

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

soutenue LE 9 décembre 1983

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

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

28

E.N.P.C.
DOC11697

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

A ma femme

A notre fils

REMERCIEMENTS

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

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

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

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

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

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

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

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

RESUME

Partant de l'hypothèse que, d'une part, aucun rejet ne peut se trouver à une température rigoureusement identique à celle des eaux draînées 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 Ichtyotherme, 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

INTRODUCTION 1
PREAMBULE 5
PREMIERE PARTIE : 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

QUATRIEME PARTIE : 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 Québecoise 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
GRAFCET	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'Epuration 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} Kelvin^{-1}
D	coefficient de diffusion ou diffusivité thermique	L^2T^{-1}
DT ou Tm	différence de température après mélange	celsius
DTI ou Tr	différence de température au rejet	celsius
g	accélération	LT^{-2}
h	profondeur lame d'eau en mouvement	L
m	masse	M
λ	coefficient de biodégradation	T^{-1}
ρ	masse volumique	ML^{-3}
β	coefficient d'expansion thermique	celsius^{-1}

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

notations particulières

$\exp(x) = e^x$ $\qquad\qquad$ Δ = 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 égoûts - "Le Monde" 12.10.83
ANNEXE I bis	Caractéristiques techniques de l'Ichtyotherme
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 — Température mélange fonction température rejet — 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 — isothermes sur 15 m — 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 — Différence température fonction distance mélange à DT constant — 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 — Débit apport fonction distance mélange à DTI constant — 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

INTRODUCTION

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.

PREAMBULE

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 apparait 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 draînées 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 nellement 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.

PREMIERE PARTIE

Les mesures effectuées par l'ICHTYOTHERME

AVANT-PROPOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I - La mesure de la température

I.1. Choix et présentation du capteur de température

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

I.2. Caractéristiques du capteur

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

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

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

I.3. Montage du capteur

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

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

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

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

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

II - La mesure de la conductivité

II.1. Définition de la mesure

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

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

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

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

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

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

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

II.2. Choix de la cellule de conductivité

Les mesures de la conductivité des "eaux usées" se situent dans la gamme 500-15000 $\mu S/cm^{-1}$. 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".

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

S étant la surface identique des deux électrodes.

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

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

La cellule à 4 électrodes choisie pour notre application est sans 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 II6.). 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'apparait 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.

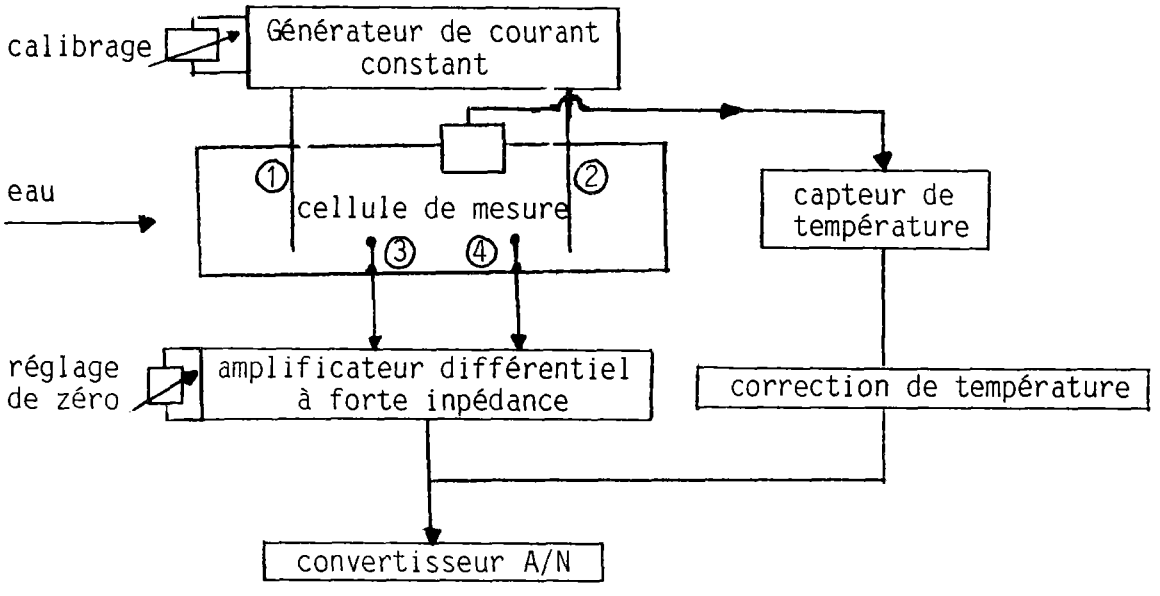


Figure 1 : Principe de mesure à 4 électrodes (documents PROCAL)

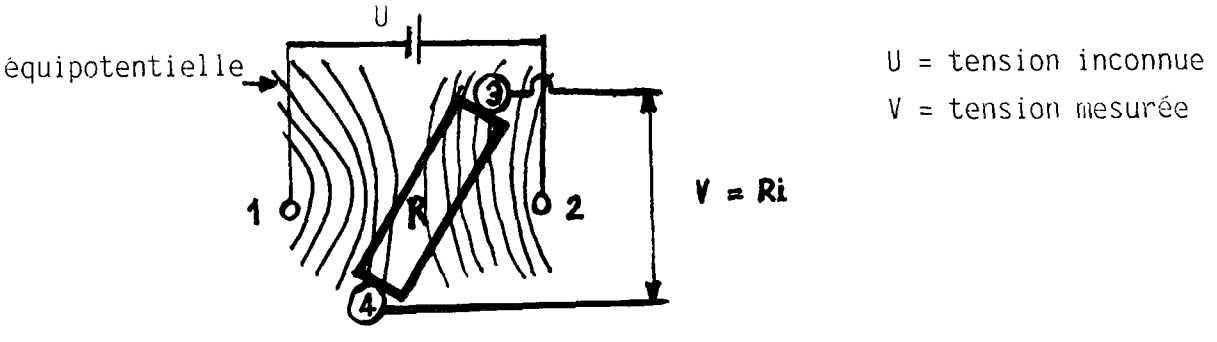


Figure 2 : Disposition des électrodes dans la cellule de mesure (capteur-Ponselle)

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 μScm^{-1}, 0-2000 μScm^{-1}, 0-20000 $\mu S/cm$ et 0-200000 $\mu S/cm$.
- une prise de capteur
- un affichage à cristaux liquides
- un potentiomètre pour l'étalonnage de la mesure
- un deuxième potentiomètre permettant un règlage 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%/°C, le choix d'une température de référence 15,20 ou 25°C est possible à partir d'un tableau de correction de la température pour une solution donnée [Annexe IVter].

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

II.6.1.2. Variables influençant la mesure

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

Pour ce qui concerne cette dernière variable il apparait 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 parait 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 dizième degré est obtenue en séparant la plage 0-50°C en 3 gammes de mesures programmables. Le traitement de la mesure se fait de la manière suivante :

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

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

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

IV.1.3. Stockage des mesures

Deux circuits mémoires, ayant une capacité totale de 256 octets sont utilisés pour la sauvegarde des mesures. Nous disposons de huit cadences de mesures permettant des durées d'inspection allant de 15 minutes à 36 heures. La cadence standart 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.

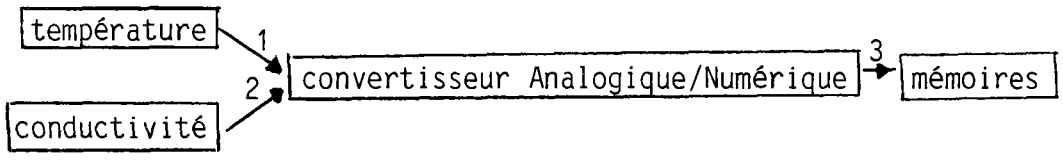
Les critères principaux à cette réalisation sont :
- une compatibilité mécanique et électrique
- une adaptation des signaux.

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 disposions 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'ichtyotherme. 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 déportés 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 cablée.

Actuellement, il ne nous est possible, en raison de la faible capacité réunie dont on dispose (256 octects), 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 cablage 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'occurence 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.

D E U X I E M E P A R T I E

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 évènements 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 octects 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 TYO 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 évènements 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 connaitre 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

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

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

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

3. Conservation de l'énergie

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

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

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

II - Hypothèses simplificatrices

Qu'elle est la plus petite perturbation qu'on puisse espérer détecter sachant que notre capteur a une résolution meilleure que 0,1°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_y.

La solution analytique est :

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

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

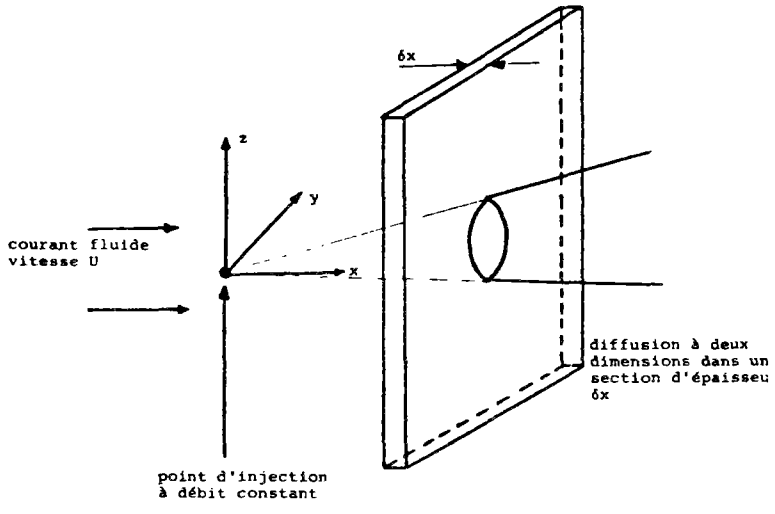


Fig.4 - Données du modèle de diffusion adapté à notre problème.

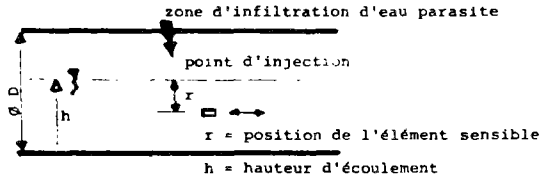
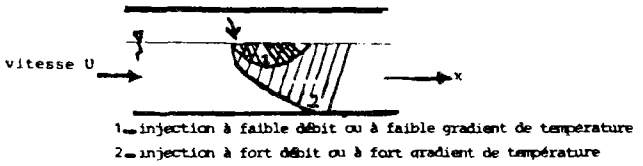


Fig.5 - Evolution des isothermes dues à un rejet thermique



1 - injection à faible débit ou à faible gradient de température
2 - injection à fort débit ou à fort gradient de température

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

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

III - Développement du modèle adopté

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

L'équation générale de diffusion s'écrit :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{U}\frac{\partial T}{\partial x} = \varepsilon_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \varepsilon_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \varepsilon_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \lambda T$$

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

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

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

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

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 :

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

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, apparait 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 14×10^{-8} m^2/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 :

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

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 dûe 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 connait 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 dûe 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 : exeptionnellement, 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 temperature 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 créés 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 délà 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.

Q U A T R I E M E P A R T I E

Auscultation des réseaux :
Approche systémique des eaux parasites

Avant-Propos

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

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

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

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

I - Définition du système et choix des caractéristiques

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

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

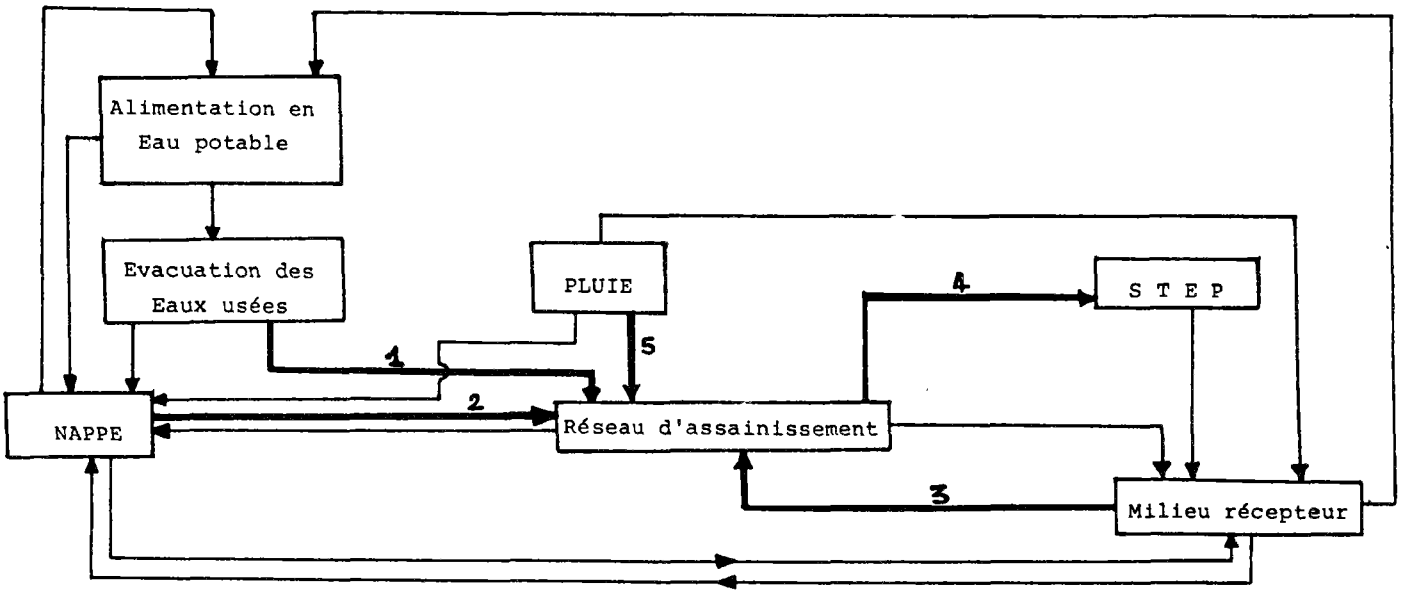
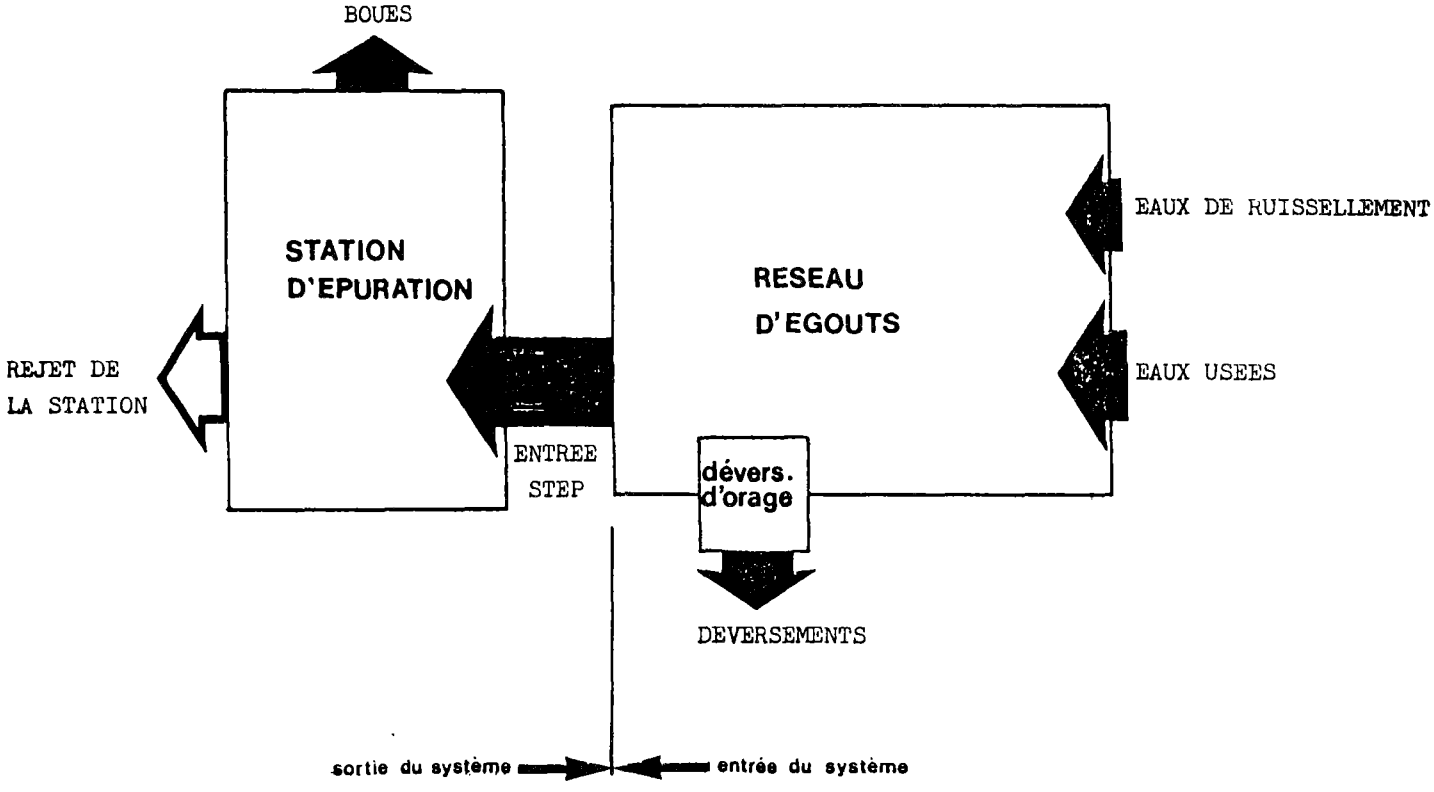


Fig.6 - Approche systémique des eaux parasites

(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 dessablement, 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 boites 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

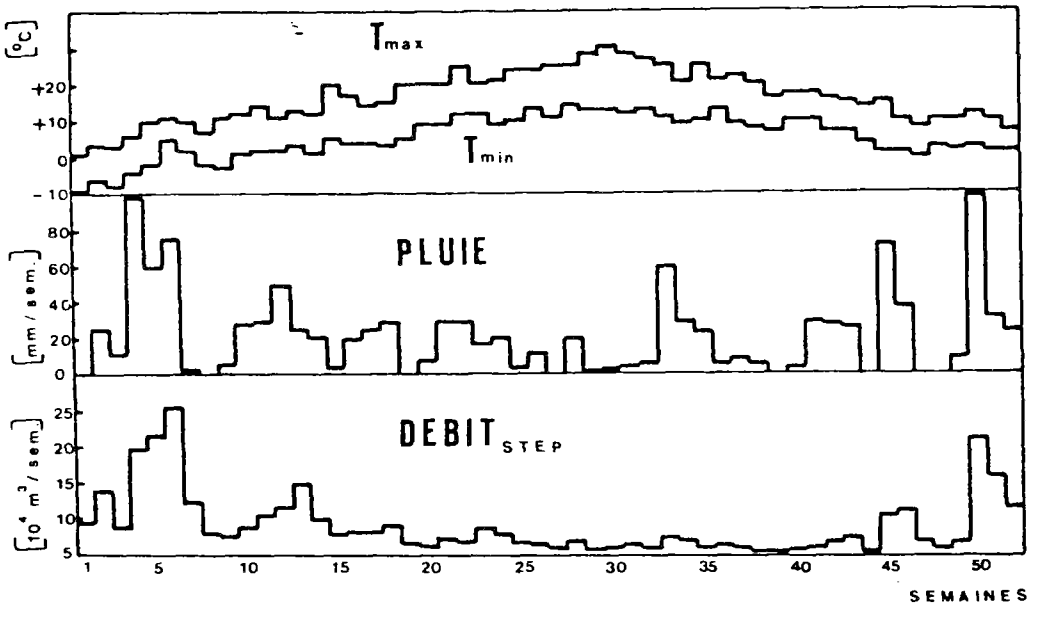


Fig.8 - Températures, pluies et débits d'entrée de la STEP en 1979 tiré de (70)

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 μScm^{-1} à 20°C (directive CEE du 15.07.80). La moyenne des valeurs observées, sur des échantillons moyens journaliers, de la conductivité des eaux usées domestiques est de 1186 $\pm$ 265 μScm^{-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 répercution 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 µS/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 du 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 dûes 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 défectuosités 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 toîts, 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 draînées 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].

C O N C L U S I O N G E N E R A L E

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 conductimètrie 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 ($<0,1°C$) sur des périodes dépassant les 4 heures
- une stabilité de la température ($<0,1°C$) 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 draînées 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

BIBLIOGRAPHIE

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 résiduaires 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 solube 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 durations of Urjection
I.A.H.R., 1973

26 - J.W. CLARK, W. VIESSMAN
Water Supply and Pollution Control
Third Edition IEP, 1978

27 - P.V. DE LA CLERGERIE
Etude sur la conformité des rejets à l'égoût
SLEE - RPS, 1977

28 - M. COANTIC
Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement turbulent dans un tube circulaire
Public. Scientif. et Techniques 1962, N°113

29 - J. CRANK
Conduction of Heat in Solids
Oxford Univ. Press, 1975

30 - G. CORRIEU - J.P. TOUZEL
Comparaison de sonde de mesure de la concentration en oxygène dissous - essais au laboratoire
TSM, Juin 1978, pp 349

31 - CTGREF
Caractéristiques des effluents des communes rurales
Note technique N°5, Décembre 1973

32 - R. DAMAYE - C. GAGNE
Alimentations électroniques - Théories et Pratique
Editions de la Radio, 1982

33 - J. DARTOIS
Elaboration d'un programme de caractérisation des eaux usées
Eau du Québec, vol 15, N°4, Novembre 1982, pp 417-419

34 - M. DESJARDINS
Les capteurs de mesure
La documentation Française, 1975

35 - J.C. DEUTSCH
Problématique du choix d'un réseau d'assainissement
TSM, 1979, pp 23-32

36 - W. DOBBINS
Diffusion and mixing
Boston Society Civil Engineers, Tome 52, N°2, 1965

37 - J. DUBOIS, P. LUTZ, M. COQUELET
Problèmes posés par la mesure automatique en milieu naturel
S.H.F. Nantes, Septembre 1982

38 - A. DU QUAY
Automatisation par ordinateurs
Thèse Montpellier, 1974

39 - ENPC - Formation Continue
Conception des réseaux d'assainissement - Mesures et Analyses
Mars et Décembre 1982, Paris

40 - ENPC - Formation continue
L'exploitation des réseaux d'assainissement
Toulouse, Juin 1982

41 - G. FACY - J. FONTAINE
Les automates programmables par les automatismes et les télétransmissions
TSM, Juillet 1982, pp 359-368

42 - Y. FAES
Commande de processus industriels par calculateurs
Editions Massous, 1982

43 - Hugo B. FISCHER, E. JOHN
Mixing in Inland and Coastal Waters
Academic Press 1979

44 - E. FISCHER - C.W. JENSEN
PET and the IEEE 488 Bus [GPIB]
Osborne, Berkeley, 1980

45 - J.C. GLASCARD
Définition et détermination de la salinité de l'eau de mer.
Présentation de la Bathysonde
Thèse 3ème cycle, Fac. des Sciences Paris, 1969

46 - E. GLEASON GARCIA
Modélisation d'une STEP biologique des eaux à l'oxygène
Thèse D.I., Institut Polytechnique Grenoble 1978

47 - J. HARRINGTON
Application de l'analyse des systèmes en génie écologique
M.I.T., 1968

48 - J.C. HEMAIN
Etude bibliographique des modèles de qualité des eaux
drainées par les réseaux d'assainissement urbains
L.H.M., Montpellier 1979

49 - Hewlett PACKARD
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'égoûts
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 calculateur en temps réel à un ensemble expérimental de détection
Thèse D.I., 1967, N°53

64 - M. MAES
Les stations d'épuration : comment les faire marcher ?
L'Industrie du Pétrole Juin 1974 - N°451, pp 15-25

65 - M. MAES
Consignes d'Exploitation des stations d'Epuration des eaux usées : traitements biologiques
APAVE, N°186, Avril-Mai-Juin 1974, pp 79-94

66 - C.J. MAESTRE
A propos de la notion de réseau
Publications LAMSADE, 1979

67 - F. MAHIEUX
INNOVATION et Marketing
Revue française de Gestion, novembre-décembre 1976

68 - F. MAHIEUX
Le "système" de l'innovation
Revue d'Economie politique n°3, mai-juin 1975

69 - G. MATORE
Cours élémentaire d'électronique
Editions Radio, 1978

70 - Y.L. MAYSTRE
Théorie de l'Epuration des eaux
E.P.F.L. - I.G.E., 1976

71 - J.P. MEINADIER
Structure et Fonctionnement des ordinateurs
Larousse, 1971

72 - W.D. MEREDITH
Minimising automatic control problems on waste water treatment plants
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, pp 115-120, 1980

73 - G. MILAZZO
Electrochimie - Bases théoriques - Applications analytiques
Tome 1, Dunod Paris 1969, 426 p

74 - A. MUSY
Contribution à l'étude par simulation des écoulements souterrains en milieu poreux
Thèse EPFL, 1974

75 - National Semiconductor
Ram I/O - Document NS, 1977

76 - A. NIETO - F. PAUL
Mesure des températures
Editions Radio Paris - 1975

77 - V. NOVOTNY - PA. KRENKEL
Simplified mathematical model of temperature changes in rivers
JWPCF vol 45, N°2, February 1973, pp 240-248

78 - H. NUSSBAUMER
Conduite de processus
EPFL - Octobre 1981

79 - G. OLSSON
Automatic control in waste water treatment plant
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, 1980, pp 121-130

80 - A. OSBORNE
Initiation aux microordinateurs Niveau 2
Editions Radio, 1980

81 - R. PEREZ
Contribution à l'étude de la diffusion saline en régime turbulent en canal
Application à la mesure des débits
Bulletin de Centre de Recherches et d'Essais de Châtou, Mars 1963

82 - J. PERRIERES
Les pollutions industrielles et les eaux parasites en réseau d'assainissement
Journée ACIM - 13 janvier 1982

83 - J. PETERLONGO
Les températures des Sources en Puy-de-Dome et dans la Creuse
Annales Fac. Sciences Clermont-Ferrand N°26, pp 181-191

84 - B. PETUSSEAU
La recirculation des boues activées dans un système biologique
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 turbulent 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
Birkhaüser, 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

ANNEXE I

DES MACHINES

● Le « mouchard » des égouts

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

Or les conduites d'égout, généralement placées à 2 mètres de profondeur, traversent souvent des nappes phréatiques. A la moindre fissure ou craquelure, cette nappe s'infiltre 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 ingénieux bricolage, 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) Latérini S.A., 7, chemin du Halage, 78290, Croissy-sur-Seine. Tél. : (3) 976-61-58.

