585 MOVE 0 @ BEEP 100 @ T=I @ 0 @ 1 @
590 NEXT I
595 MEAS M=0 @ J1=0
600 DISP "MEASURE"
605 DISP @ DI @ "AVEZ VOUS MODIFIE LE CADREMENT DES MESURES S OYANS L'ICHTYOTHERME (STANDARD SE)?"
610 INPUT C#
615 IF C#="NON" THEN 270
620 IF C#="OUI" THEN 230 ELSE 20
625 DISP @ DISP "CADREMENT DES MESURES DE T0C en SECONDE S"
630 DISP "4,8-16-32-64-128-256 @ 512 @"
635 INPUT X20 X1=25*1000
640 GOTO 280
645 X1=2000
650 CLEAR @ DISP "GAMME 0 VA DE 0 A 2000"
655 DISP @ DISP "GAMME 1 VA DE 1 A 250"
660 DISP @ DISP "GAMME 2 VA DE 3 A 5500"
665 DISP @ DISP "ENTREP 0:1 OU 2"
670 INPUT G5
675 IF G5=0 THEN 340 ELSE 350
680 IF G5=0 GOTO 410
685 IF G5=1 THEN 360 ELSE 370
690 IF G5=1 GOTO 410
695 IF G5=2 THEN 380 ELSE 390
698 INPUT G#
700 IF G#= "OUI" THEN GOSUB 1950 ELSE 1670
705 IF G#= "NON" THEN 1690 ELSE 1650
710 DISP "ET ALOORS?" @ GOTO 164 @
715 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ LANCER LES T0C ?"
720 INPUT R#
725 IF R#="OUI" THEN GOSUB 1950 ELSE 1670
730 IF R#="NON" THEN 1690 ELSE 1650
735 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ STOCKER DANS UN FICHIER 0 E DONNEES?"
740 INPUT S#
745 IF S#="OUI" THEN 1730 ELSE 1720
750 IF S#="NON" THEN 1860 ELSE 1700
755 DISP "Le fichier est cree!"

```

Suite page suivante

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
R2=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$(SUBSTR(V$,1),X
1850 1,M$,H1,H2,V$
1860 ASSIGN# 1 TO *
1870 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ
EXPLOITER LES DONNEES"
1880 INPUT T$
1890 IF T$="OUI" THEN 1900
1900 IF T$="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 2026
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),T(5),U(2)
150 J1=C(3):A(12):M(12)
160 INTEGER P1,K3,P4,J3,J4 12,P
162 DE 6
164 J2=0 @ J3=0 @ T3=0 @ U=0
170 DISP @ DISP "Nom de la Rue"
180 INPUT U$
190 DISP @ DISP "Pue" @ M$ @ "a" @ M$
200 DISP @ DISP "No resard(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
re/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 5,183
580 LABEL "TOC" Resard nominal
590 $OVR% 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# 1
pour le
ement"
800 DISP @ DISP " Appuyer su
r la touche en face du nom"
810 DISP @ DISP "FICH01 = lectu
re donneez"
820 DISP "GAPHE = tracer graphi
que"
830 DISP "ICTY01 = lancement m
sure"
840 DISP "Autos = Gestion de
l'ICTY0-THERME"
850 RETURN
860 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