"Le Monde", 12 octobre 1983

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 15 - 35°C 30 - 55°C
	par calculateur	
	Résolution	0,1°C
	Précision absolue	< 0.5°C
	Capacité de stockage	256 mesures
	Cadence de mesure programmable par switch	4,8,16,32,64, 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

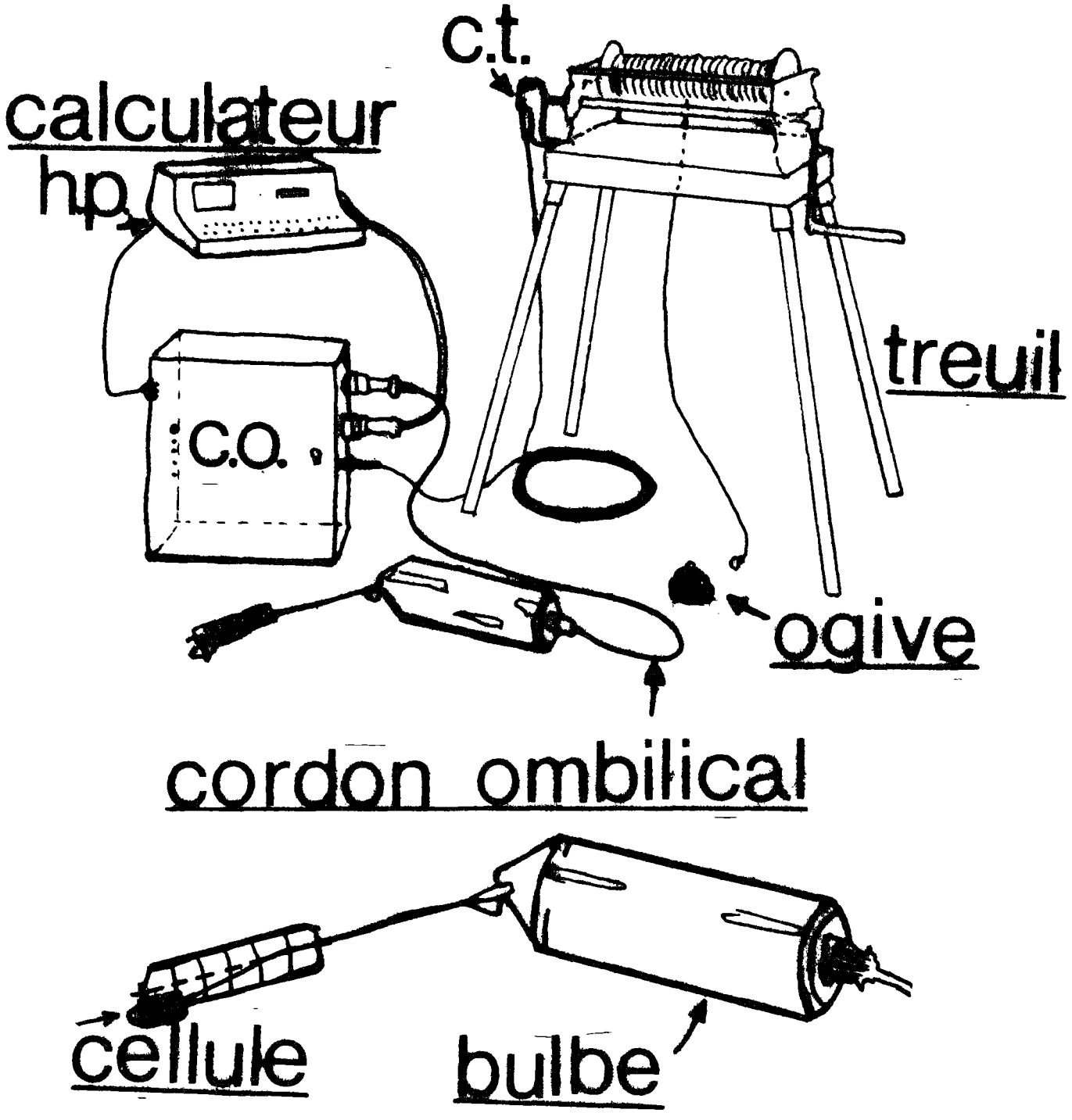
16 Koctets RAM
Ecran graphique
Imprimante graphique
Archivage des données sur cassettes
Autonomie sur onduleur 120 VA de 3 heures
Langage de programmation : BASIC
Commandes par touche de fonction
Sorties graphiques : T = f (tps) ; T = f (L)

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

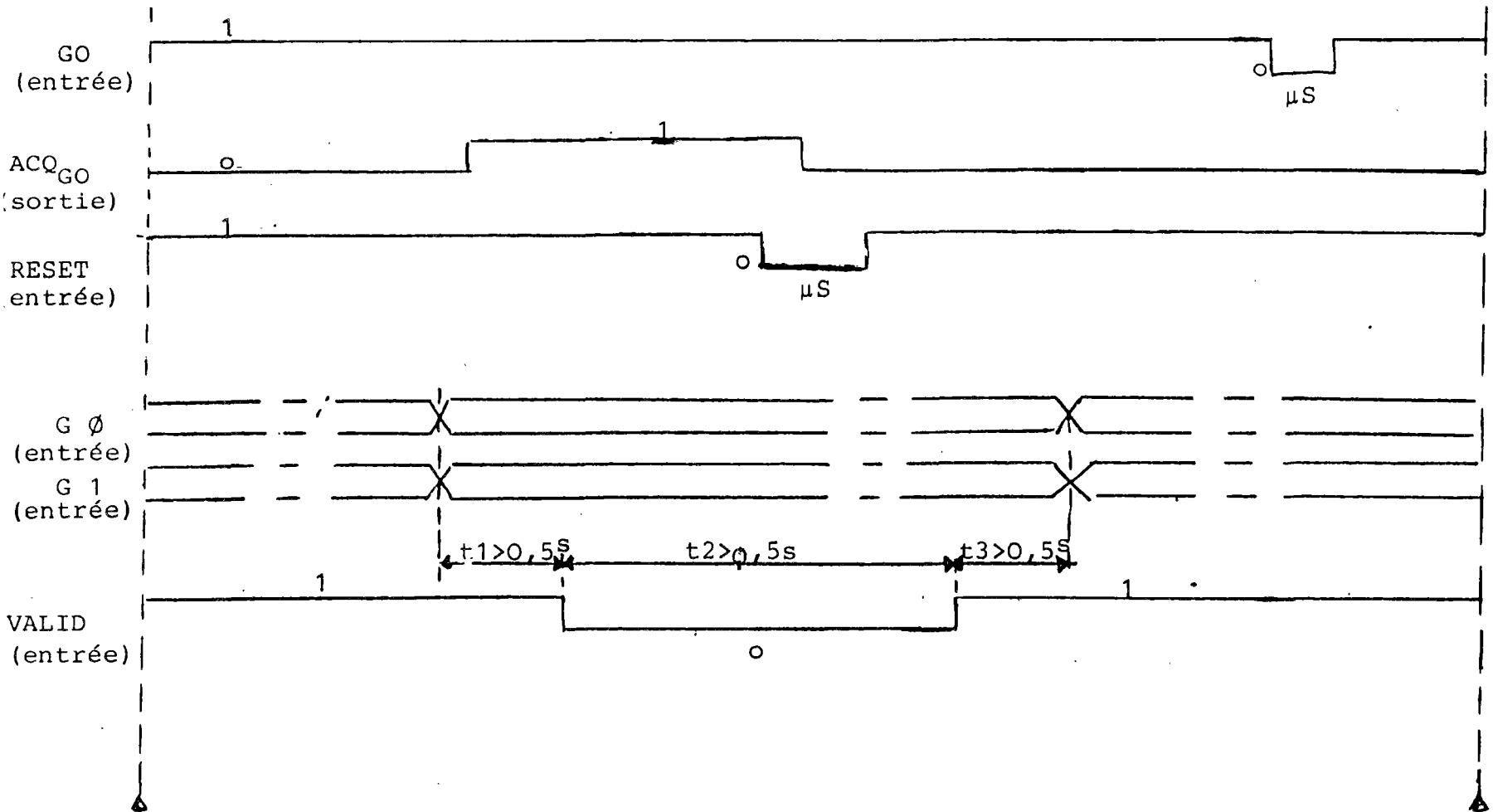
ANNEXE 1 ter

CHAINE DE MESURE: L'ICHTYO-THERME



POISSON THERMOMETRIQUE : LOGIQUE DE MARCHE/ARRET

ET DE SELECTION DE GAMME



branchement du connecteur

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

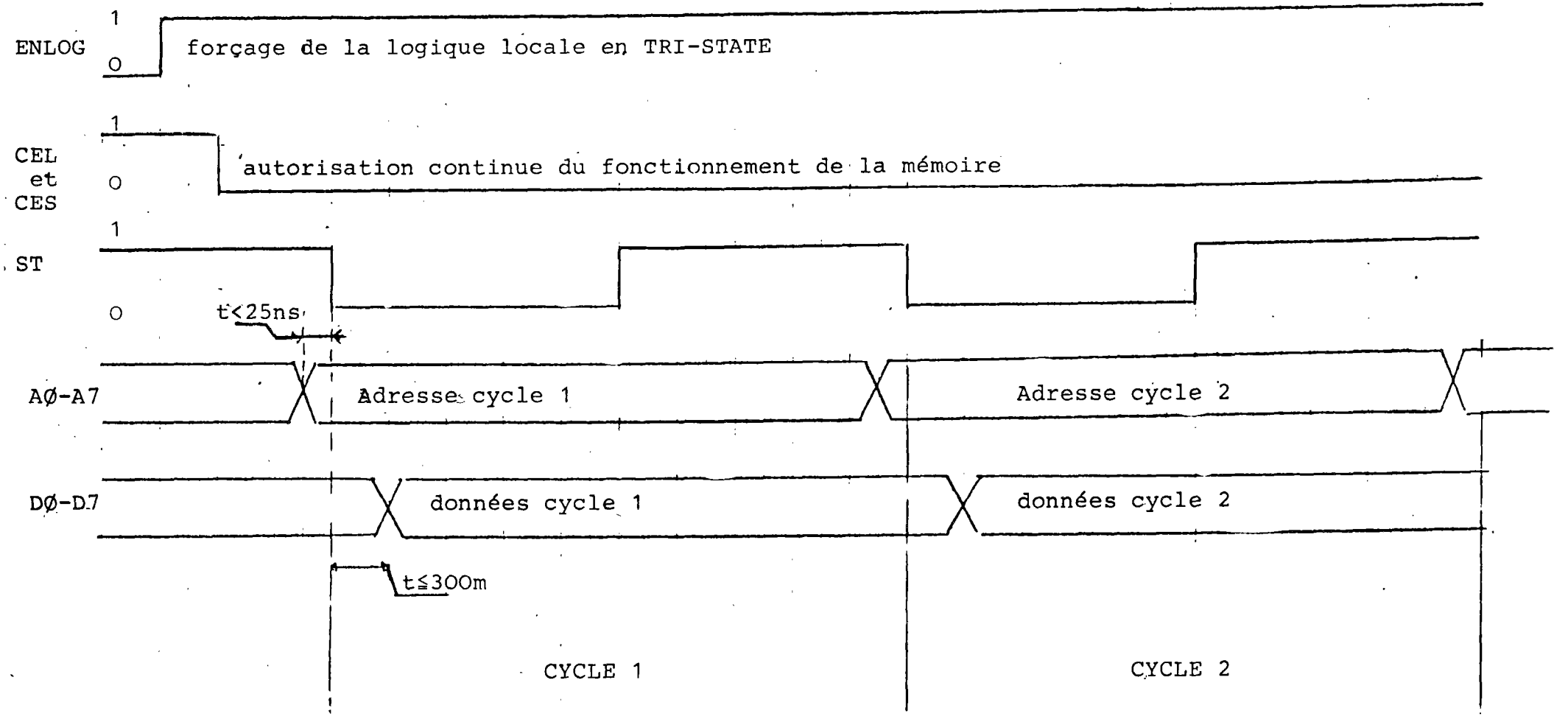
Documents CR2M

débranchement du connecteur

mêmes conditions que pour le branchement

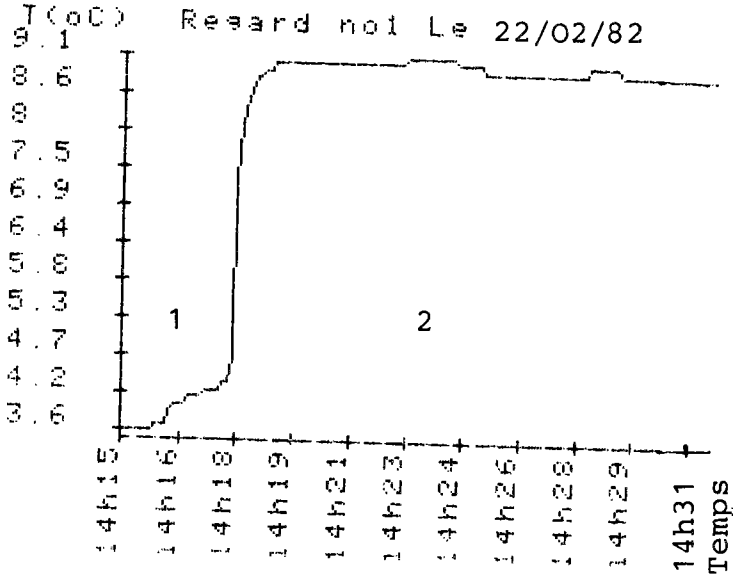
ANNEXE II

POISSON THERMOMETRIQUE : LOGIQUE DE LECTURE



Documents CR2M

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
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

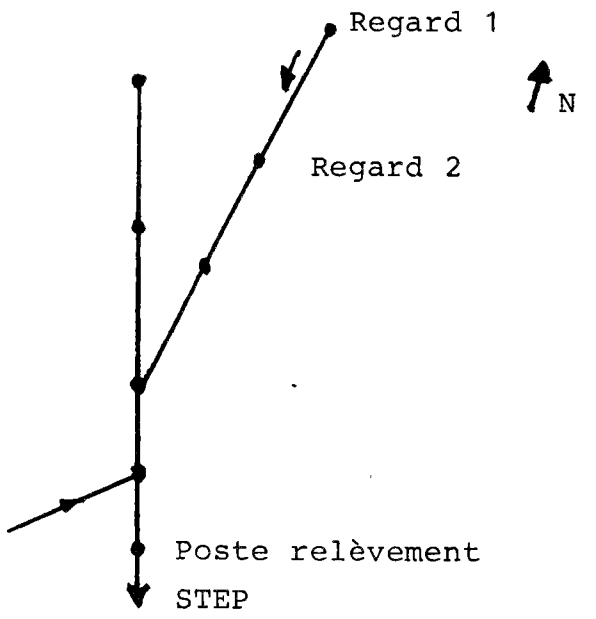
Fig.2 - Traitement des données en laboratoire (version 1).

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



Auscultation de réseaux (Version 1)

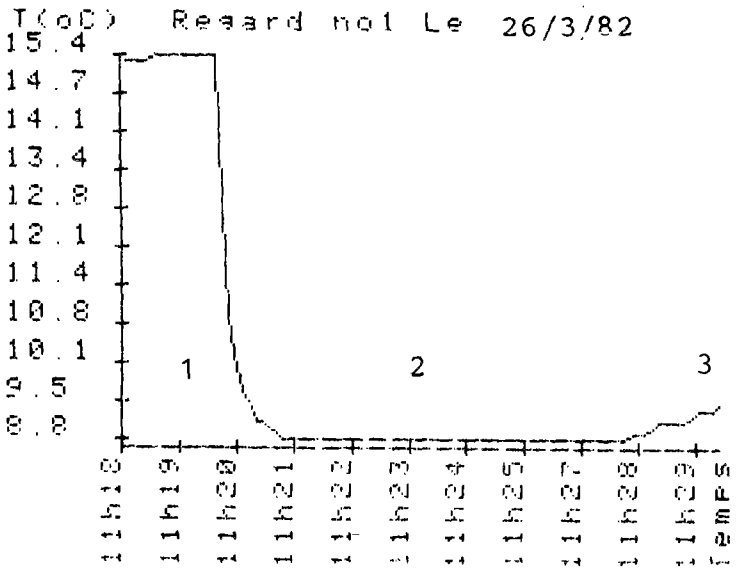


Fig.1 - Mogneville (60), Ø400, h = 300 mm
Réseau à 2m de la rivière

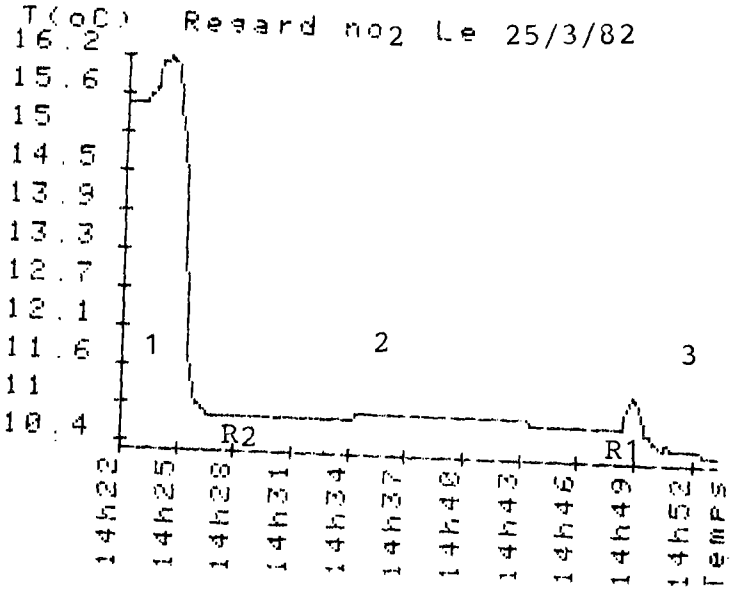
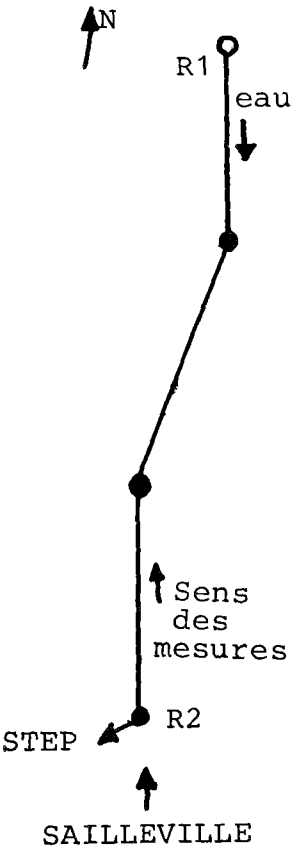


Fig.2 - Liancourt (60), Entrée de la STEP

- 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



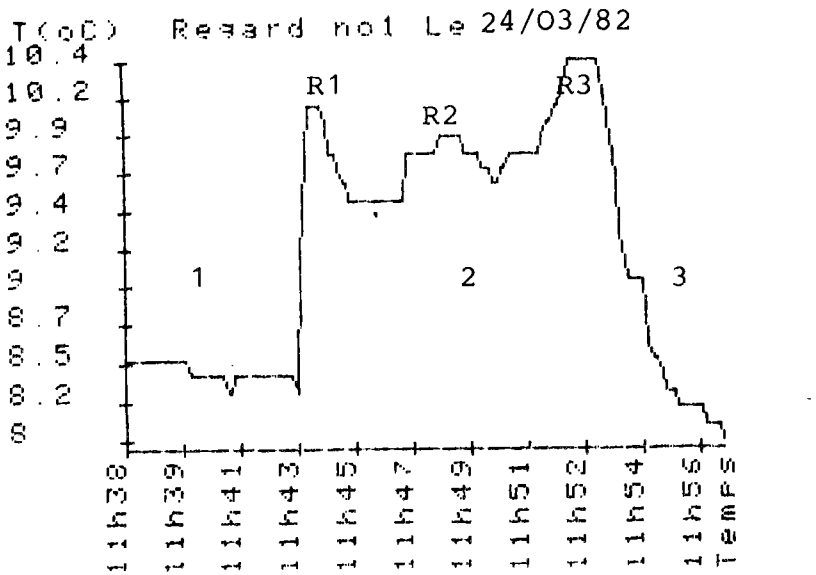


Fig.1 - Ville de Méru, Vve Mouffette

R1 - branchement
R2 à 25m de R1 : branchement (regard)
R3 - branchement boucherie,...(à 45m)

Ø200, sens mesure ✚ sens écoulement

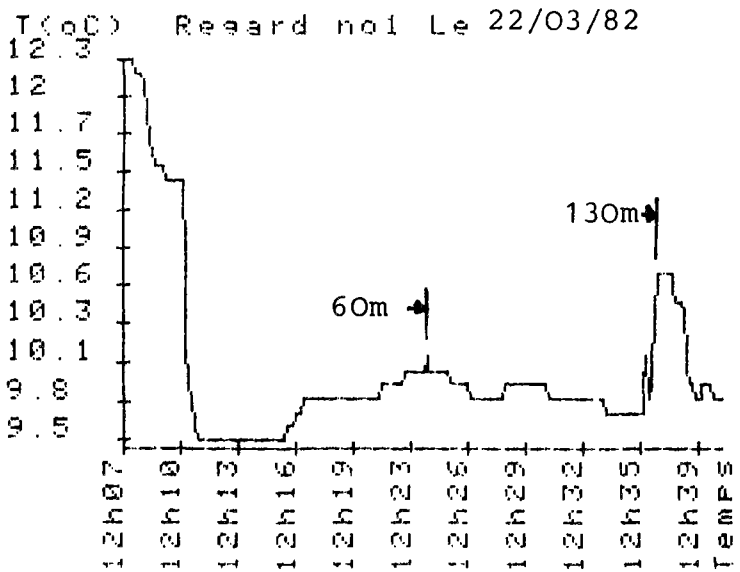


Fig.2 - Villers-St.Leu (60)

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

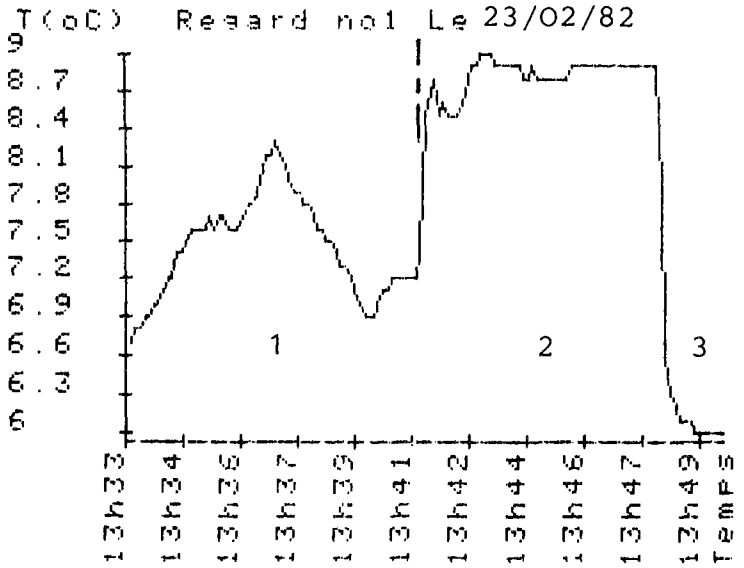


Fig.1 - Villers St.Paul, rue du Marais (60)
En charge, 40m inspecté R3-R5
Entrée d'eau froide (*ce de 3°C).
débordement rivière au niveau de R4
1 = air, 2 = eau, 3 = air

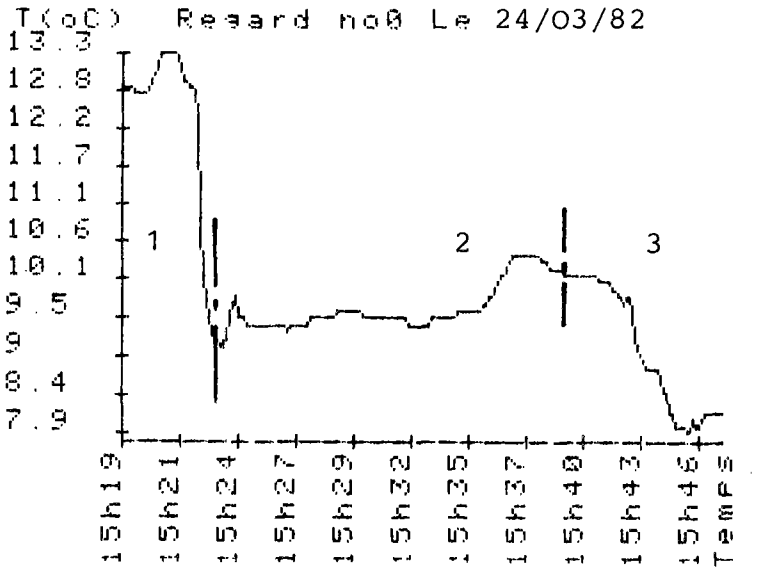
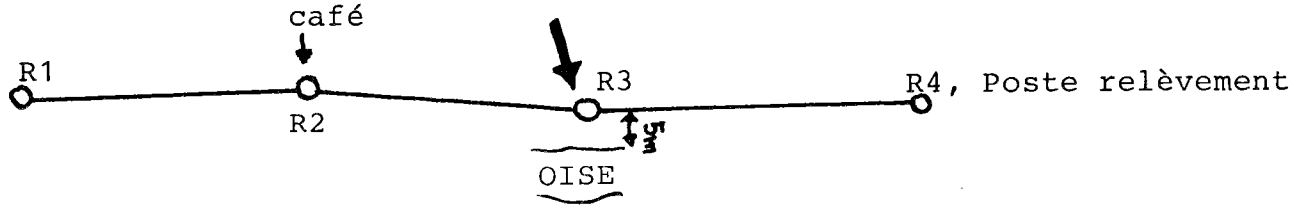


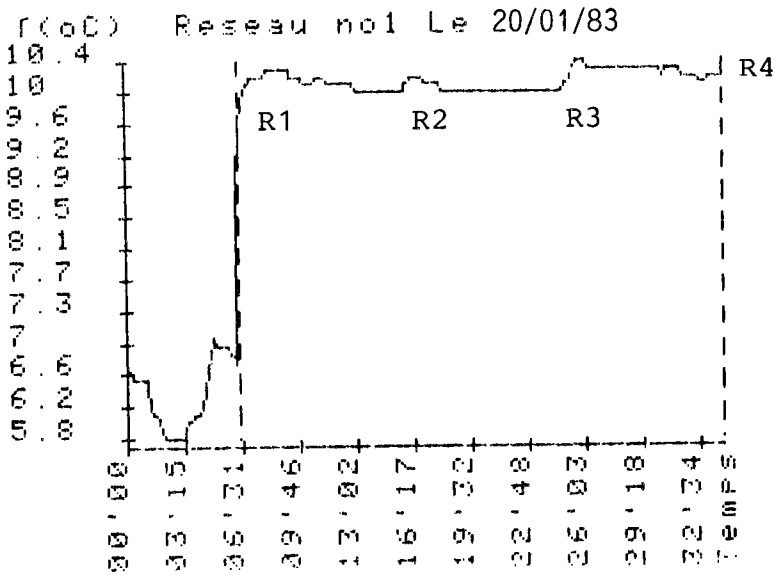
Fig.2 - Ville de Méru, rue Mimault (60)
Ø200, 100m inspecté.
1 = air, 2 = eau, 3 = air

Version 2 de la chaîne

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

ToC moyenne en oC= 10.1
Temps d'immertion en s= 1648





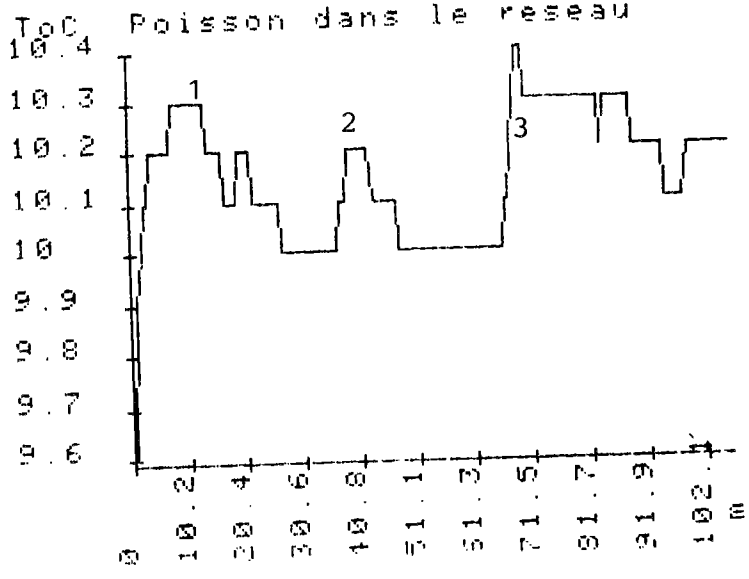
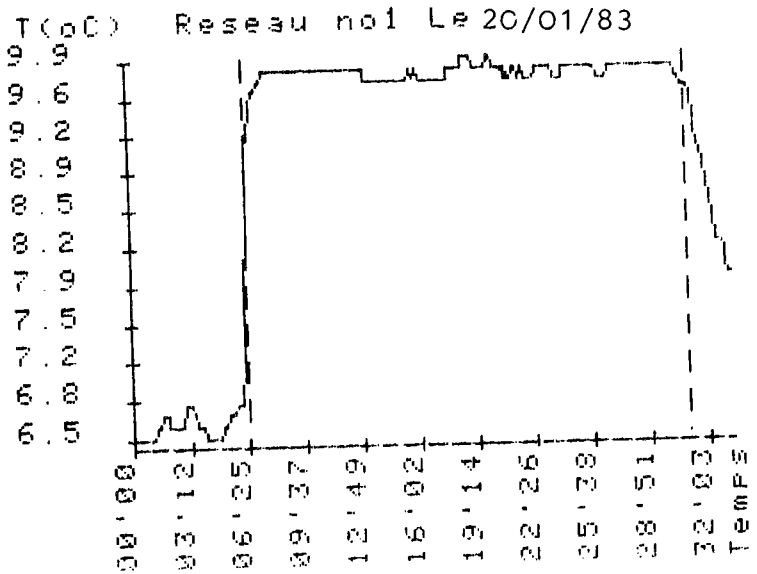


Fig.1 - St.Leu - D'ESSERENT, Poste de relèvement.
124m inspecté, situé à 5m de l'Oise.
R3 mentionné sur plan et non repéré.
Ø250, passage caméra impossible
réseau en mauvais état.

1 - rejet branchement R1
2 - rejet hôtel restaurant
3 - branchement 2è réseau

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

ToC moyenne en oC= 9.8
Temps d'immertion en s= 1472



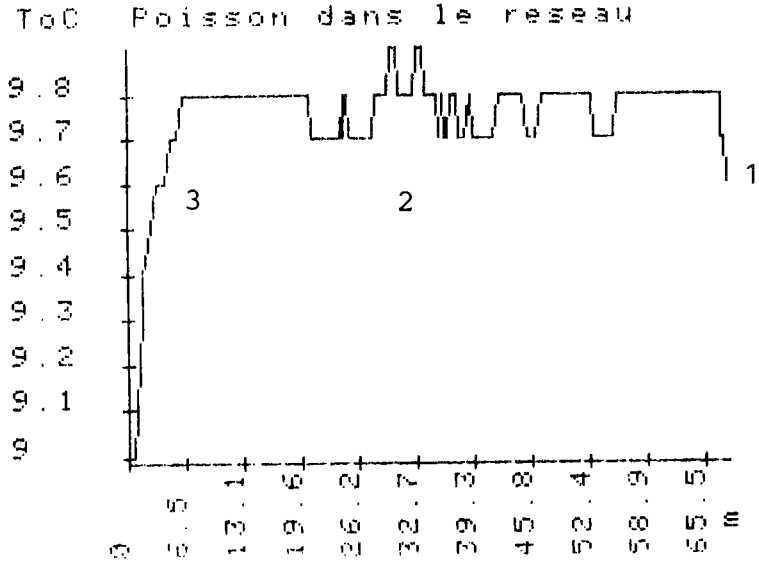


Fig.1 - Pont St.Maxence, Quai Mesnil.
réseau en charge (arrêt volontaire pompe) - à 8m de l'Oise -
sens mesure = sens écoulement

2 - branchement au niveau R2

Auscultation de réseaux (version 1)

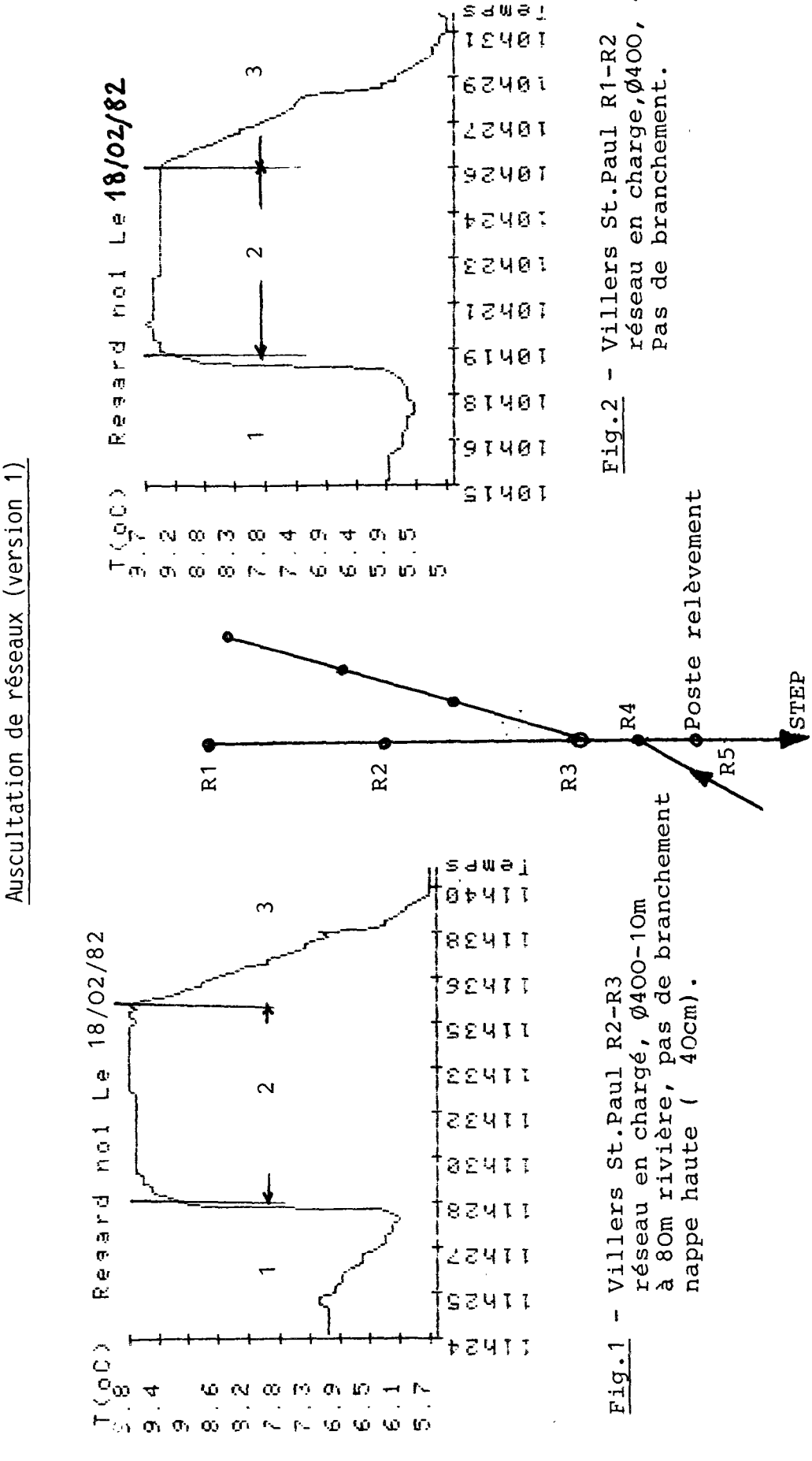
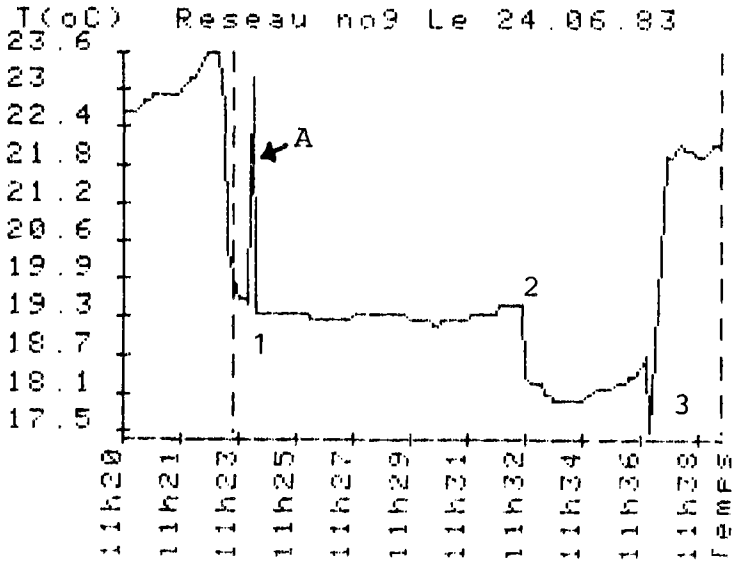
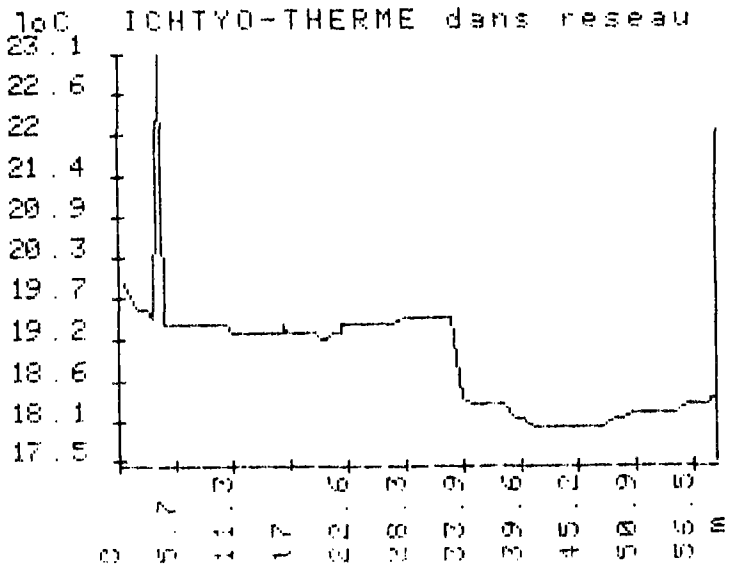


Fig.1 - Villers St.Paul R2-R3
réseau en chargé, Ø400-10m
à 80m rivière, pas de branchement
nappe haute (40cm).

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)





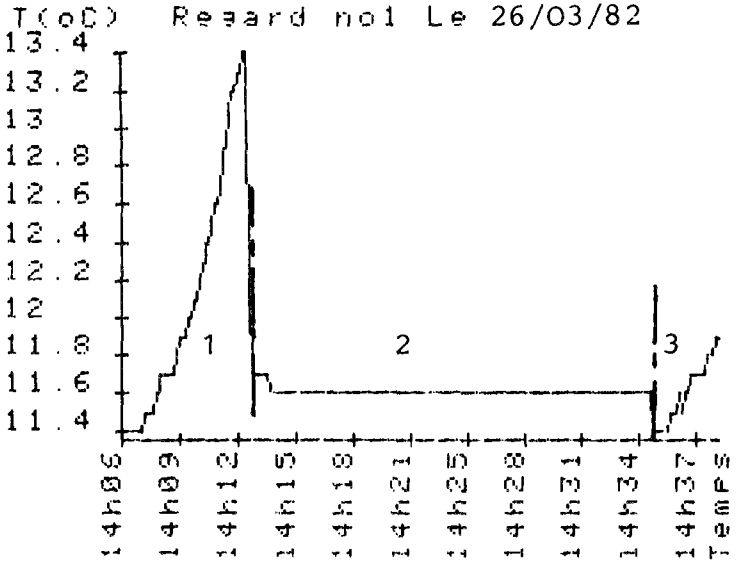


Fig.1 - Réseau à LIANCOURT (60)
Ø400, h = 200, longueur inspectée = 120m
Pas de branchement, t°c stable = 11,6°C
à 5m de la rivière

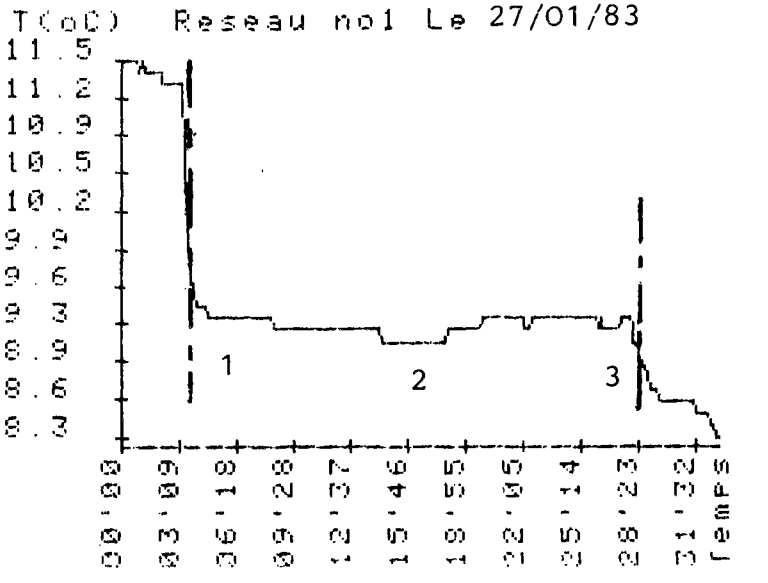


Fig.2 - 88m de réseau inspecté. Ec.à surface libre
Fismes (51), avenue de la gare.
Pas de branchement.