870 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
880 CLEAR @ CHAIN "Autos"
890 CLEAR @ CHAIN "TGRAFI"

```

```

900 IF P2=2 THEN D2=2 @ GOTO 56
910 IF P2=3 THEN D2=3 @ GOTO 56
920 IF P2=4 THEN D2=4 @ GOTO 56
930 IF P2=5 THEN D2=5 @ GOTO 56
940 IF P2=6 THEN D2=6 @ GOTO 56
950 IF P2=7 THEN D2=7 @ GOTO 56
960 IF P2=8 THEN D2=8 @ GOTO 56
970 IF P2=9 THEN D2=9 @ GOTO 56
980 IF P2=10 @ GOTO 56
990 IF P2=11 THEN D2=11 @ GOTO
560
1000 IF P2=12 @ GOTO
560
1010 IF P2=13 @ GOTO
560
1020 IF P2=14 @ GOTO
560
1030 IF P2=14 THEN D2=10 @ 500
1040
1050 GOCLEAR
1060 SCALE 0,255,0,191
1070 XRAIS 40,20,42,250
1080 YRAIS 42,130/02 45,175
1090 LDIR 90
1100 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
1110 L4=(L1-42)*(J1-1)*X1/208000
1120 R4=L4+T5
1130 R4=R4 MOD 86400
1140 R0=R4 DIV 3600
1150 R1=R4 MOD 3600
1160 R2=R1 DIV 60 @ R3=VAL$(R2)
1170 R3=R1 MOD 60 @ R3=VAL$(R3)
1180 IF R0<10 THEN P0#="0" @ VAL$(R
0) ELSE P0#VAL$(R0)
1190 IF R2<10 THEN P2#="0" @ R2#
120 T3=P0#*%h" @ R2#
1210 MOVE L1,1
1220 LABEL L1#
1230 NEXT L1
1240 LDIP 90
1250 MOVE 254,1
1260 LABEL "Temps"
1270 LDIP 0
1280 IF P2=1 THEN U1=2 ELSE U1=
1
1290 FOR L2=45 TO 175 STEP 130/02
1300 MOVE 2,L2
1310 L3=INT(F2/130*(L2-45)*10+.5)
1320 /10+P1
1330 LABEL VAL$(L3)

```

Programme de traçage : Temperature-Distance

```

1200 J3=K
1201 NEXT I
1202 IF S(K)=0 OF S(K)=K-1 THEN
1203 EN 1270 ELSE 1280
1204 S(K)=S(K-1)
1205 IF I=J1-1 AND J4=0 THEN 1300
1206
1207 NEXT K
1208 J4=J1-1
1209 GOTO 1360
1210 IF S(K-1)=0 THEN 1280
1211 IF S(K)<S(K-1) THEN 1270
1212 IF T(K)=0 THEN 1280
1213 J4=K
1214 IF J3=0 AND J4=0 THEN 2020
1215
1216 FOR I=J3 TO J4
1217 T3=I+3 TO J4
1218 FOR I=J3 TO J4
1219 T3=I+3 TO J4
1220 PRINT @ PRINT "Longueur line
1221 PRINT @ PRINT "%VAL%(S(J4))%"
1222 T8=INT(T3/10)+4-J3+10
1223 T8=INT(T8/10) @ PRINT "Toc moyen
1224 @ du reseau en oc="
1225
1226 T2=0
1227 T7=(J4-J3+1)/1000
1228 PRINT "Temps d'impression @
1229 @ " @ T1CHTYO-THERME en secon
1230 des = " @ T1
1231 V=0 @ V=INT(S(J4)/T7*500/100
1232 +5)/100 @ PRINT "Vitesse m
1233 @enne en m /mn=" @ V @ PRINT
1234
1235 IF J3=0 THEN J2=J3+1
1236 A1=0 @ A2=100
1237 F0=0 @ F1=0
1238 FOR K=J3 TO J4
1239 FOR K=J3 TO J4
1240 F0=MAX(A1,B(K))
1241 F1=MIN(A2,B(K))
1242 A1=F0
1243 A2=F1
1244 NEXT K
1245 NEXT K
1246 F2=0
1247 F3=F0-F1
1248 IF F2=0 THEN U=70 @ D2=1 @
1249 IF F2=0 @ GOTO 1740
1250 IF F2=1 THEN D2=1 @ GOTO 1
1251
1252 IF F2=2 THEN D2=2 @ GOTO 1