Auscultation Réseau à Fismes (51)

Avenue de la Gare

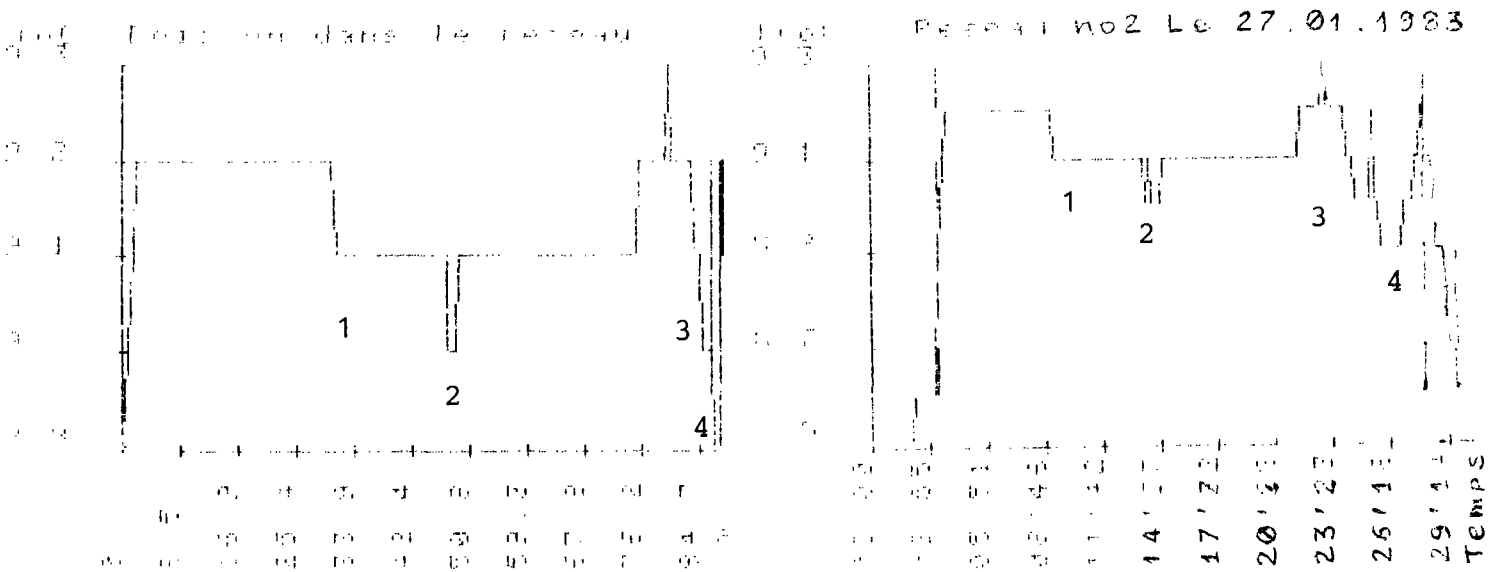
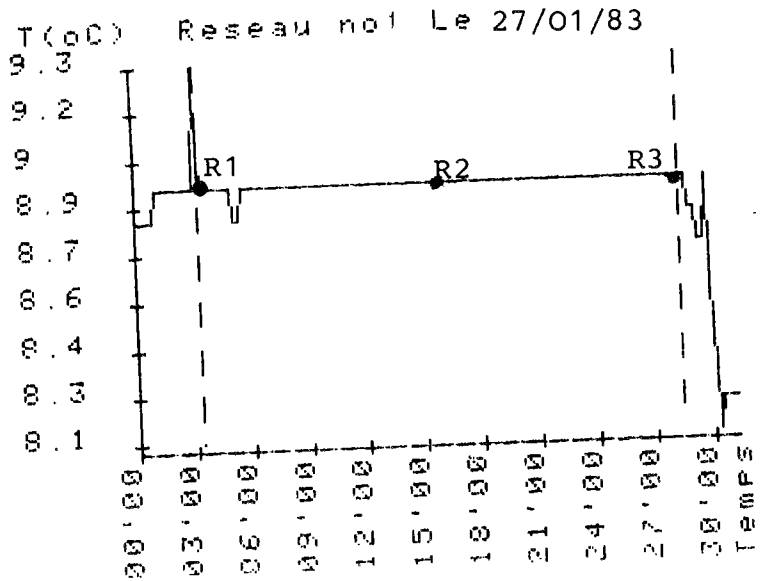


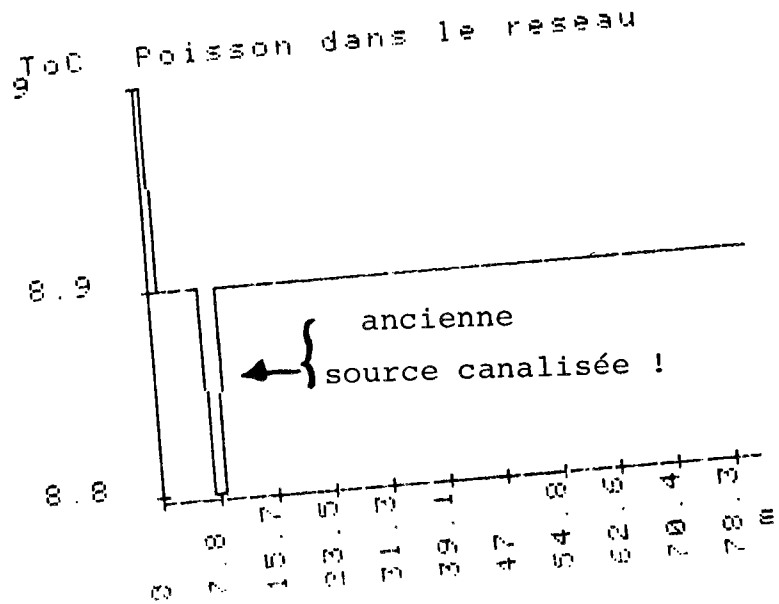
Fig.1 - 88m de réseau inspecté, écoulement à surface libre

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

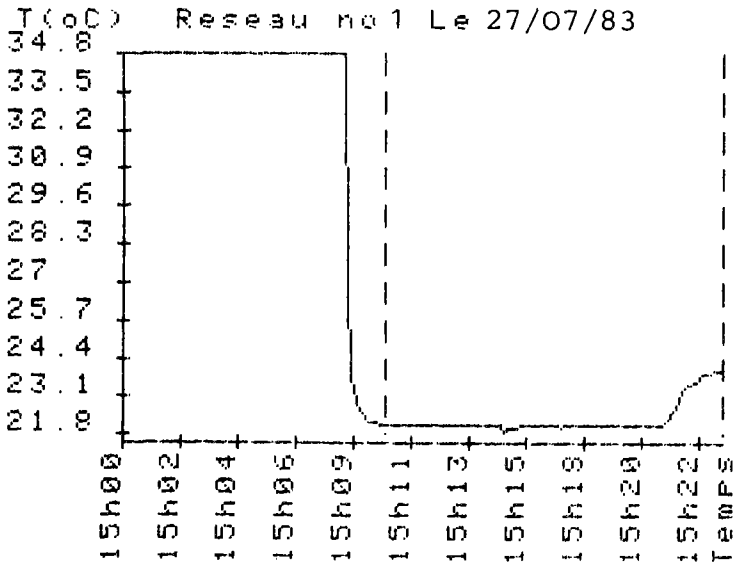


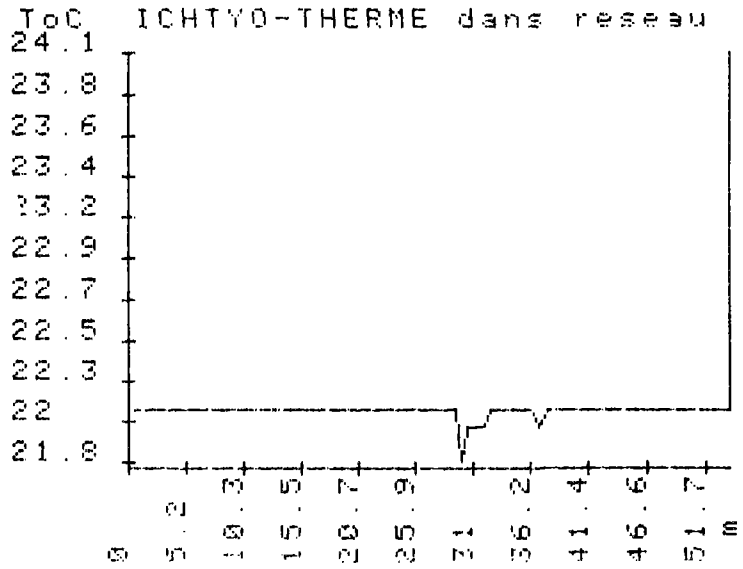


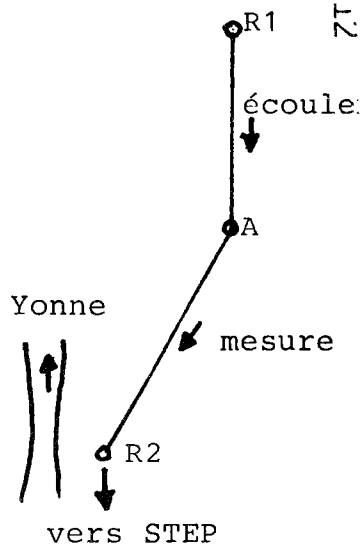
Rue a JOIGNY le 27.7.83
sens Mesure = sens Ecoulement
Reseau No 1
inspecte a la sonde de ToC (dite ICHTYO-THERME) le 27.7.83
Temps ensoleillé

RESEAU INPECTE LE a 15h00

Longueur inspectee: 53.8 m
ToC moyenne du reseau en oC= 23.6
Temps d'immersion de l'ICHTYO-THERME en secondes = 800
Vitesse moyenne en m /mn= 4.04







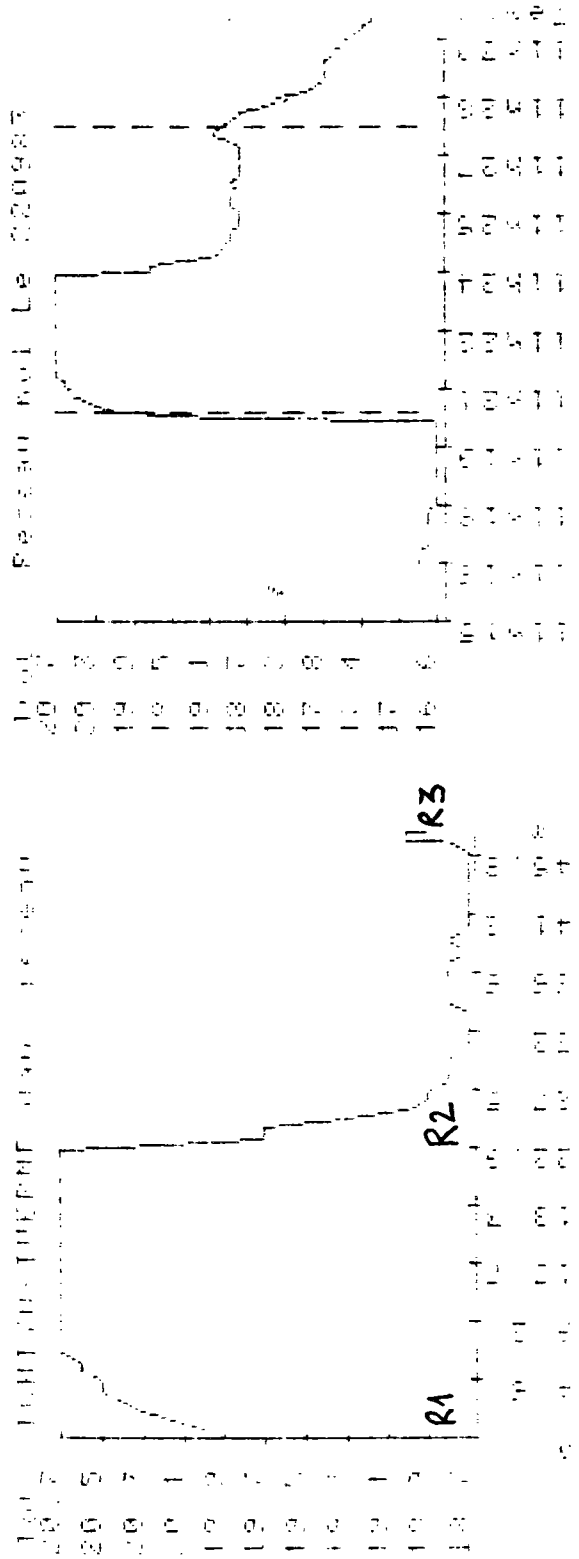
Réseau à 15m de l'Yonne, écoulement à surface libre. Ø500, h = 300.
Infiltrations au niveau d'un regard intermédiaire (A)
Stabilité à 22.1°C, température air ambiant > 35°C (capteur sous soleil).

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

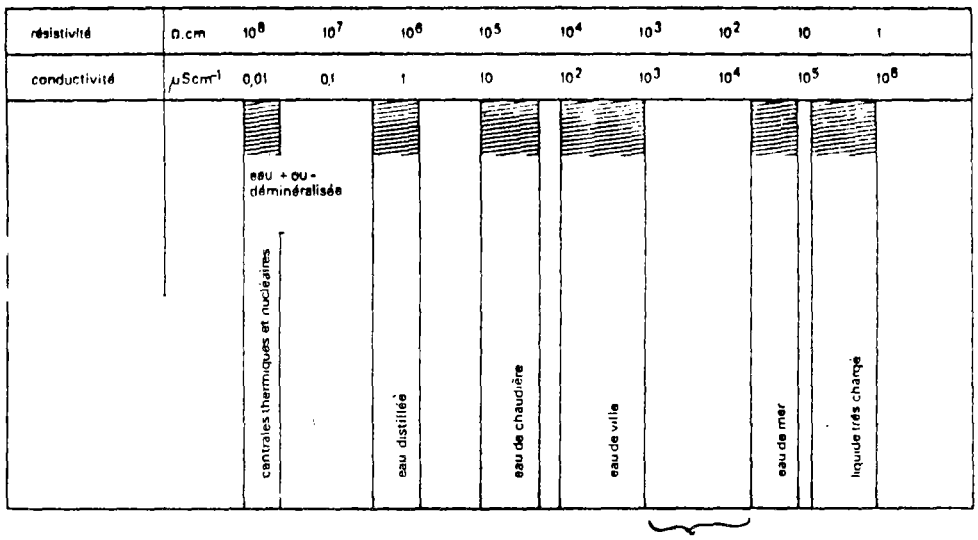


Tableau 1 - Gamme de conductivités pour différentes eaux.

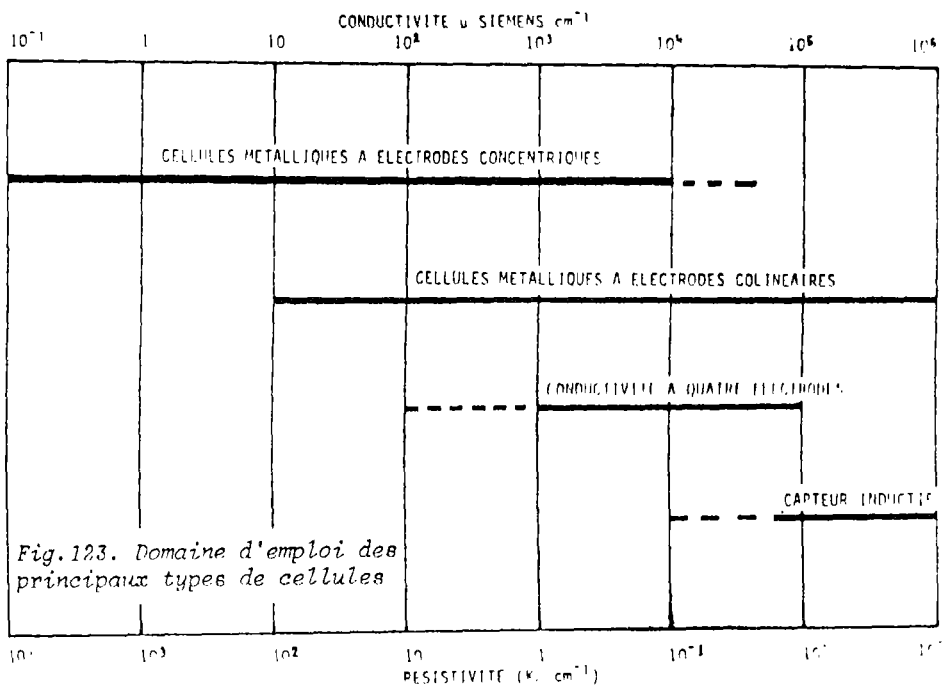


Fig. 123. Domaine d'emploi des principaux types de cellules

Tableau 2 - Capteurs correspondants à différentes gammes de conductivité.

Tirés de (7)

Correspondances entre Conductivité, Concentrations salines et Résistivité des eaux

(sources: Kohlrausch , Thomas, Unesco)

Conductivité µS/cm (microsiemens =micro mhos)			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-résistivité µ S/cm		Signification qualitative
à 15°c	à 20°c	à 25° c								
92520	102070	111800	N		74557			100000	10	Sursalinité (Lacs salés , Chott, solutions industrielles...)
43298	53900	59321				39744	40	50000	20	Diverses eaux marines et lagunaires
42396	47882	53039				35000	35	20000	50	Teneur marine moyenne : 35 g/l
25722	28749	31879				19872	20	10000	100	
14758	16512	18324				10839	11	5000	200	Eaux saumâtres
10480	11670	12880	N/10		7456			2500	400	
7778	8702	9658				5419	5			
2763	3091	3431				1806	2	2000	500	Eaux douces très minéralisées impropres
2243	2501	2765	N/50		1491			1000	1000	aux usages domestiques et agricoles
1146	1277	1403	N/100		746			500	2000	Eaux douces de minéralisation moyenne
939	1074	1209		N/100		584,5	0,6	200	5000	Eaux douces peu minéralisées
120	132	146,5	N/1000		74,6			100	10000	
						250	0,25			Teneur max. tolérée dans les eaux potables
								50	20000	
98,5	112	125,4		N/1000		58,5	0,06			Eaux très pures

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
20	102 070	11 670	2 501	1 278
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

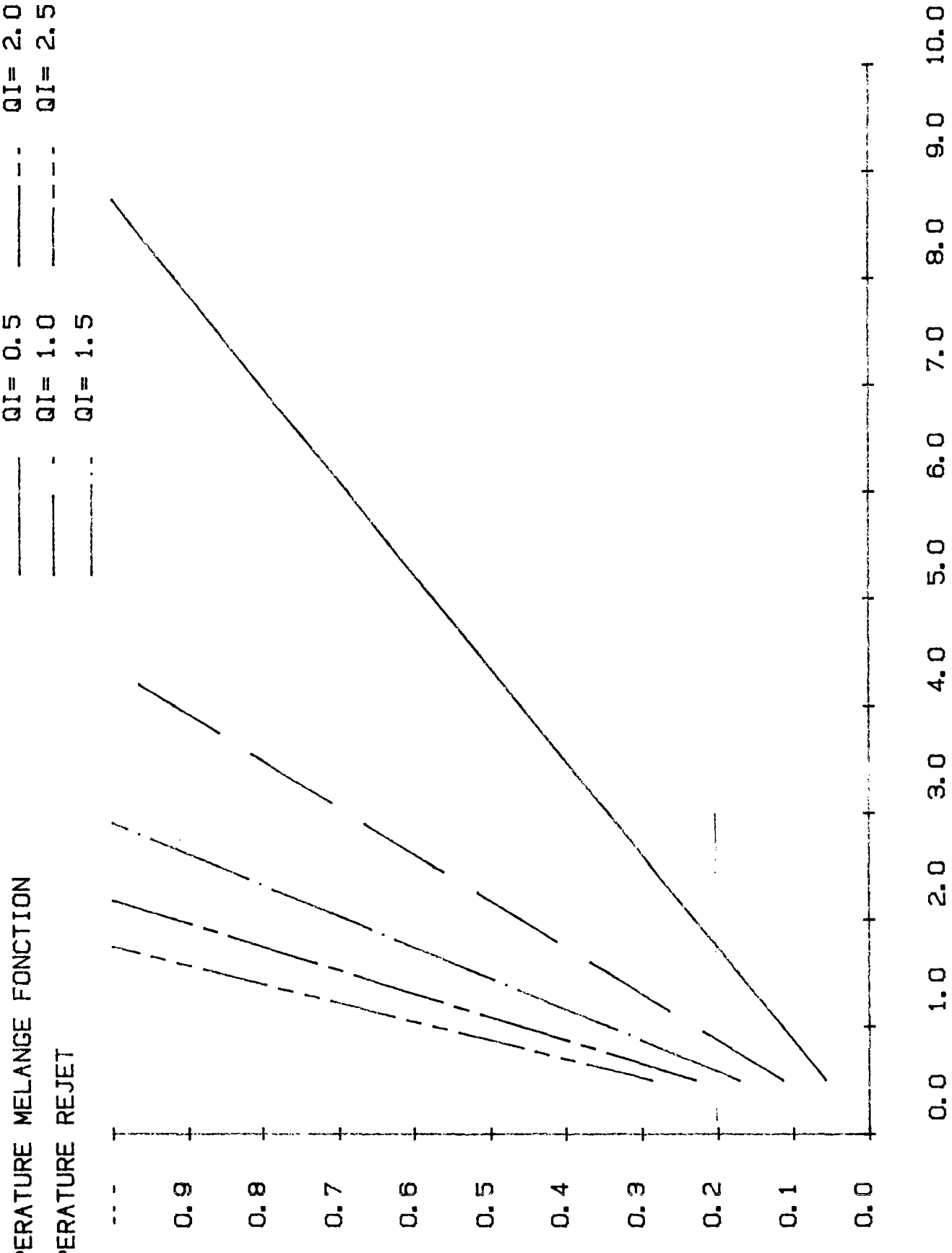


Figure 1 : r = 2 cm, x = 20 cm

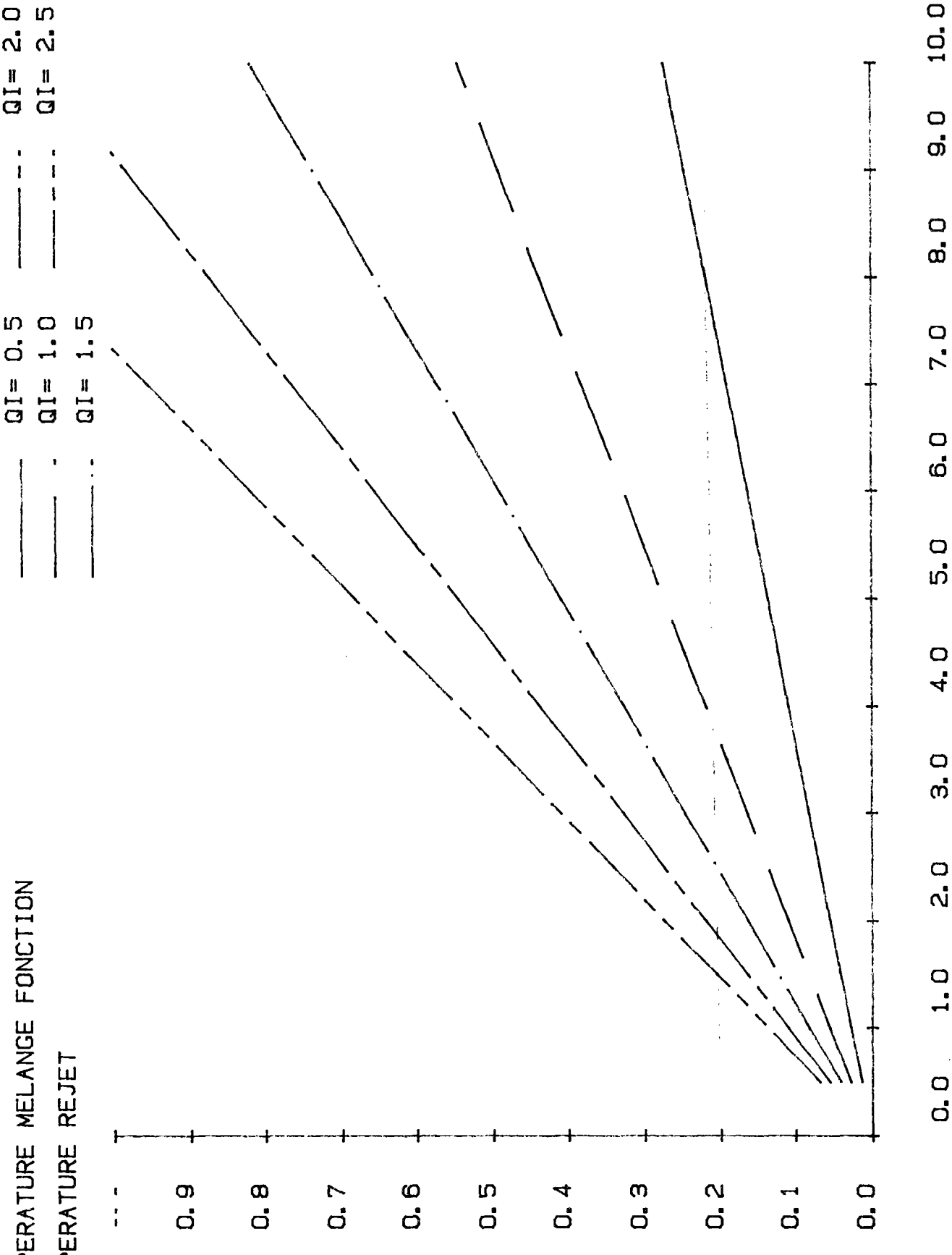


Figure 2 : r = 2 cm, x = 1 m

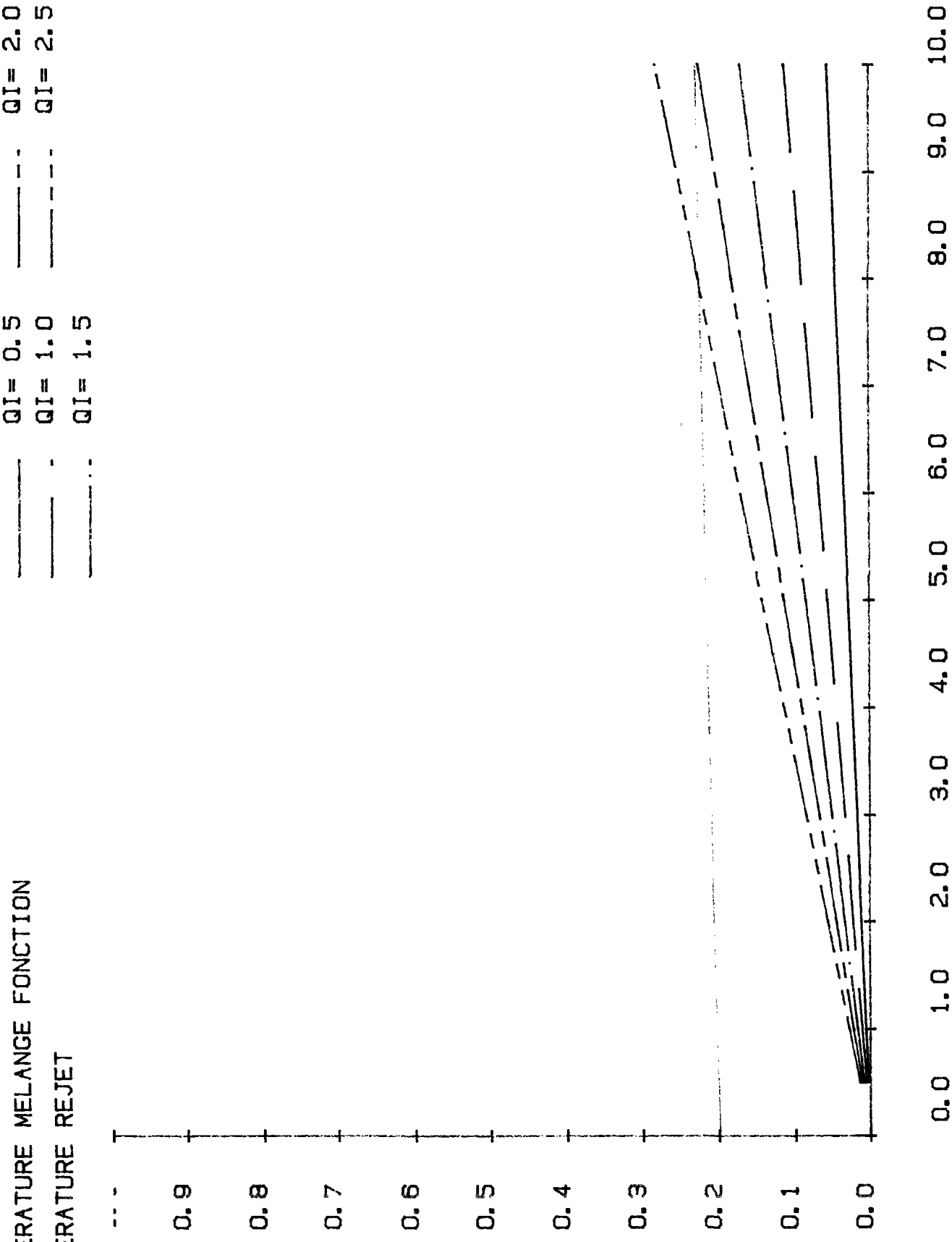


Figure 3 : r = 2 cm, x = 5 m

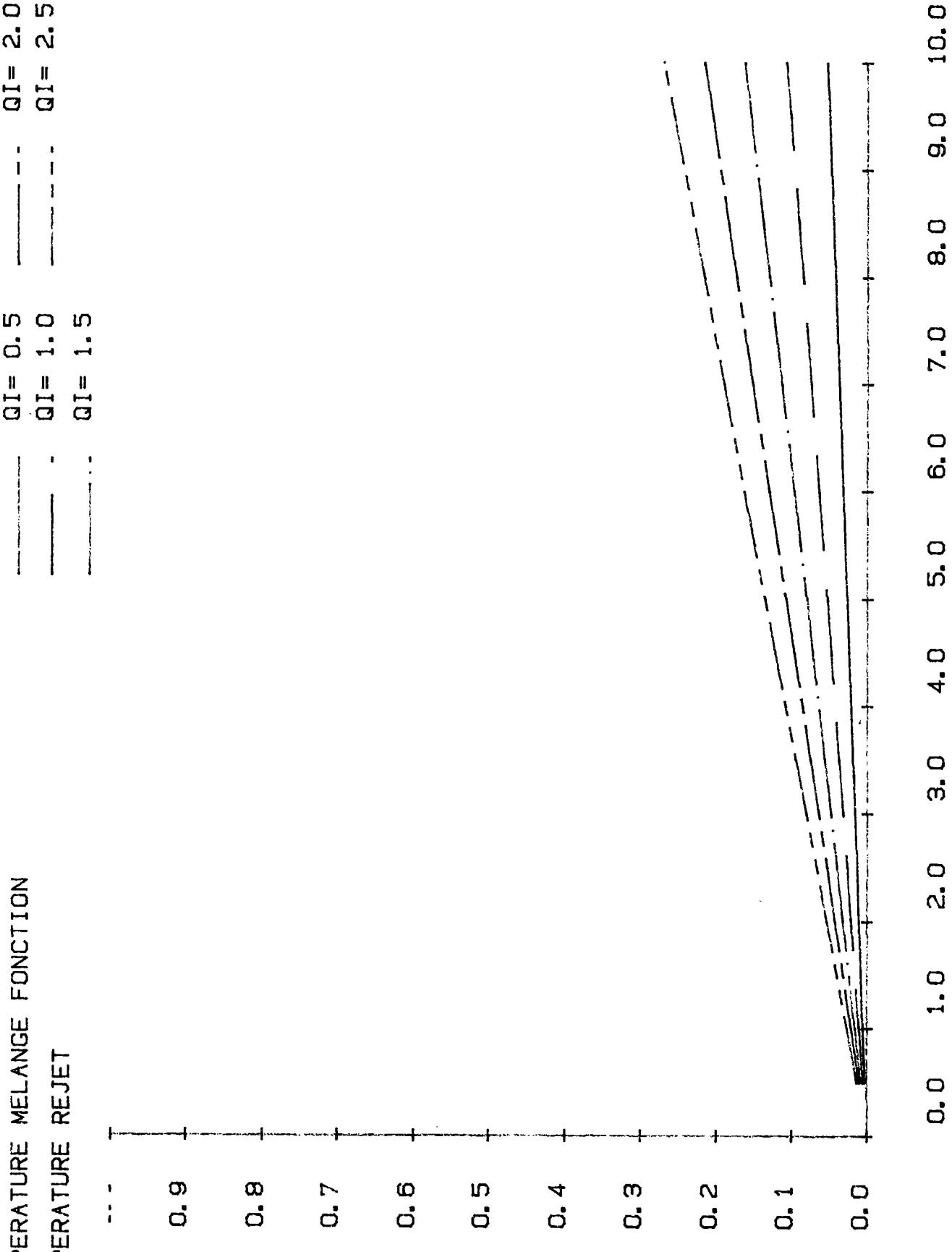


Figure 4 : r = 5 cm, X = 5 m

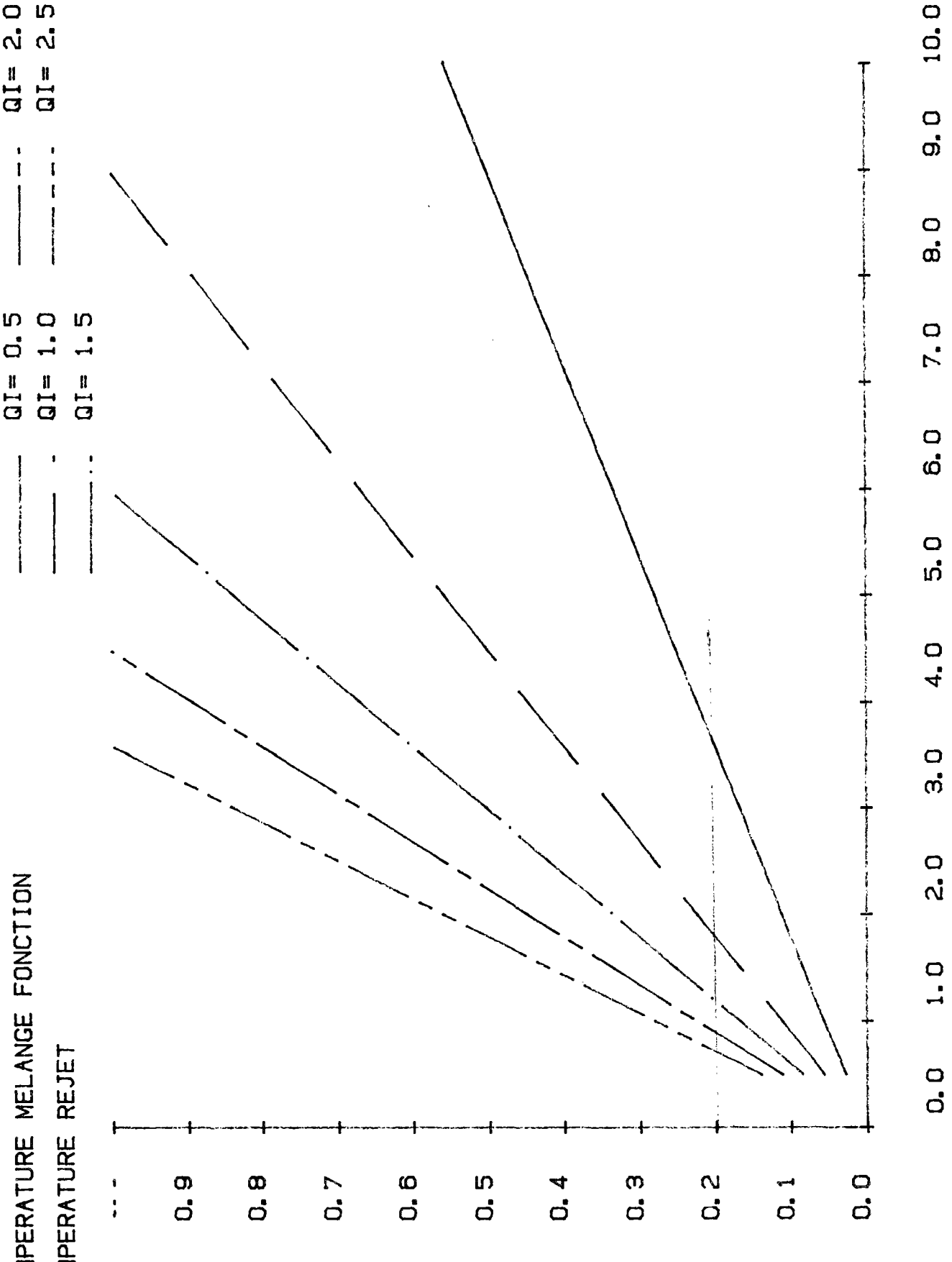


Figure 5 : r = 3 cm, x = 40 cm

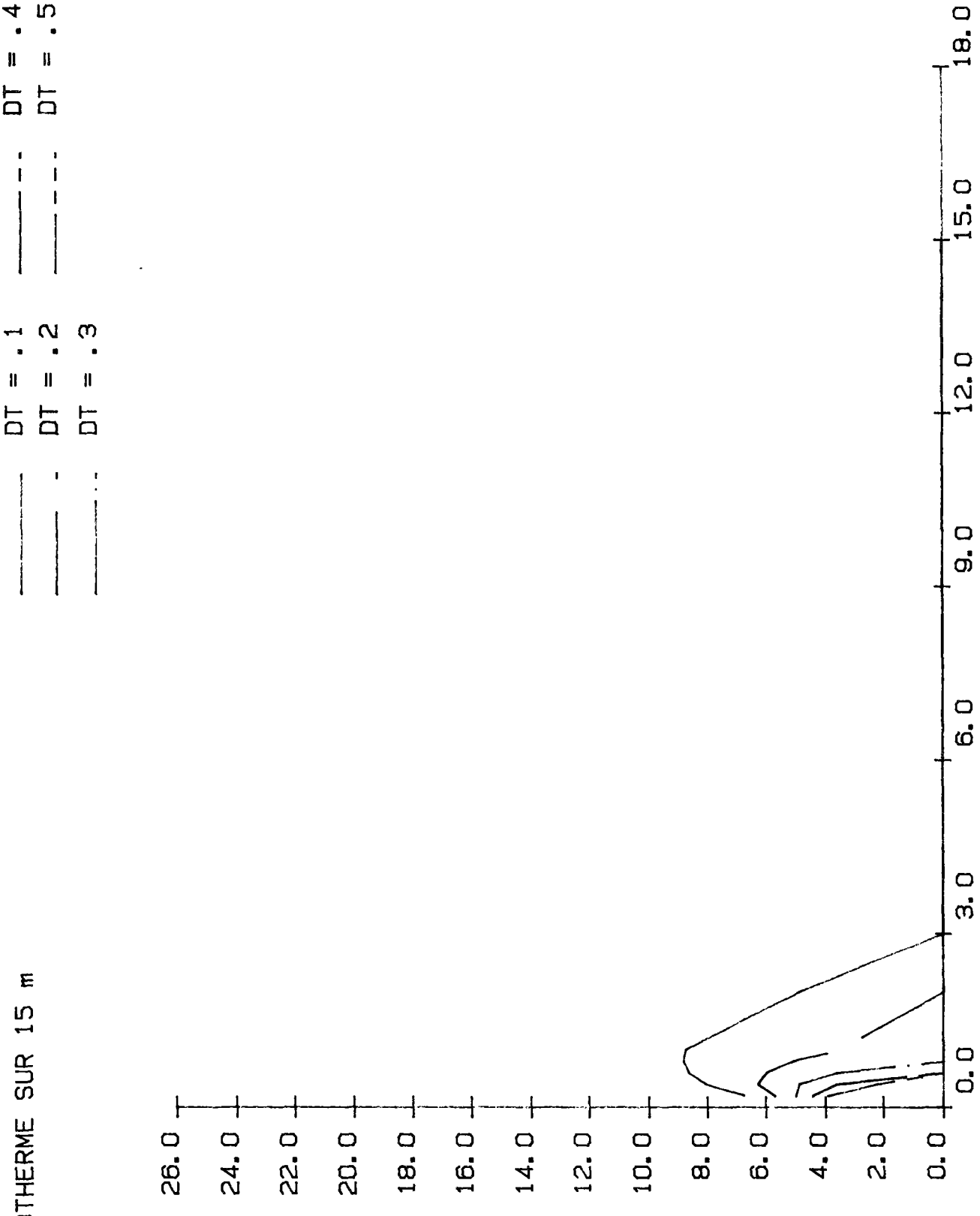


Figure 1 : QI = 41/s, DTI = 1°C

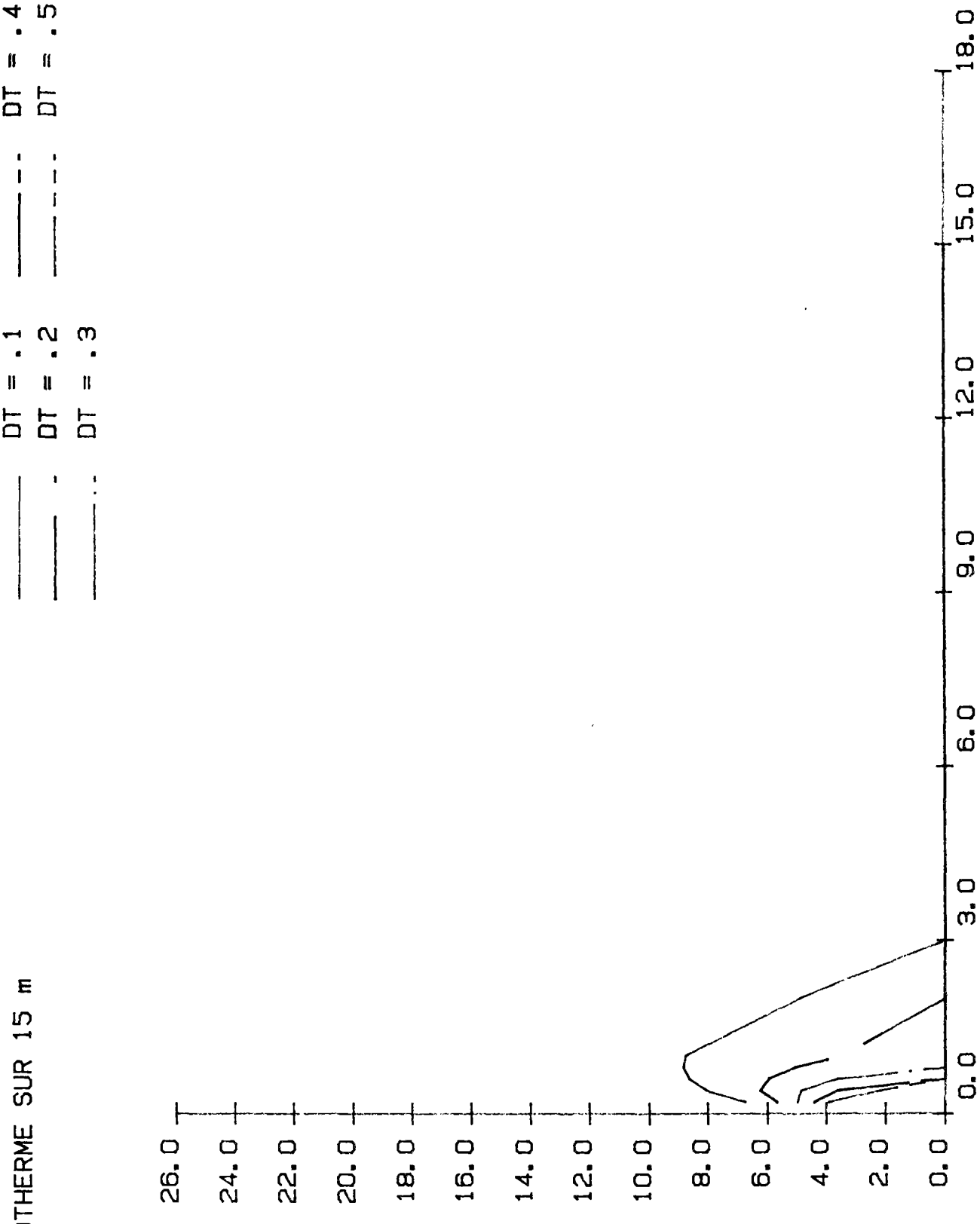


Figure 2 : QI = 11/s, DTI = 4°C

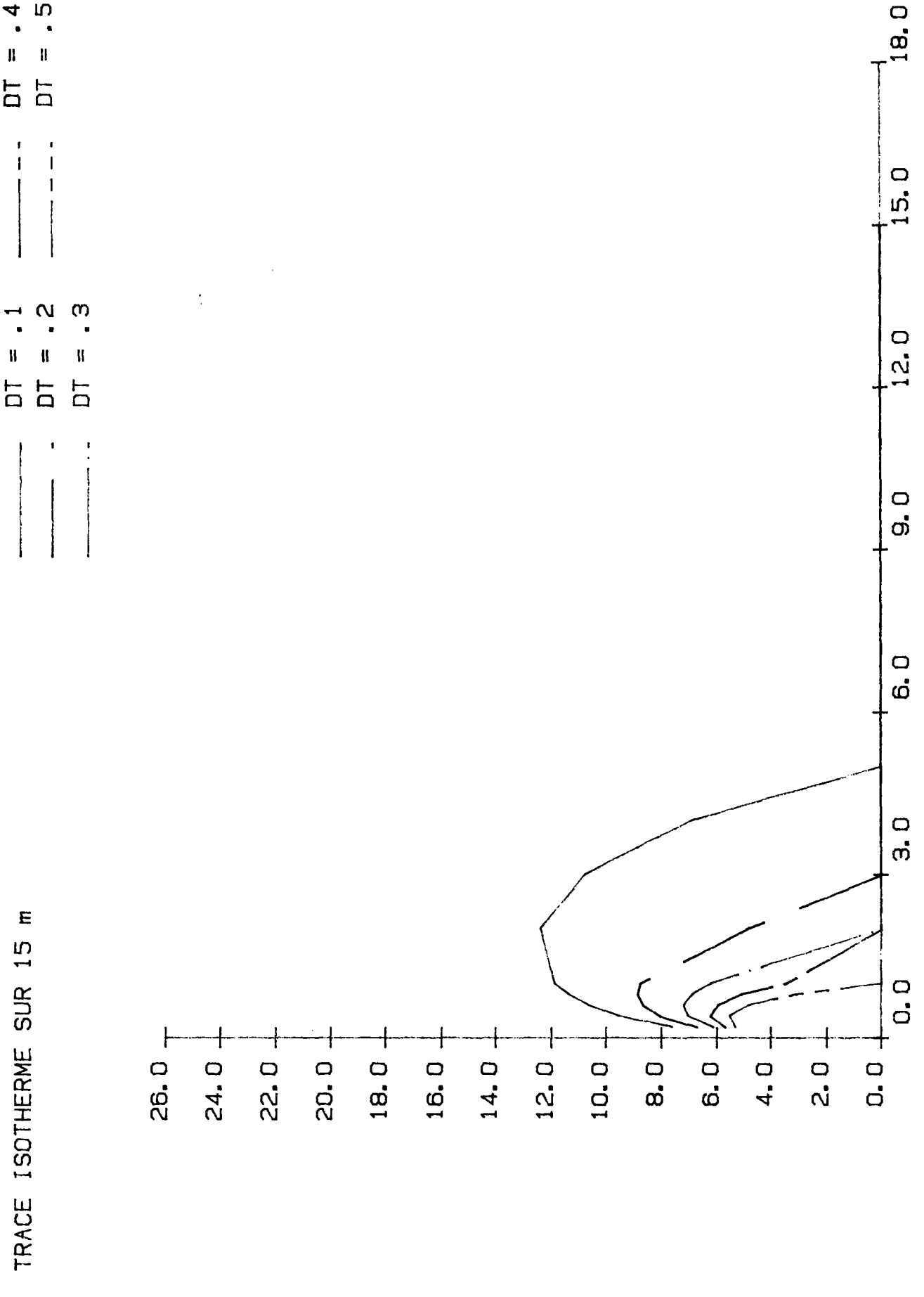


Figure 3 : QI = 21/s, DTI = 4°C

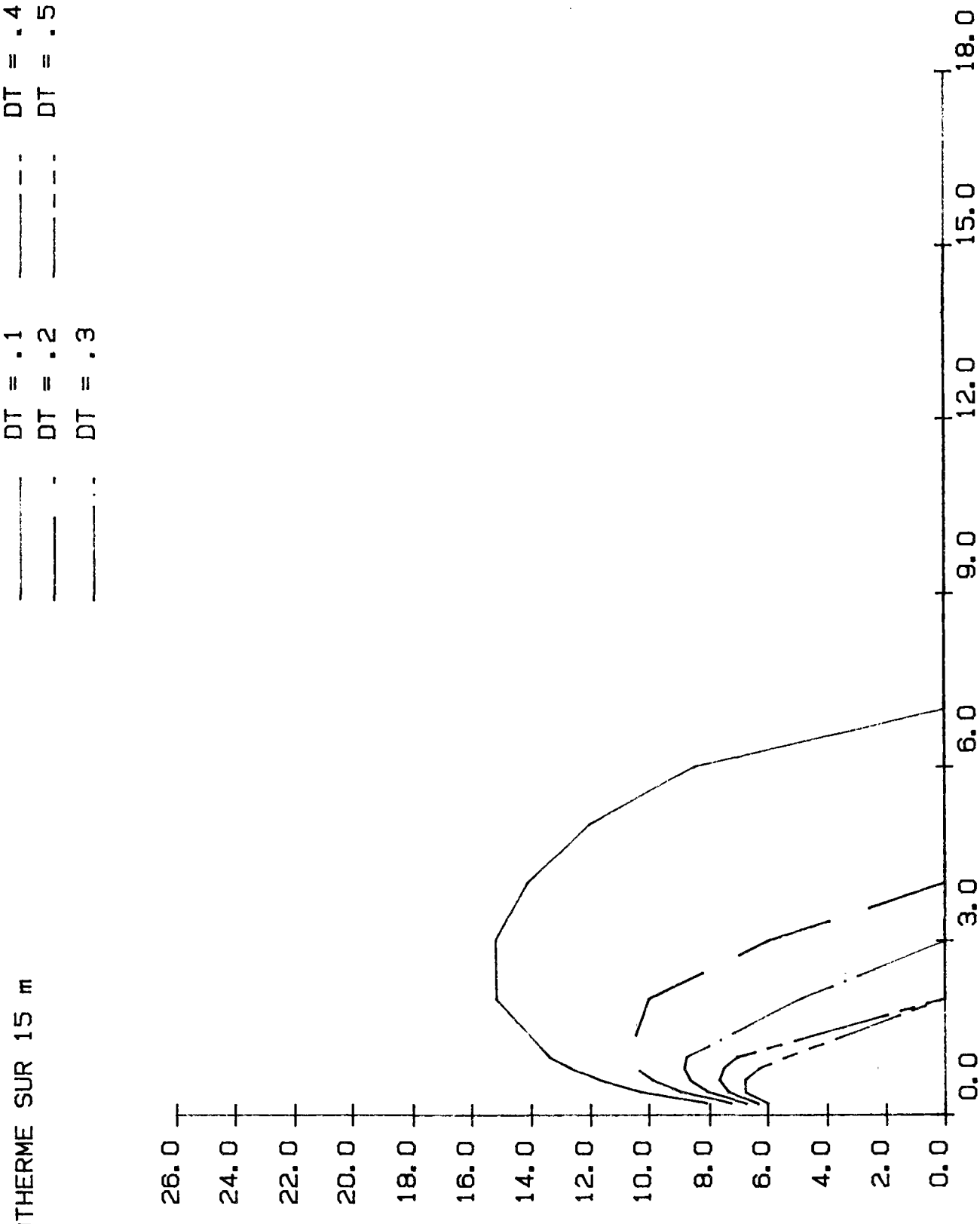


Figure 4 : QI = 31/s, DTI = 4°C

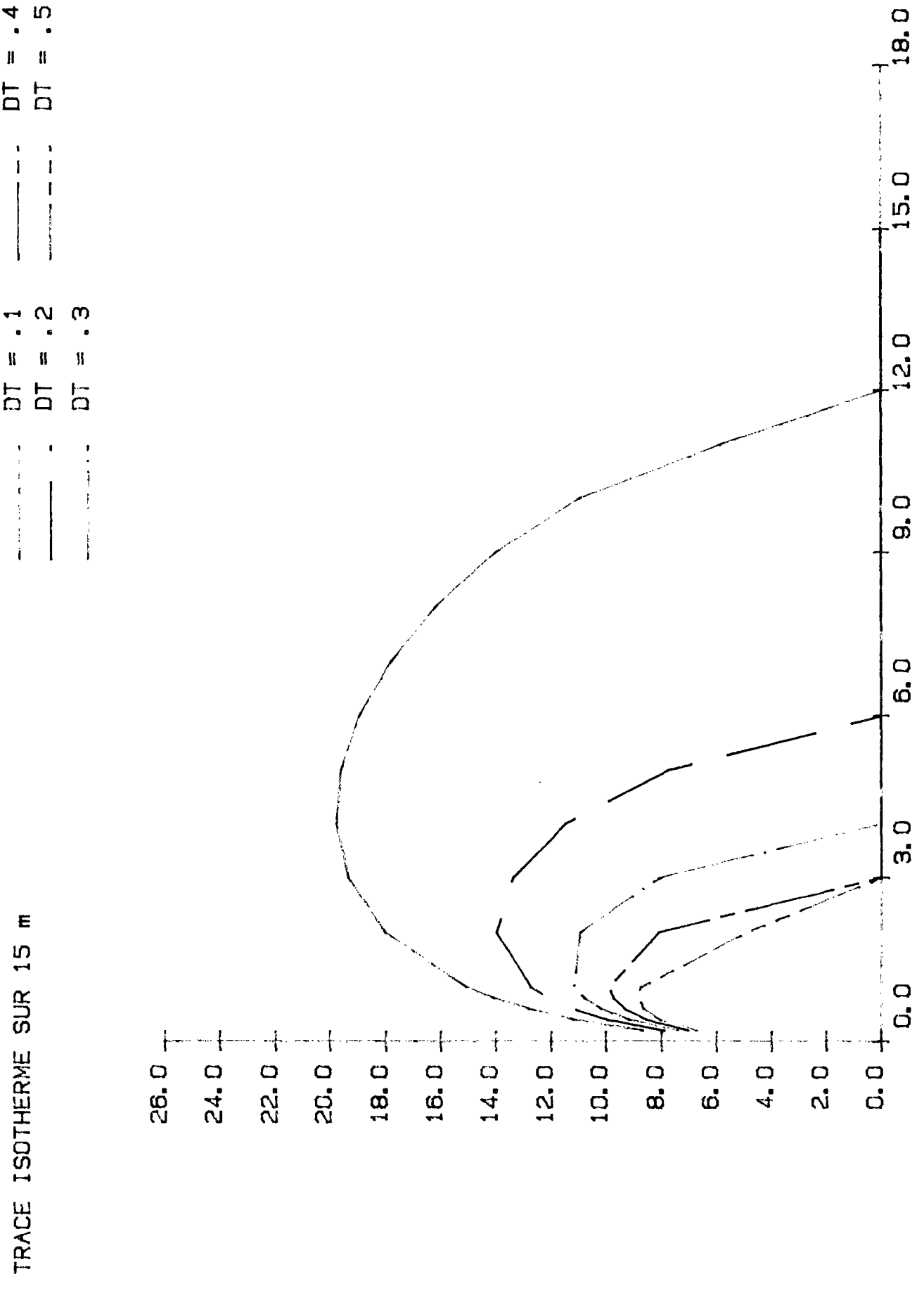


Figure 5 : QI = 41/s, DTI = 5°C

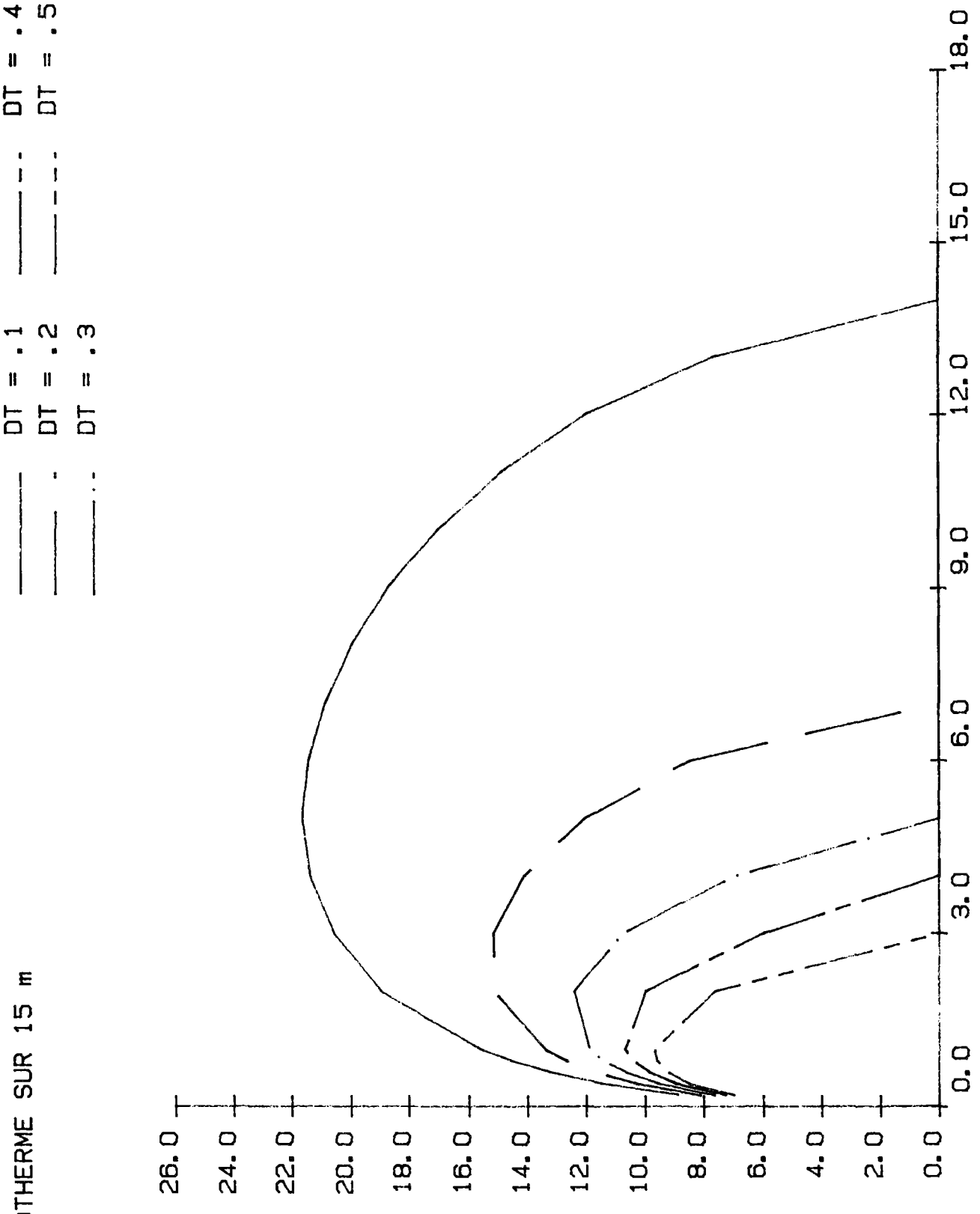


Figure 6 : QI = 3l/s, DTI = 8°C

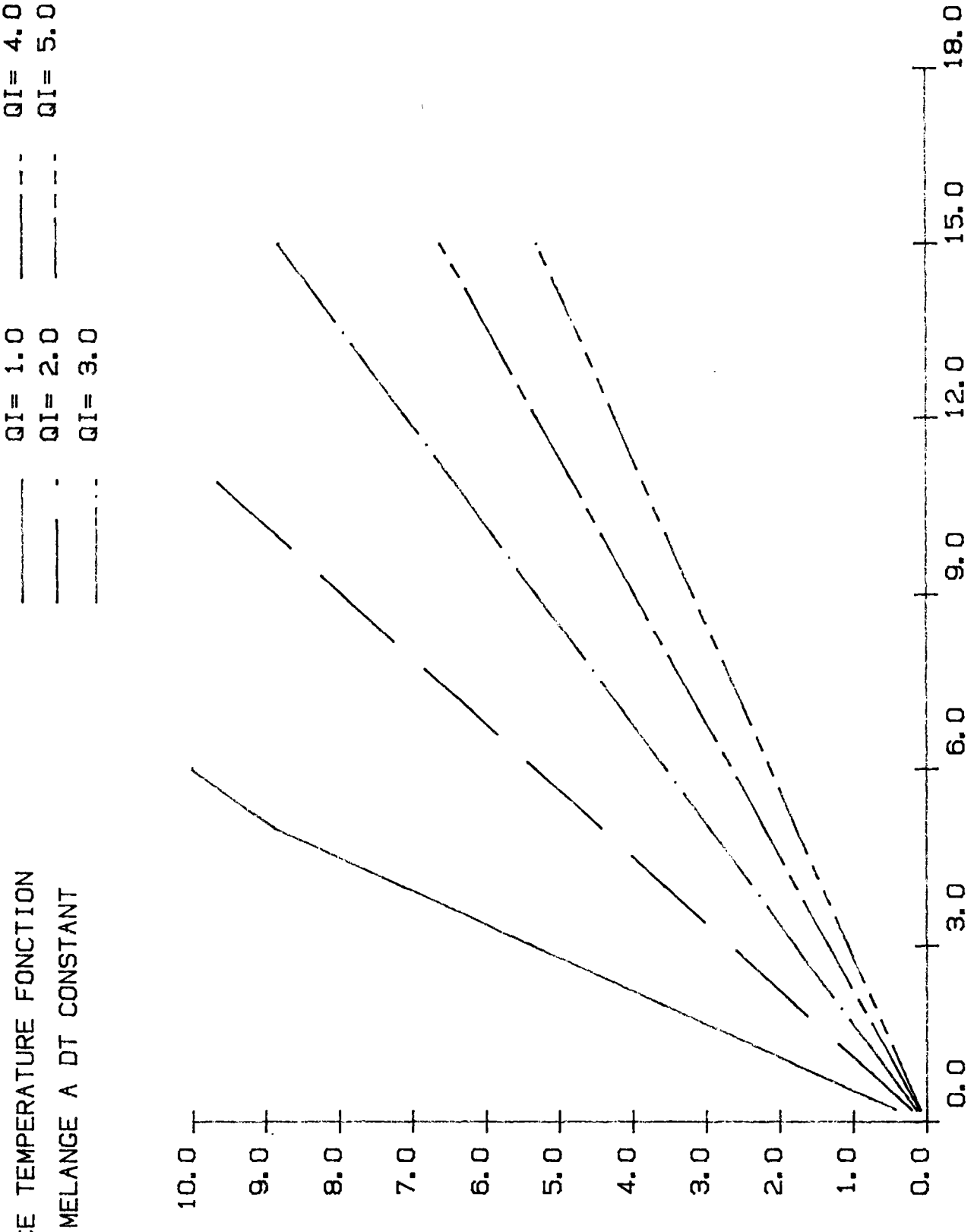


Figure 1 : r = 2 cm, DT = 0,1°C

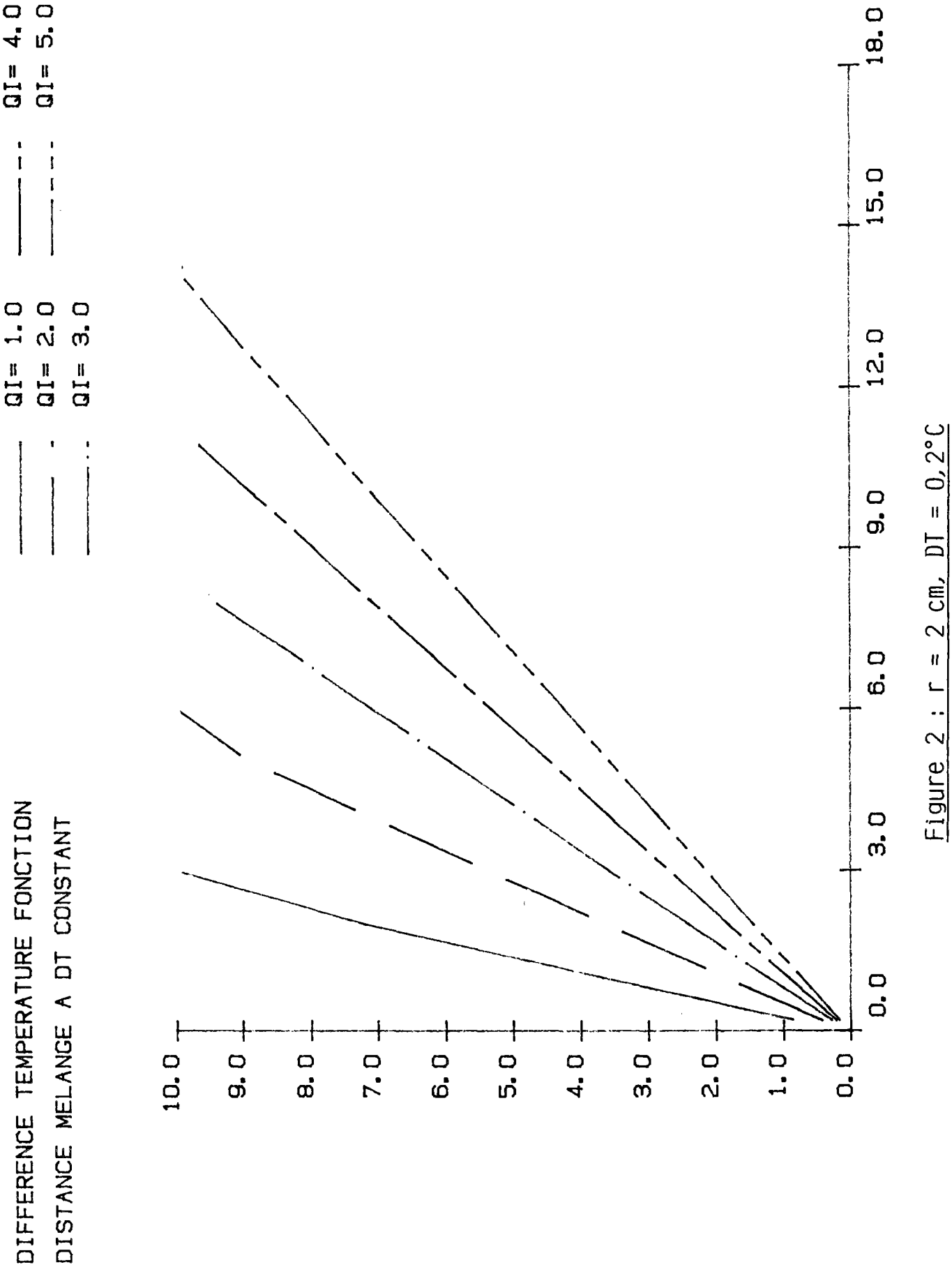


Figure 2 : r = 2 cm, DT = 0,2°C

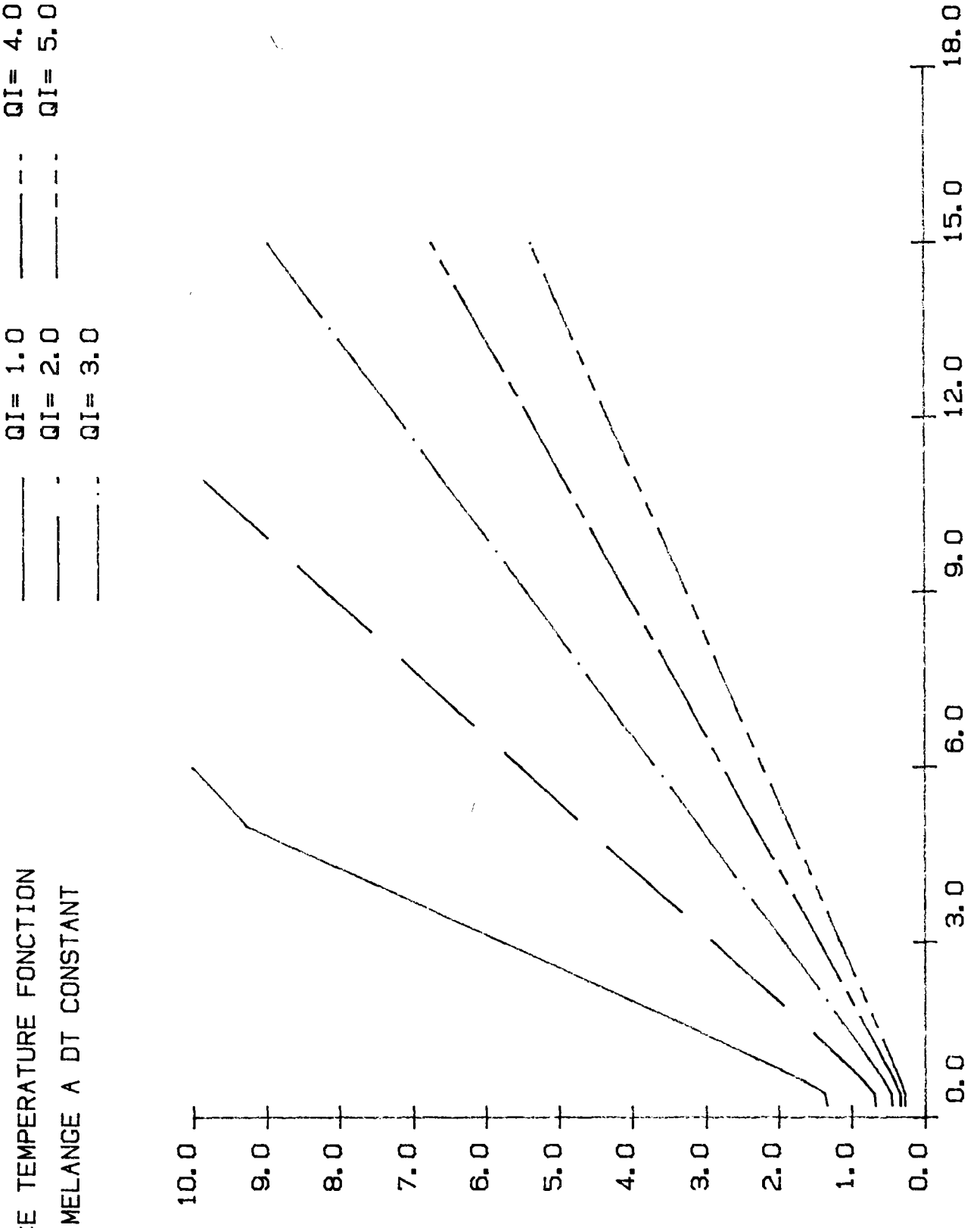


Figure 3 : r = 5 cm, DT = 0,1°C

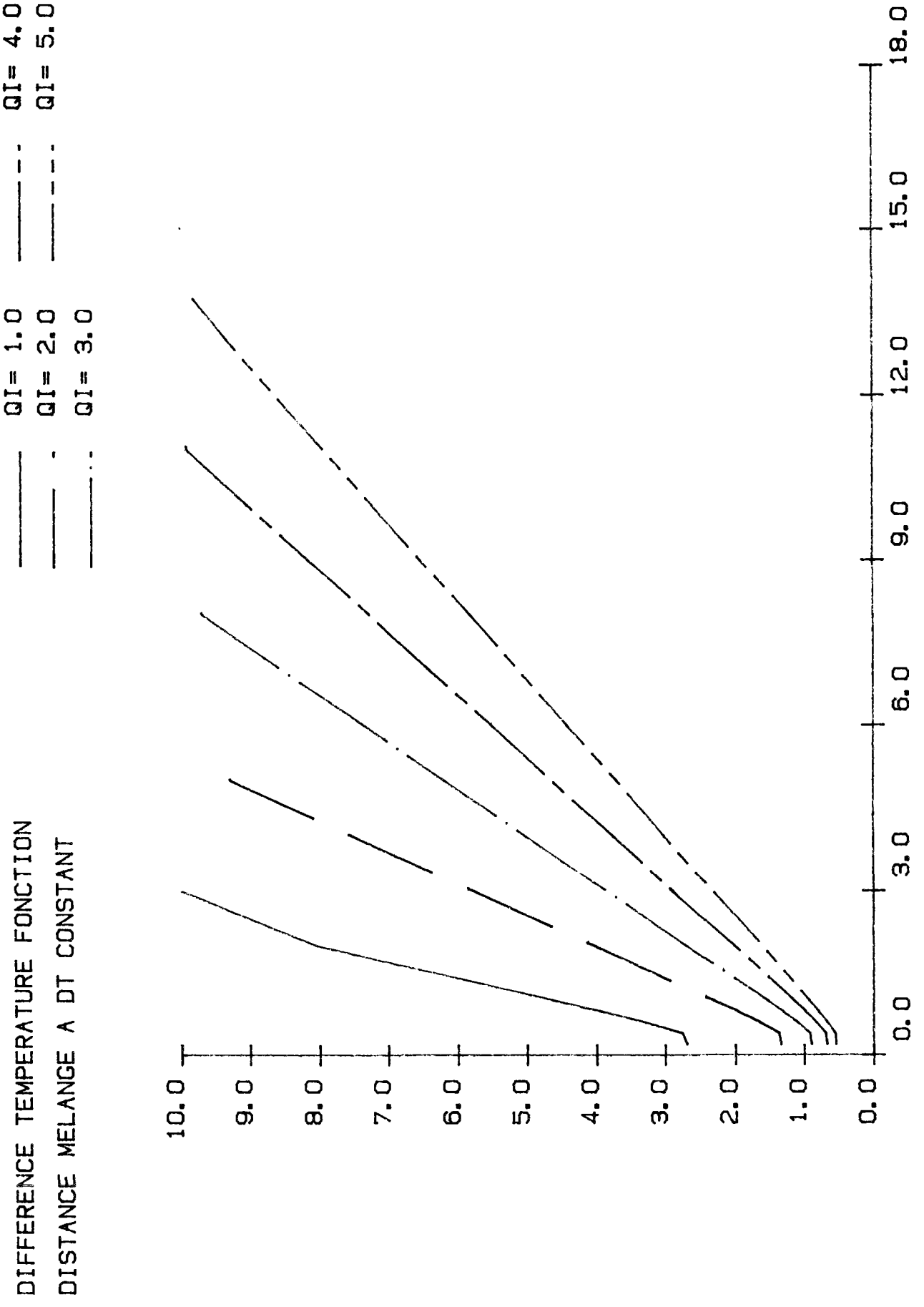


Figure 4 : r = 5 cm, DT = 0,2°C

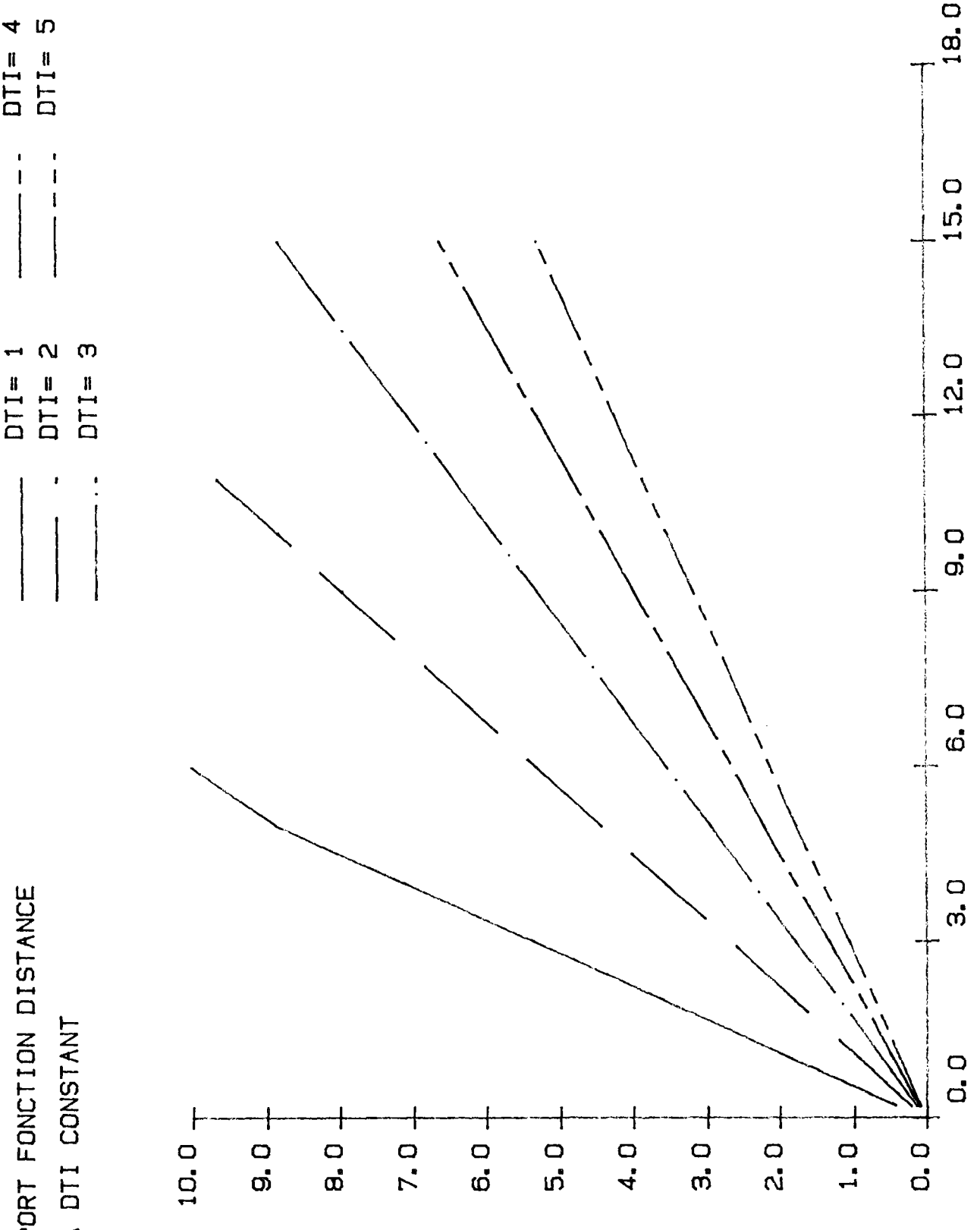


Figure 1 ; r = 2 cm, DT = 0,1°C

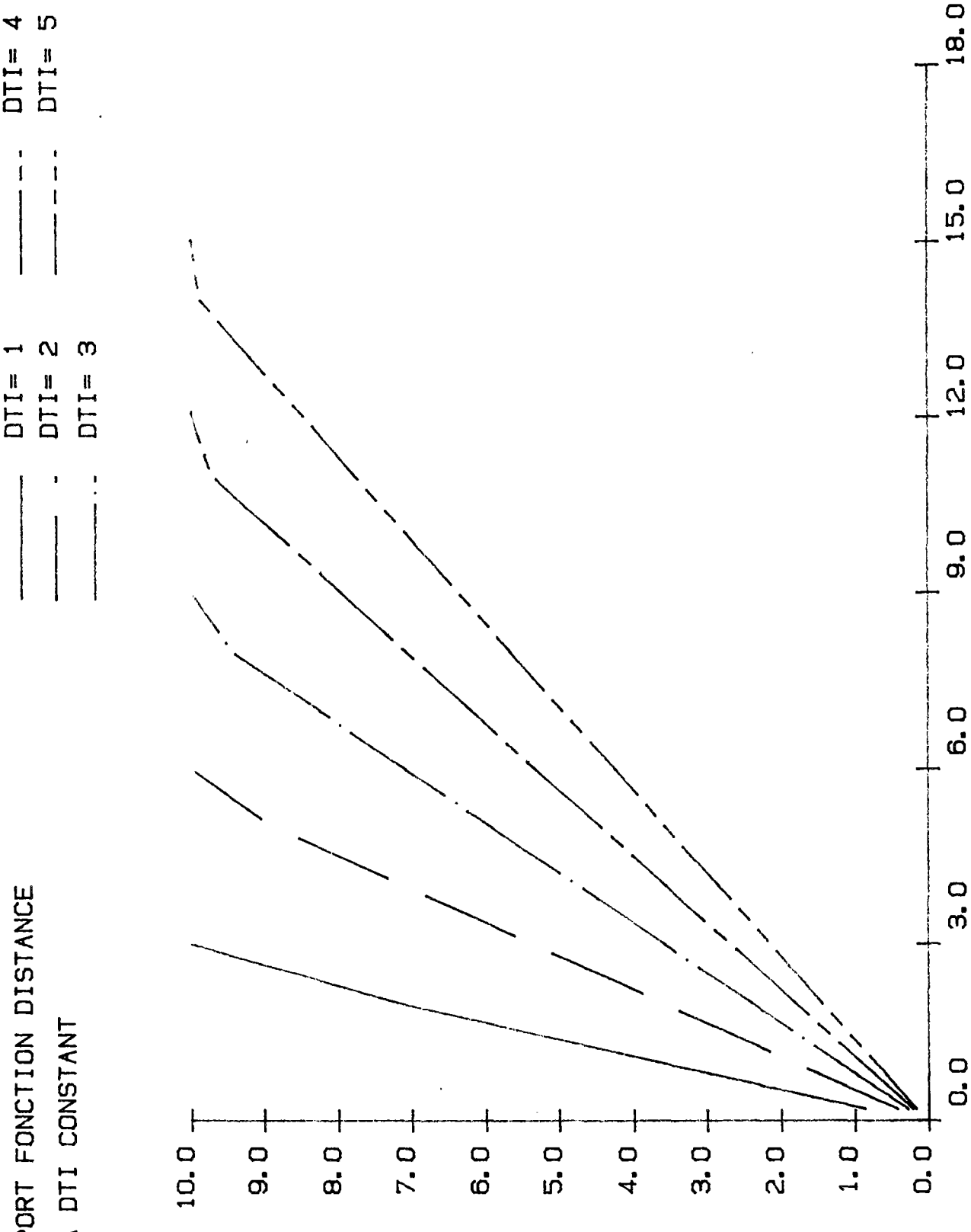


Figure 2 : r = 2 cm, DT = 0,2°C

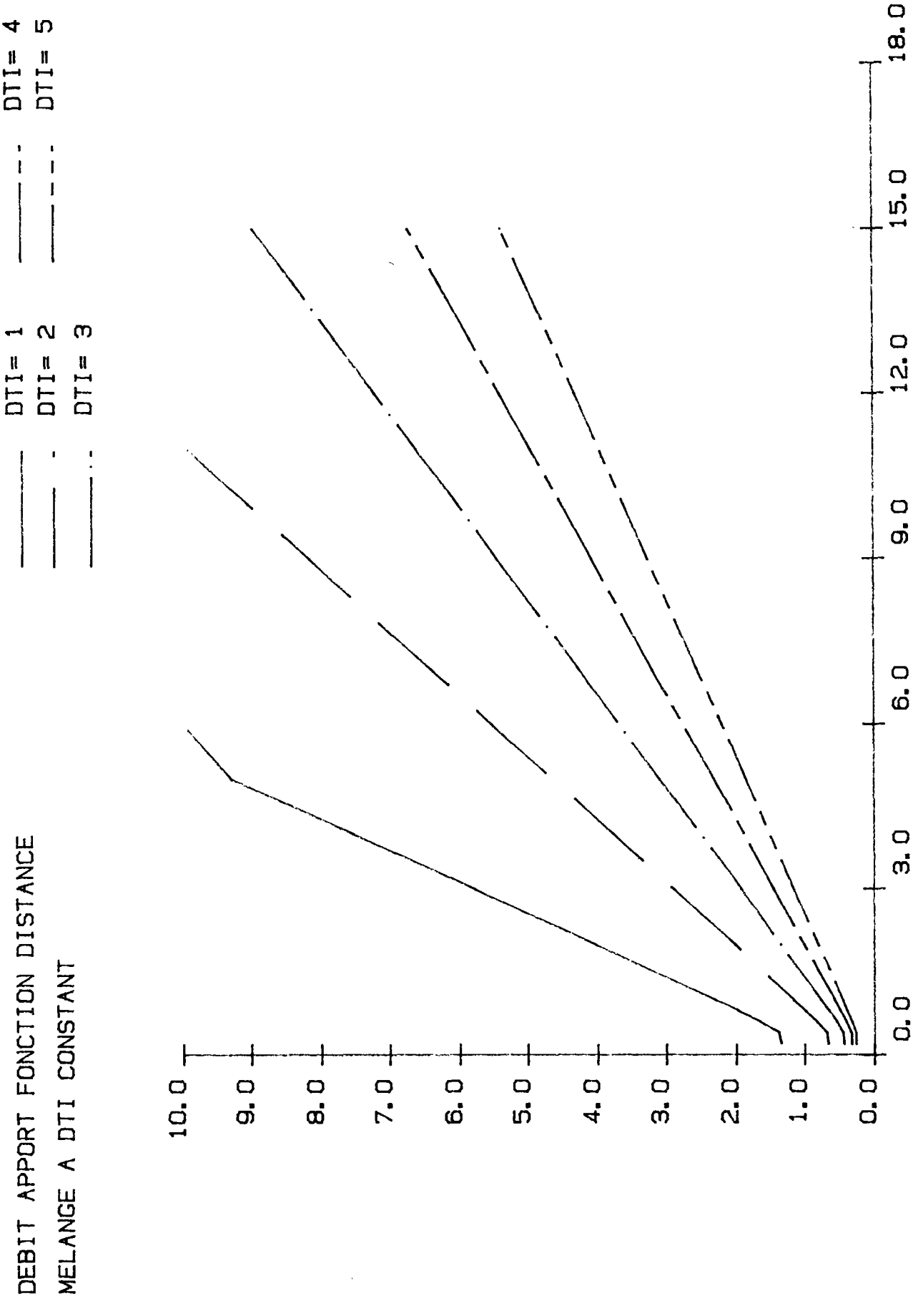


Figure 3 : r = 5 cm, DT = 0,1°C

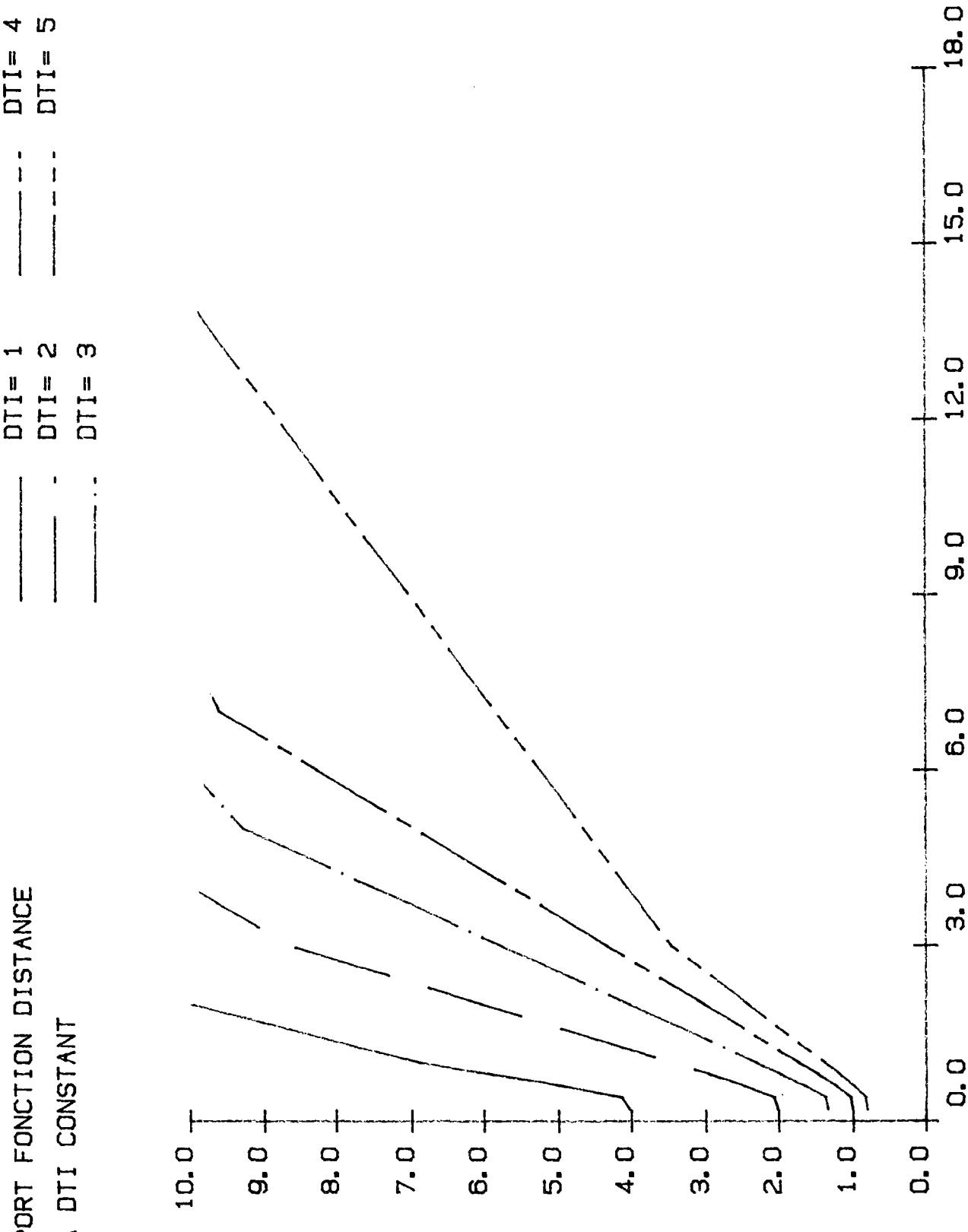


Figure 4 : r = 5 cm, DT = 0,2°C

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

Utilisation DE L'ICTYOTHERME A POSTE FIXE

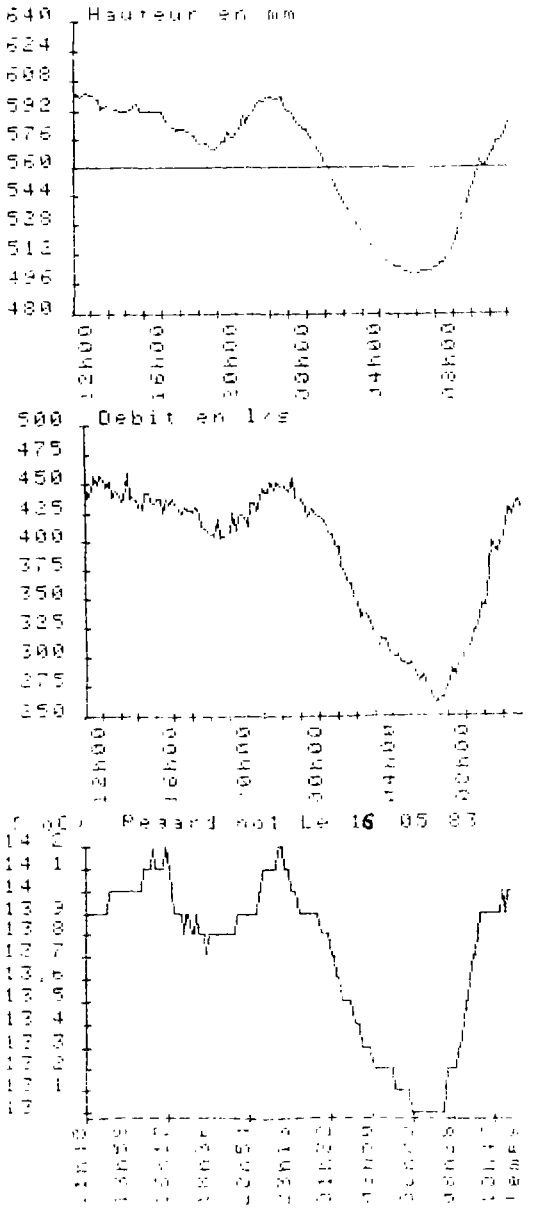


Fig.1 - Nuit du 16 au 17 mai 1983

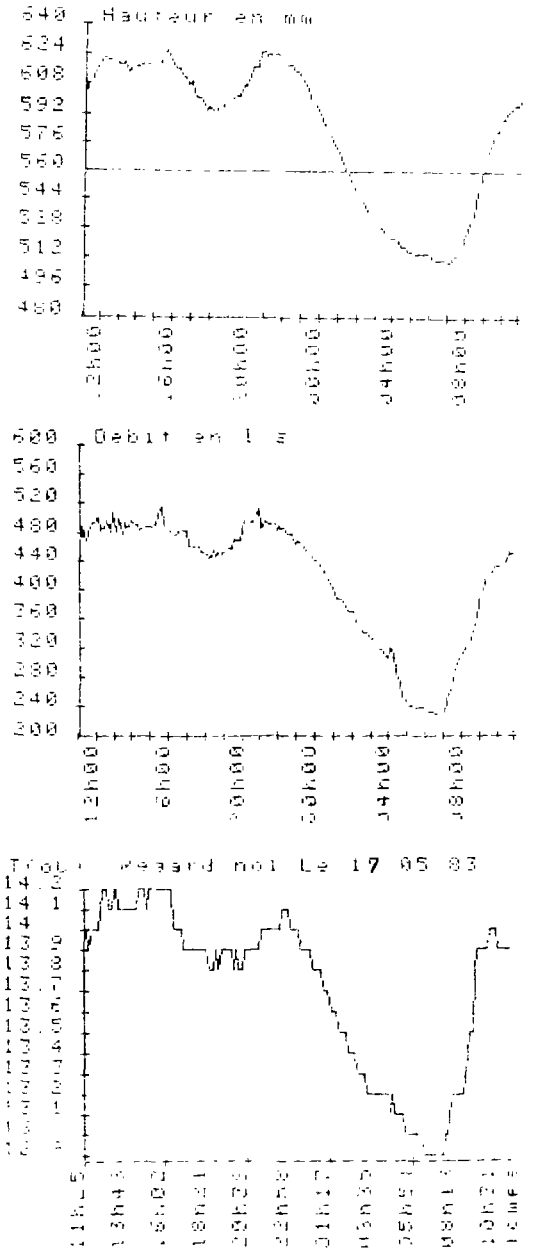


Fig.2 - Nuit du 17 au 18 mai 1983

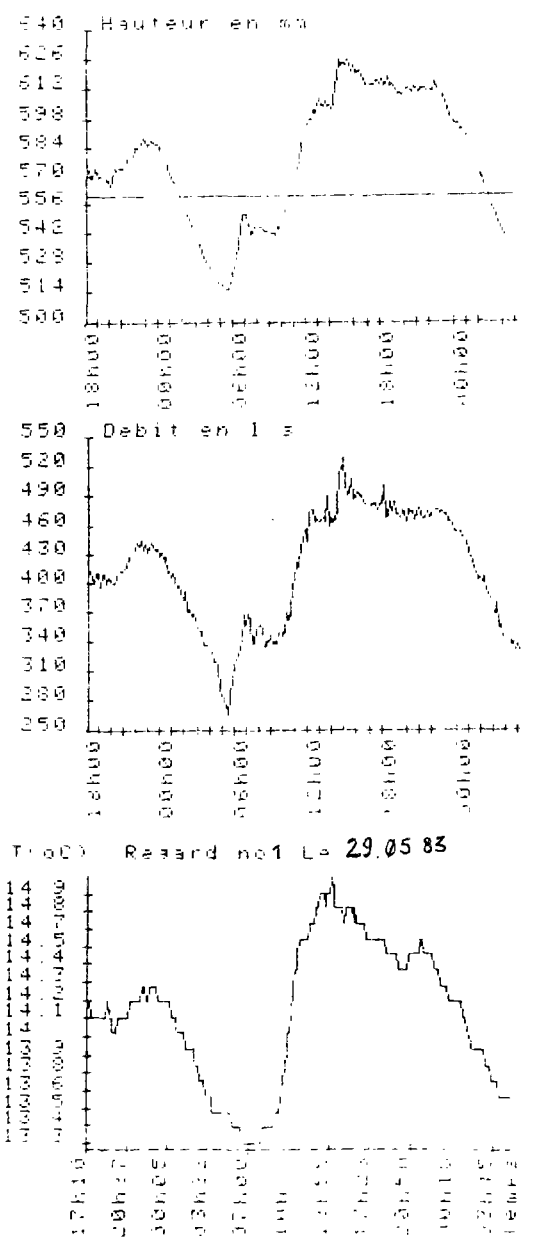


Fig.3 - Nuits du 27 au 28 et du 28 au 29 mai 1983

ANNEXE IX

Programme de commandes de l'ICHTYOTHERME

```
    ASSEMBLEUR : T(1) = LANCEMENT MESURE
    RESET 4
    ASSERT 4;1
    CONTROL 4,4 ; 192
    OUTPUT 404 USING "#,B" ; 7
    INTEGER A(256),N,M,T5,X3,P,P1
    COM B(256),S(256),T(256),IN
    TEGER J1,X1,H1,H2,M$[30]
    DIM P$[6],C$[6],R$[6],S$[6],
    T$[6],V$[6],B$[6]
    CLEAR @ DISP "Nom de la Vill
    e et JOUR (pour ex PARIS le
    170484)"
    INPUT M$@ DISP " VILLE de "&
    M$
    DISP "Auscultation d'un rese
    au:0, ou  INSPECTION en POST
    E FIXE(1, 2"
    INPUT P@ IF P#0 AND P#1 THEN
     100
    DISP "ATTENDEZ  UN  INSTANT
    SVP !"
    FOR I=0 TO 255
    A(I)=0 @ B(I)=0 @ T(I)=0 @ S
    (I)=0
    NEXT I
    M=0 @ N=0 @ J1=0
    DISP "MEMO ?"
    DISP @ DISP "AVEZ VOUS MODIF
    IE LE CADENCEMENT DES MESURE
    S DANS L'ICHTYOTHERME(STANDA
    RD 5s)?"
    INPUT C$
    IF C$="NON" THEN 270
    IF C$="OUI" THEN 230 ELSE 20
    0
    DISP @ DISP "CADENCEMENT DES
     MESURES DE ToC  en  SECONDE
    S"
    DISP "4,8,16,32,64,128,256 o
    u 512s ?"
    INPUT X2@ X1=X2*1000
    GOTO 280
    X1=8000
    CLEAR @ DISP "GAMME 0 VA DE
    0 A 30oC"
    DISP @ DISP "GAMME 1 VA DE 1
    5 A 35oC"
    DISP @ DISP "GAMME 2 VA DE 3
    0 A 55oC"
    DISP @ DISP "ENTREP 0,1 OU 2
    ?"
    INPUT G$
    IF G$=0 THEN 340 ELSE 350
    T0=0 @ GOTO 410
    IF G$=1 THEN 360 ELSE 370
    T0=15 @ GOTO 410
    IF G$=2 THEN 380 ELSE 390
    T0=30 @ GOTO 410
    G$=0 @ T0=0
    DISP "GAMME 0 UTILISEE!!!"
    ON KEY# 1,"GOMESU" GOSUB 860
    ON KEY# 4,"DESTOC" GOSUB 570
    ON KEY# 2,"EXPLOI" GOTO 1900
    DISP "heure du lancement de
     la mesure : en h,mn? (ex.11h
    23 =11,23)"
    INPUT H1,H2
    IF H1>24 OR H2>60 THEN 450 E
    LSE 470
    GCLEAR
    SCALE 0,255,0,191
    MOVE 10,180 @ LABEL "RELIEZ
     L'ICHTYOTHERME AU HP85 *"
    BEEP 100,200 @ BEEP 50,80
    MOVE 20,150 @ LABEL "K1 POUR
      LANCER LA MESURE"
    ON KEY# 3,"LECTUR" GOSUB 155
    0
    GOTO 530
    ON INTR 4 GOSUB 1470
    ENABLE INTR 4;8
    RETURN
    RESET 4 @ BEEP 100,200
    OFF INTR 4 @ OFF TIMER# 1
    OFF KEY# 4
    ASSERT 4;3 ! GO A 1,ST A 1
    ASSERT 4;11 ! GO+RES+ST A 1

    ASSERT 4;3 ! GO+ST+1,RES A 0
    WAIT 2 ! delai a 2ms
    ASSERT 4;11 ! GO+ST+RES A 1
    CONTROL 4,4 ; 192
    OUTPUT 404 USING "#,B" ; 3
    OUTPUT 404 USING "#,B" ; 4 !
          PORT C , CES.CEL A 0 ET
    LE       ENLOG A 1
    ASSERT 4;11 ! ST A 1 ET GO
          ET RESET A 1
    MOVE 20,100 @ LABEL "ATTENDE
    Z UN INSTANT SVP !"
    CONTROL 4,8 ; 2 ! PERMET SOR
    TIE SUR POPT B
    FOR I=0 TO J1