1253 IF F2=3 THEN D2=3 @ GOTO 1
1254 IF F2=4 THEN D2=4 @ GOTO 1
1255 IF F2=5 THEN D2=5 @ GOTO 1
1256 IF F2=6 THEN D2=6 @ GOTO 1
1257 IF F2=7 THEN D2=7 @ GOTO 1
1258 IF F2=8 THEN D2=8 @ GOTO 1
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
2673
2674
2675
2676
2677
2678
2679
2680
2681
2682
2683
2684
2685
2686
2687
2688
2689
2690
2691
2692
2693
2694
2695
2696
2697
2698
2699
2700
2701
2702
2703
2704
2705
2706
2707
2708
2709
2710
2711
2712
2713
2714
2715
2716
2717
2718
2719
2720
2721
2722
2723
2724
2725
2726
2727
2728
2729
2730
2731
2732
2733
2734
2735
2736
2737
2738
2739
2740
2741
2742
2743
2744
2745
2746
2747
2748
2749
2750
2751
2752
2753
2754
2755
2756
2757
2758
2759
2760
2761
2762
2763
2764
2765
2766
2767
2768
2769
2770
2771
2772
2773
2774
2775
2776
2777
2778
2779
2780
2781
2782
2783
2784
2785
2786
2787
2788
2789
2790
2791
2792
2793
2794
2795
2796
2797
2798
2799
2800
2801
2802
2803
2804
2805
2806
2807
2808
2809
2810
2811
2812
2813
2814
2815
2816
2817
2818
2819
2820
2821
2822
2823
2824
2825
2826
2827
2828
2829
2830
2831
2832
2833
2834
2835
2836
2837
2838
2839
2840
2841
2842
2843
2844
2845
2846
2847
2848
2849
2850
2851
2852
2853
2854
2855
2856
2857
2858
2859
2860
2861
2862
2863
2864
2865
2866
2867
2868
2869
2870
2871
2872
2873
2874
2875
2876
2877
2878
2879
2880
2881
2882
2883
2884
2885
2886
2887
2888
2889
2890
2891
2892
2893
2894
2895
2896
2897
2898
2899
2900
2901
2902
2903
2904
2905
2906
2907
2908
2909
2910
2911
2912
2913
2914
2915
2916
2917
2918
2919
2920
2921
2922
2923
2924
2925
2926
2927
2928
2929
2930
2931
2932
2933
2934
2935
2936
2937
2938
2939
2940
2941
2942
2943
2944
2945
2946
2947
2948
2949
2950
2951
2952
2953
2954
2955
2956
2957
2958
2959
2960
2961
2962
2963
2964
2965
2966
2967
2968
2969
2970
2971
2972
2973
2974
2975
2976
2977
2978
2979
2980
2981
2982
2983
2984
2985
2986
2987
2988
2989
2990
2991
2992
2993
2994
2995
2996
2997
2998
2999
3000

```

Suite page suivante

Programme

Suite "TGRAF1"

```

1400 IF F2= 9 THEN O2=9 @ GOTO 1
1410 P=33
1420 IF F2=1 THEN O2=10 @ GOTO 1
1430 IF F2=1 THEN O2=11 @ GOTO 2
1440 IF F2=1 THEN O2=12 @ GOTO 2
1450 IF F2=1 THEN O2=13 @ GOTO 2
1460 IF F2=1 THEN O2=14 @ GOTO 2
1470 IF F2=1 THEN O2=15 @ GOTO 2
1480 IF F2>1 5 THEN O2=10 @ GOTO 1740
1490 GCLEAR
1500 IF S(J4)>99 9 THEN 1750 ELS
1510 P=41 @ GOTO 1780
1520 P=33
1530 SCALE 0,355,0,191
1540 X AXIS P,20,43,250
1550 Y AXIS 42,173-P,02,P+2,175
1560 LDIP 90
1570 MOVE 253,2