    OUTPUT 401 USING "#,B" ; I !
          ADDRESSES EN SORTIE
    ASSERT 4,10 ! ST A 0,RE+GO A
     1
    WAIT 2
    ASSERT 4;11 ! ST A 1,RES+GO
    ENTER 400 USING "#,B" ; X
    A(I)=X
    NEXT I
    MOVE 20,90 @ LABEL "MERCI"
    BEEP 100,20
    MOVE 20,40 @ LABEL "K3 POUR
    LIRE LES TEMPERATURES"
    RESET 4
    ASSERT 4;1
    CONTROL 4,4 ; 192
    OUTPUT 404 USING "#,B" ; 2
    ON KEY# 4,"DESTOC" GOSUB 570
    RETURN
    RESET 4 @ BEEP 200,100
    OFF KEY# 1
    ASSERT 4;0 ! GO A 0,TOUS A 0
    ASSERT 4;6 ! GO ET VAL A 1
    WAIT 1
    ASSERT 4;14 ! GO+RES+VAL A 1
    WAIT 1
    ASSERT 4;6 ! GO+VAL A 1,RES=
    WAIT 200
    ASSERT 4;14 ! GO+RES+VAL A 1
    WAIT 10
    CONTROL 4,4 ; 192
    OUTPUT 404 USING "#,B" ; 3
    OUTPUT 405 USING "#,B" ; G9
    WAIT 1
    ASSERT 4;1 ! ST A 1
    WAIT 500
    ASSERT 4;11 ! GO+RES A 1,VA
         L=0, ST A 1
    WAIT 500
    ASSERT 4;15 ! GO+RES+VAL A
         1, ST A 1
    WAIT 500
    ASSERT 4;13 ! GO A 0,RES+VA
         L A 1, ST A 1
    WAIT 10
    ASSERT 4;15 ! GO+RES+VAL A
         1, ST A 1
    ON TIMER# 1,X1 GOSUB 1180
    J1=1
    MOVE 20,100 @ LABEL " LA ME
         SURE EST LANCEE"
    BEEP 50,500
    MOVE 20,80 @ LABEL "* RELIE
         Z LE COMPTE-TOUR *"
    OFF KEY# 1
    ON KEY# 1,"ICTY01" GOTO 10
    GOSUB 540
    ON KEY# 1,"LANCER" GOSUB 86
    0
    RETURN
    T(J1)=M @ T(J1)=N
    S(J1)=INT( (J1)* 086*10+ 5)
    /10
    T5=X1*J1/1000
    IF J1>1 THEN 1340
    PEN 1 @ GCLEAR
    SCALE 0,255,0,191
    LDIP 0
    MOVE 20,180 @ LABEL "LA DIS
    TANCE  EST LANCEE"
    MOVE 20,160 @ LABEL "K4 POU
    R DESTOCKER LES DONNEES"
    MOVE 20,140
    LABEL "TEMPS EN SEC " @ MOV
    E 120,140
    LABEL "DISTANCE EN m"
    MOVE 20,120
    LABEL VAL$(T5)
    MOVE 130,120 @ LABEL VAL$(S
    (J1))
    GOTO 1430
    P=-1
    PEN P @ J1=J1-1
    T5=J1*X1/1000
    MOVE 20,120 @ LABEL VAL$(T5
    )
    MOVE 130,120 @ LABEL VAL$(S
    (J1))
    IF P=1 THEN 1430
    P=-P @ PEN P @ J1=J1+1
    IF S(J1)<S(J1-1) THEN S(J1)
    =S(J1-1)
    GOTO 1360
    J1=J1+1
    M=0
    IF J1>=255 THEN GOSUB 2030
    RETURN
    STATUS 4,1 ; X
    STATUS 4,2 ; S
    IF BIT(S,4) THEN 1500 ELSE
    1510
    IF BIT(S,5) THEN 1480 ELSE
    1530
    N=N+1
    ENABLE INTR 4;16 @ RETURN
    M=M+1
    ENABLE INTR 4;32 @ RETURN
    MOVE 20,10 @ LABEL "ATTENDE
    Z UN INSTANT SVP !"
    FOR I=0 TO J1
    Z=A(I)
    K=2*2.49*4/256
    Z1=K*Z+T0
    B(I)=FNC(Z1)
    NEXT I
    DEF FNC(Z2) = INT(Z2*10+ 5)
    /10
    CLEAR @ DISP "VOUS VOULEZ L
    IRE LES ToC? "
    INPUT R$
    IF R$="OUI" THEN GOSUB 1950
     ELSE 1670
    GOTO 1690
    IF R$="NON" THEN 1690 ELSE
    1680
    DISP "ET ALORS?" @ GOTO 164
    0
    DISP @ DISP "VOUS  VOULEZ
    STOCKER  DANS  UN FICHIER D
    E DONNEES? "
    INPUT S$
    IF S$="OUI" THEN 1730
    IF S$="NON" THEN 1860 ELSE
    1700
    DISP "Le fichier est cree?"
```


Suite page suivante

Suite "ICTYO 1"

```
1720 INPUT B$
1730 IF B$="OUI" THEN R1=0 @ GOT
     O 1780
1740 IF B$="NON" THEN 1760 ELSE
     1740
1749 R1=1 @ CAT
1750 DISP @ DISP "CHOISISSEZ NOM
      FICHIER A CREER" @ PAUSE
1760 CLEAR @ DISP "NOM DU FICHIE
     R DE 6 lettres !!!"
1770 INPUT V$
1780 IF LEN(V$)<>6 THEN 1790
1804 IF R1=0 THEN 1820
1810 CREATE V$,3,2100
1820 CLEAR @ DISP "APPUYER SUR 1
     a touche * CONT *  POUR ENR
     EGISTRER LES DONNEES" @ PAU
     SE
1830 ASSIGN# 1 TO V$
1840 PRINT# 1 : B(),S(),T(),J1,X
     1,M$,H1,H2,V$
1850 ASSIGN# 1 TO *
1860 DISP @ DISP "VOUS  VOULEZ
     EXPLOITER  LES    DONNEES?
     "
1870 INPUT T$
1880 IF T$="OUI" THEN 1900
1890 IF T$="NON" THEN 1920 ELSE
     1870
1900 IF R=0 THEN CLEAR @ CHAIN "
     TGRAF1"
1910 IF R=1 THEN CLEAR @ CHAIN "
     TGRAF2"
1920 CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
     EY LABEL pour la   suite"
1930 DISP @ DISP."Appuyer sur la
      touche en face du nom"
1940 RETURN
1950 CLEAR @ FOR I4=1 TO J1-2 ST
     EP 13
1960 FOR I5=I4 TO I4+12
1970 IF I5>J1-2 THEN 2020
1980 DISP I5;TAB(12);S(I5);TAB(2
     0),B(I5)
1990 NEXT I5
2000 PAUSE
2010 NEXT I4
2020 RETURN
2030 CLEAR @ DISP "LA CAPACITE D
     E STOCKAGE DU POISSON EST D
     EPASSEE(256 VALEURS ENREGIS
     TREES)"
2040 OFF TIMER# 1 @ OFF INTR 4
2050 DISP @ DISP "K4 POUR DESTOC
     KAGE DES DONNEES"
2060 RETURN
```

Programme traçage "température-temps"

```
   1  REM *TGRAF2 : TEMPERATURE -
      TEMPS*
  30 CLEAR @ DISP "ATTENDEZ UN IN
     STANT SVP !"
  70 COM B(256),S(256),T(256)  IN
     TEGER J1,X1,H1,H2,M$[30]
  40 DIM P1$[2],P2$[2],T$[5],U$[2
     4],C$[3],A$[12],W$[12]
  50 INTEGER K,I,K3,F4,J3,J4 I2,P
     1,R2,D2,S
  60 I2=0 @ J3=0 @ T3=0 @ U=0
  70 DISP @ DISP "Nom de la Rue"
  80 INPUT U$
  90 DISP "Rue "&U$&" a "&M$
 100 DISP @ DISP "No regard(<100)
     ,DATE(ex07.01.83)"
 110 INPUT D,A$
 120 DISP "Regard No";D;"inspecte
      a la sonde de ToC (dite ICH
     TYO-THERME ) le  "&A$
 130 DISP "Temps sec,pluvieux,ora
     geux,ensoleille?"
 140 INPUT W$@ DISP "Temps "&W$
 150 ON KEY# 1,"GRAPHE" GOSUB 280
 160 ON KEY# 2,"ICTY01" GOTO 1140
 170 ON KEY# 3,"FICH01" GOTO 1130
 180 ON KEY# 4,"Autost" GOTO 1150
 190 ON KEY# 5,"TGRAF1" GOTO 1160
 200 CLEAR
 210 DISP @ DISP "REGARD INPECTE
     LE"&A$&" a "&VAL$(H1)&"h."&VA
     L$(H2)
 220 DISP @ DISP "  Appuyer  sur
     KEY LABEL pour la suite  du
     traitement"
 230 DISP @ DISP "  Appuyer  sur
     la touche en face du nom"
 235 J1=J1-1
 240 DISP @ DISP "FICH01 = lectur
     e donnees"
 250 DISP "GRAPHE = tracer graphi
     que"
 260 DISP "ICTY01 = lancement mes
     ure"
 270 GOTO 270
 280 CLEAR
 290 DISP "TEMPERATURE-TEMPS"
 300 A1=0 @ A2=100
 310 F0=0 @ F1=0
 320 FOR K=1 TO J1-1
 330 F0=MAX(A1,B(K))
 340 F1=MIN(A2,B(K))
 350 A1=F0
 360 A2=F1
 370 NEXT K
 380 F2=0
 390 F2=F0-F1
 400 IF F2=0 THEN U=65 @ D2=1 @ F
     2=.01 @ GOTO 560
 410 IF F2=.1 THEN D2=1 @ GOTO 56
     0
 420 IF F2=.2 THEN D2=2 @ GOTO 56
     0
 430 IF F2=.3 THEN D2=3 @ GOTO 56
     0
 440 IF F2=.4 THEN D2=4 @ GOTO 56
     0
 450 IF F2=.5 THEN D2=5 @ GOTO 56
     0
 460 IF F2=.6 THEN D2=6 @ GOTO 56
     0
 470 IF F2=.7 THEN D2=7 @ GOTO 56
     0
 480 IF F2=.8 THEN D2=8 @ GOTO 56
     0
 490 IF F2=.9 THEN D2=9 @ GOTO 56
     0
 500 IF F2=1 THEN D2=10 @ GOTO 56
     0
 510 IF F2=1.1 THEN D2=11 @ GOTO
     560
 520 IF F2=1.2 THEN D2=12 @ GOTO
     560
 530 IF F2=1.3 THEN D2=13 @ GOTO
     560
 540 IF F2=1.4 THEN D2=14 @ GOTO
     550
 550 IF F2>1.4 THEN D2=10 @ GOTO
     560
 560 GCLEAR
 570 SCALE 0,255,0,191
 580 XAXIS 42,20,42,250
 590 YAXIS 42 130/D2 45,175
 610 LDIR 90
 620 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
 630 L4=(L1-42)*(J1-1)*X1/208000
 640 R4=0 @ T5=3600*H1+60*H2
 650 P4=L4+T5
 660 R4=R4 MOD 86400
 670 R0=R4 DIV 3600
 680 R1=R4 MOD 3600
 690 R2=R1 DIV 60 @ R2$=VAL$(R2)
 700 R3=R1 MOD 60 @ R3$=VAL$(R3)
 710 IF R0<10 THEN R0$="0"&VAL$(R
     0) ELSE R0$=VAL$(R0)
 720 IF R2<10 THEN R2$="0"&R2$
 730 T$=R0$&"h"&R2$
 740 MOVE L1,1
 750 LABEL T$
 760 NEXT L1
 770 LDIR 90
 780 MOVE 254,1
 790 LABEL "Temps"
 800 LDIR 0
 810 IF F2>=.1 THEN U1=2 ELSE U1=
     1
 820 FOR L2=45 TO 175 STEP 130/D2
 830 MOVE 2,L2
 840 L3=INT(F2/130*(L2-45)*10+.5)
     /10+F1
 850 LABEL VAL$(L3)
 860 NEXT L2
 870 MOVE 5,183
 880 LABEL "ToC   Regard no"&VAL
     $(D)&" Le "&M$
 890 IF J2=0 THEN 1000
 900 MOVE J3*208/(J1-1)+42,45
 910 FOR J5=45 TO 175 STEP 130/D2
 920 DRAW J3*208/(J1-1)+42,J5
 930 MOVE J3*208/(J1-1)+42,J5+65/
     D2/U1
 940 NEXT J5
 950 MOVE J4*208/(J1-1)+42,45
 960 FOR J6=45 TO 175 STEP 130/D2
 970 DRAW J4*208/(J1-1)+42,J6
 980 MOVE J4*208/(J1-1)+42,J6+65/
     D2/U1
 990 NEXT J6
1000 MOVE 42+208/(J1-1),(B(1)-F.
     )*130/F2+45+U
1010 FOR 0=1 TO J1-1
1020 DRAW 0*208/(J1-1)+42,(B(0)-
     F1)*130/F2+45+U
1030 NEXT 0
1040 PAUSE
1050 CLEAR
1060 DISP "  Appuyer  sur KEY L
     BEL pour la suite  du trai
     ement"
1070 DISP @ DISP "  Appuyer  su
      la touche en face du nom"
1080 DISP @ DISP "FICH01 = lectu
     re donnees"
1090 DISP "GRAPHE = tracer graph
     ique"
1100 DISP "ICTY01 = lancement me
     sure"
1110 DISP "Autost = Gestion de
     'ICHTYO-THERME"
1120 RETURN
1130 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
1140 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
1150 CLEAR @ CHAIN "Autost"
1160 CLEAR @ CHAIN "TGRAF1"
```

Programme de traçage : Température-Distance

```
   REM *TEMPERATURE = TEMPERATURE -
    DISTANCE*
   CLEAR @ DISP "ATTENDEZ Un In
    stant SVP"
   DIM B(256),A$[256],T$[256],In
    TEGER J1,K1,W1,W2,W$[256]
   DIM R1$[2],R2$[2],T$[5],U$[2
    4],C$[3],A$[12],W$[1]
   INTEGER K,J1,R3,R4,J3,J4,I2,R
    1,R2,D2,E
   I2=0 @ J2=0 @ T2=0 @ U=0
   DISP @ DISP "Nom de la Rue"
   INPUT U$
   PRINT "Rue "&U$&" a "&N$
   DISP @ DISP "SENS DE MESURE
    = sens ecoulement(1),sens co
    ntraire(0)"
   INPUT S@ IF S=0 THEN 150