1580 LABEL " "
1590 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
1600 IF S(J4)=1-42+S(J4)*200+19
+5)/10
1610 MOVE L1,1
1620 LABEL VAL*(L5)
1630 NEXT L1
1640 LDIP 0
1650 FOR L2=P+2 TO 175 STEP (175-P)/O2
1660 MOVE 2,12
1670 L6=INT(F2/(175-P))*(L2-P-2)*
10+5)/10+F1
1680 LABEL VAL*(L6)
1690 NEXT L2
1700 MOVE 5,183
1710 LABEL "OC ICTY0-THERME d
ans resseau"
1720 MOVE S(J2)*200/(S(J4)+42,183
J2)-F1*(173-P)/F2+P+2+0
1730 FOR O=J3 TO J4
1740 DRAW S(O)*200/(S(J4)+42,183
J4)-F1*(173-P)/F2+P+2+0
NEXT O
1750 COPY
1760 PAUSE
1770 CLEAR @ DISP "Appuyer sur la
touche en face"
EV LABEL pour la suite du
"traitement"
1780 DISP @ DISP "Appuyer sur la
touche en face"
1790 RETURN
1800 CLEAR @ CHAIN "FICHO1"
1810 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
1820 CLEAR @ CHAIN "Autost"
1830 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"

```

Fichier de données

```

1 REM *FICHO1 = FICHER DE DON
NEES *
2 COM B(256)/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 @ CHOISISSE LE FICHER
A LIRE "
8 PAUSE
9 CLEAR
10 DISP "NOM DU FICHER A LIPE"
11 INPUT V$
12 IF LEN(V$)<6 THEN 110
13 ASSIGN# 1 : B(O),S(O),T(O),J1
14 READ# 1, B(O),S(O),T(O),J1,M1
M$,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 460
210 DISP " * TRAITEMENT DES DON
NEES * "
22 DISP @ DISP " TGRAF1 = ICTY
OTHEREME TPRATE "
23 DISP @ DISP " TGRAF2 = ICTY
OTHEREME IMMOEILE "
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"
310 CLEAR @ DISP "ville de "&M$
320 DISP @ DISP "Inspection a "&
VAL*(H1)*%&"&VAL*(H2)*%&"mn"
330 DISP @ DISP "Cadence mesures
="&VAL*(X1/1000)*%&"s"
340 DISP @ DISP "Nom du fichier="
&V$
350 DISP @ DISP @ DISP "Appuyer
sur CONT"
360 PAUSE
370 CLEAR
380 FOR I=1 TO J1-2 STEP 13
390 FOR I=14 TO I4+12
400 IF I>J1-2 THEN 450
410 DISP I5:TAB(12):S(I5):TAB(20
):B(I5)
420 NEXT I
43 PAUSE
440 NEXT I4
450 DISP "FIN" @ DISP "KEY LAI
R" @ RETURN
460 CLEAR "CORRECTION DES DONNE
E"
470 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ I
NSCRIRE A CORRIGER"
480 DISP @ DISP "ENCORE UNE CO
RRECTION?"
490 INPUT Y$
500 IF Y$="OUI" THEN 530 ELSE
510 IF Y$="NON" THEN 670
520 DISP @ DISP "VALEUR INSCRITE EST
" &VAL*(B(I))
530 DISP @ DISP "VALEUR CORRI
gee"
540 INPUT B(I)
550 DISP @ DISP "VALEUR SUIV
ANTE"
560 IF O#="OUI" THEN 530 ELSE
570 IF O#="NON" THEN 670
580 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ I
NSCRIRE A CORRIGER"
590 DISP @ DISP "ENCORE UNE CO
RRECTION?"
600 INPUT Y$
610 IF Y$="OUI" THEN 530 ELSE
620 IF Y$="NON" THEN 670
630 DISP @ DISP "VALEUR INSCRITE EST
" &VAL*(B(I))
640 DISP @ DISP "VALEUR CORRI
gee"
650 INPUT B(I)
660 DISP @ DISP "VALEUR SUIV
ANTE"
670 ASSIGN# 1 TO V$
680 PRINT# 1, B(O),S(O),T(O),J1
M$,H1,H2,V$
690 ASSIGN# 1 TO *
700 CLEAR @ DISP "Appuyer sur
KEY BEL pour suite" @ RETURN

```

## 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(1E4)
12 FORMAT(F4.2)
13 FORMAT(F5.1)
20 FORMAT(1E4,1D10)
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(1,0),2700,2700)
CALL WIND(A(1,1),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

```

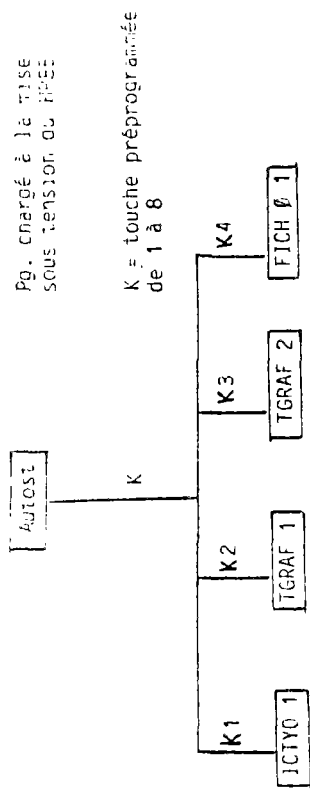




Organigramme de "FICHØ1"

Appel de "FICHØ1" par la touche K3

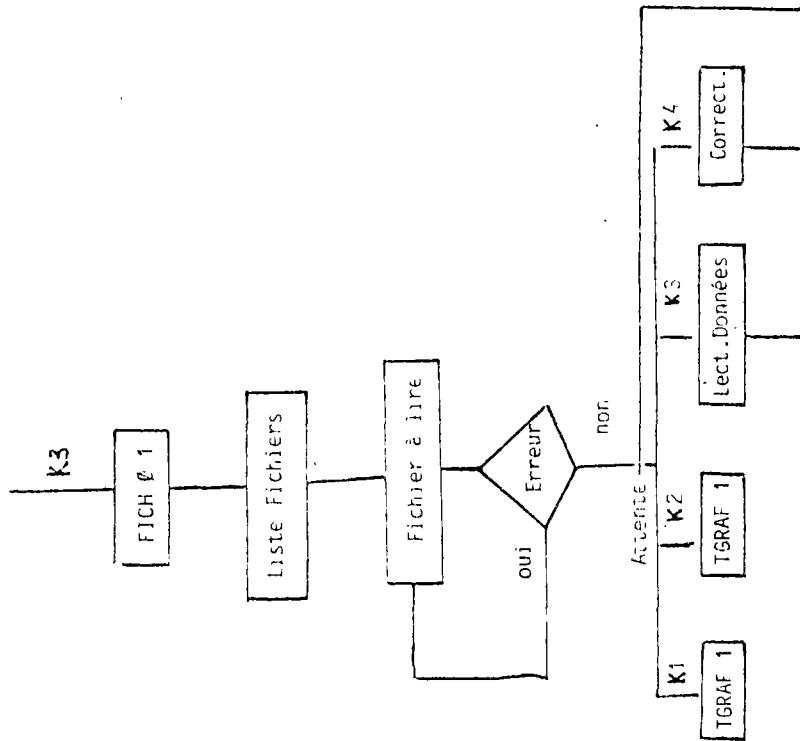
DEFINITION DES PROGRAMMES



- ICTYO 1 = Pg. de commandes de l'ICHTYØ-IRÈME
- 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

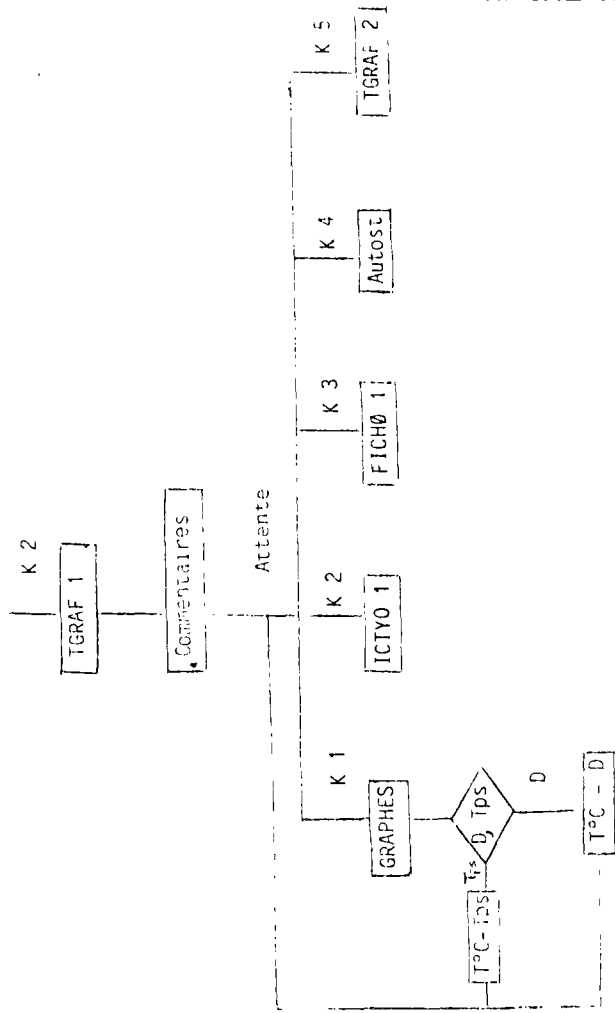
Les programmes TGRAF 1 et TGRAF 2 ne peuvent pas être utilisés directement avant d'avoir chargé un fichier ou procédé à une campagne de mesure.  
Seuls ICTYO 1 et FICH Ø 1 sont directement utilisables.



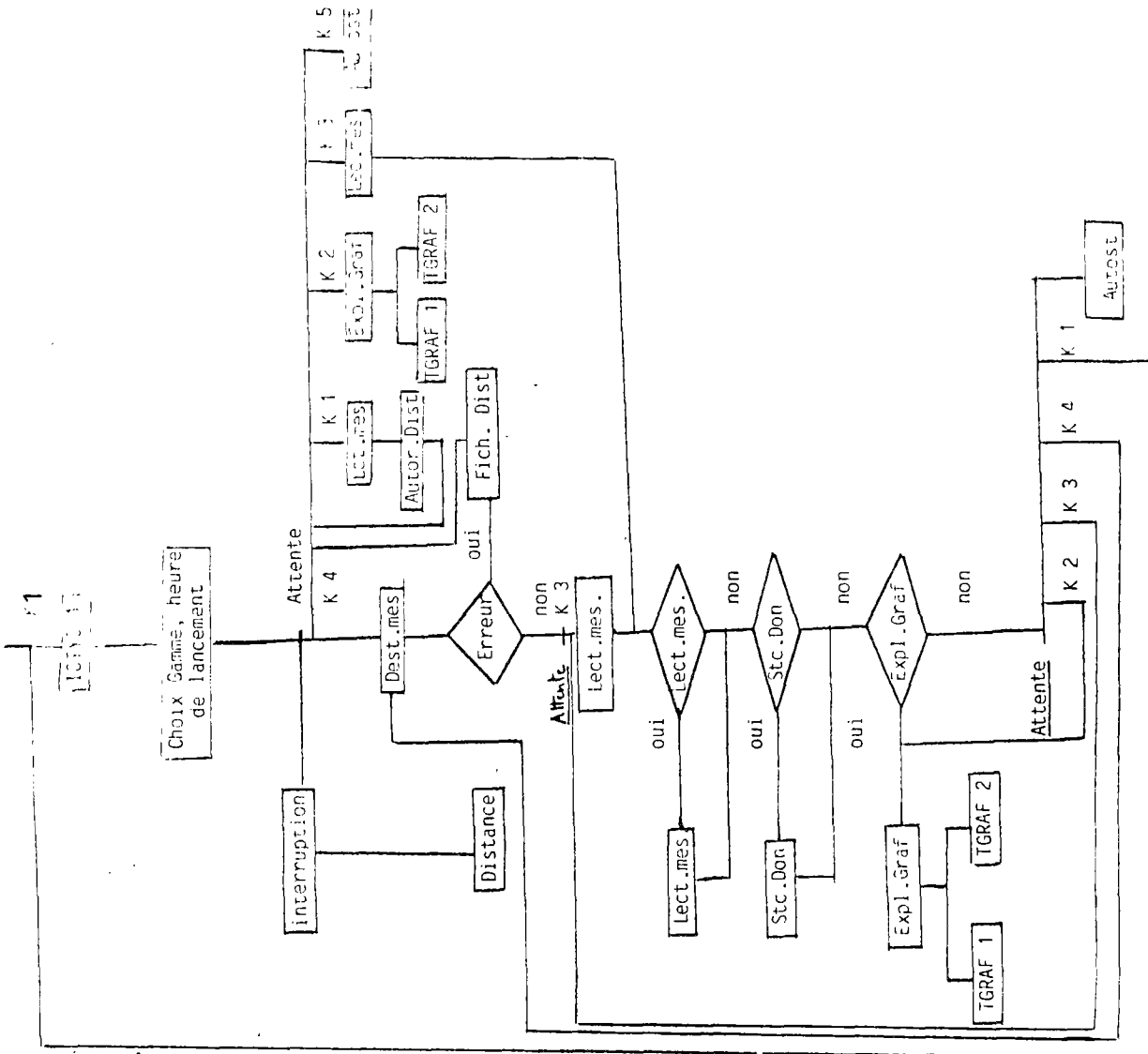
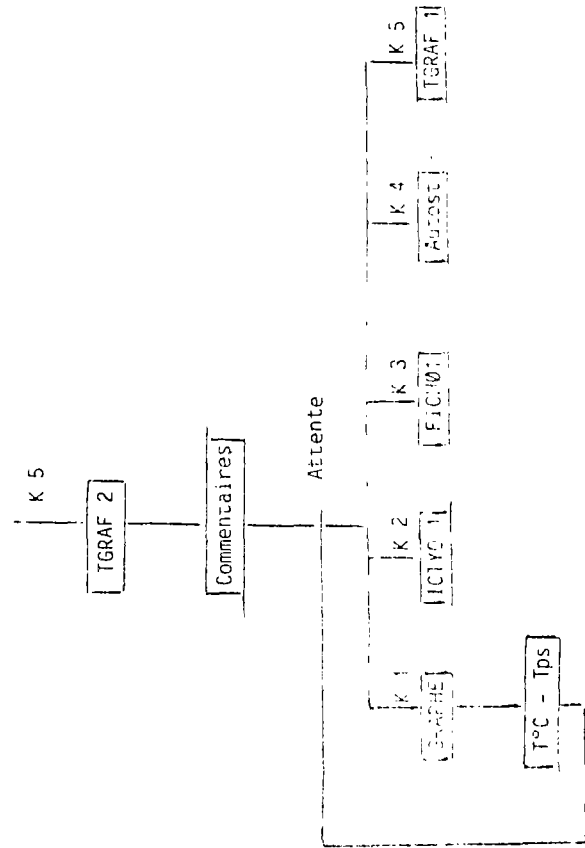
Pl.2 - Organigramme de "FICHØ1"

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