   IF S=1 THEN 170 ELSE 110
   PRINT "sens Mesure = sens Ec
    oulement"
   GOTO 190
   PRINT "sens Mesure # sens Ec
    oulement"
   DISP @ DISP "No reseau (100)
    .DATE e/OF @1 92)"
   INPUT D A$
   PRINT "Reseau No";D;"inspect
    e a la sonde de ToC ;date IC
    HTYO-THERME ";" le ";"&A$
   DISP "Temps sec,pluvieux,ora
    geux,ensoleille^"
   INPUT W$@ PRINT "Temps "&W$
   DISP "Eaux parasites ET nomb
    res de branchements racco
    rdes(en reel)"
   DISP "Correction?" @ INPUT C
    $
   IF C$="OUI" THEN 250
   IF C$="NON" THEN 260 ELSE 22
    0
   PRINT "Attention: RESEAU san
    s branchements (pleine camps
    agne)"
   ON KEY# 1,"GRAPHE" GOSUB 360
   ON KEY# 2,"ICTY01" GOTO 2060
   ON KEY# 3,"FICH01" GOTO 2050
   ON KEY# 4,"Autos" GOTO 2070
   ON KEY# 5,"TGRAF2" GOTO 2080
   CLEAR
   DISP "Appuyer sur KEY LABEL
    pour la suite du traiteme
    nt"
   J1=J1-1
   DISP @ DISP "Appuyer sur la
    touche en face du nom"
   PRINT @ PRINT "RESEAU INSPECT
    E LE"&A$&" a "&VAL$(H1)&"H"&
    VAL$(H2)
   GOTO 350
   DISP "QUEL TYPE DE GRAPHE ?"
   CLEAR
   DISP "TEMPERATURE-TEMPS (1)
    ,TEMPERATURE-DISTANCE (2)^"
   INPUT F4
   IF F4=2 THEN GOTO 1300
   IF F4=1 THEN 420 ELSE 390
   A1=0 @ A2=100
   F0=0 @ F1=0
   FOR K=1 TO J1-1
   F0=MAX(A1,B(K))
   F1=MIN(A2,B(K))
   A1=F0
   A2=F1
   NEXT K
   F2=0
   F2=F0-F1
   IF F2=0 THEN U=65 @ D2=1 @ F
    2=.01 @ GOTO 680
   IF F2= 1 THEN D2=1 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 2 THEN D2=2 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 3 THEN D2=3 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 4 THEN D2=4 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 5 THEN D2=5 @ GOTO 69
    0
   IF F2= 6 THEN D2=6 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 7 THEN D2=7 @ GOTO 68
    0
   IF F2=.8 THEN D2=8 @ GOTO 68
    0
   IF F2= 9 THEN D2=9 @ GOTO 68
    0
   IF F2=1 THEN D2=10 @ GOTO 68
    0
   IF F2=1.1 THEN D2=11 @ GOTO
    680
   IF F2=1.2 THEN D2=12 @ GOTO
    680
   IF F2=1.3 THEN D2=13 @ GOTO
    680
   IF F2=1.4 THEN D2=14 @ GOTO
    680
   IF F2>1.4 THEN D2=10 @ GOTO
    680
   GCLEAR
   SCALE 0,255,0,191
   XAXIS 42,20,42,250
   YAXIS 42,130/D2 45,175
   LDIR 90
   FOR L1=42 TO 250 STEP 30
   L4=(L1-42)*(J1-1)*X1/208000
   R4=0 @ T5=3600*H1+60*H2
   R4=L4+T5
   P4=R4 MOD 86400
   R0=P4 DIV 3600
   P1=R4 MOD 3600
   R2=P1 DIV 60 @ R2$=VAL$(R2)
   R3=P1 MOD 60 @ R3$=VAL$(R3)
   IF R0<10 THEN R0$="0"&VAL$(R
    0) ELSE R0$=VAL$(R0)
   IF R2<10 THEN R2$="0"&R2$
   T$=R0$&"h"&R2$
   MOVE L1,1
   LABEL T$
   NEXT L1
   LDIR 90
   MOVE 254,1
   LABEL "Temps"
   LDIR 0
   IF F2<=.1 THEN U1=2 ELSE U1=
    1
   FOR L2=45 TO 175 STEP 130/D2
   MOVE 2,L2
   L3=INT(F2/130*(L2-45)*10+.5)
    /10+F1
   LABEL VAL$(L3)
   NEXT L2
   MOVE 5,123
   LABEL "T(oC)  Reseau no"&VA
    L$(D)&" Le "&A$
   IF J3=0 THEN 1120
   MOVE J3*208/(J1-1)+42,45
   FOR J5=45 TO 175 STEP 130/D
    2
   DRAW J3*208/(J1-1)+42,J5
   MOVE J3*208/(J1-1)+42,J5+65
    /D2/U1
   NEXT J5
   MOVE J4*208/(J1-1)+42,45
   FOR J6=45 TO 175 STEP 130/D
    2
   DRAW J4*208/(J1-1)+42,J6
   MOVE J4*208/(J1-1)+42,J6+65
    /D2/U1
   NEXT J6
   MOVE 42+208/(J1-1),(B(1)-F1
    )*130/F2+45+U
   FOR Q=1 TO J1-1
   DRAW Q*208/(J1-1)+42,(B(Q)-
    F1)*130/F2+45+U
   NEXT Q
   COPY
   PAUSE
   CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
    EY LABEL pour la suite du
    traitement"
   DISP @ DISP "Appuyer sur la
    touche en face du nom"
   RETURN
   S(0)=0 @ T(0)=0 @ J3=0 @ J4
    =0
   FOR K=1 TO J1-1
   IF S(K)=S(K-1) THEN 1320
   IF S(K-1)=0 THEN 1240 ELSE
    1260
   J2=0 J3=K
   J2=0 NEXT K
   IF S(K)=0 OR S(K)<S(K-1) TH
    EN 1270 ELSE 1280
   S(K)=S(K-1)
   IF K=J1-1 AND J4=0 THEN 130
    0
   NEXT K
   J4=J1-1
   GOTO 1360
   IF S(K-1)=0 THEN 1280
   IF S(K)<S(K-1) THEN 1270
   IF T(K)=0 THEN 1280
   J4=K
   IF J3=0 AND J4=0 THEN 2020
   T3=0
   FOR I=J3 TO J4
   T3=T3+B(I) @ NEXT I
   PRINT @ PRINT "Longueur ins
    pectee  "&VAL$(S(J4))&"  m"
   T8=0 @ T8=INT(T3/(J4-J3)*10
    +.5)/10 @ PRINT "ToC moyenn
    e du reseau en oC=  ";T8
   T3=0
   T7=0 @ T7=(J4-J3)*X1/1000
   PRINT "Temps d'immersion  d
    e  l'ICHTYO-THERME en secon
    des = " T7
   V=0 @ V=INT(S(J4)/T7*60*100
    +.5)/100 @ PRINT "Vitesse m
    oyenne en m /mn= ";V @ PRIN
    T
   IF J3=0 THEN J3=J3+1
   A1=0 @ A2=100
   F0=0 @ F1=0
   FOR K=J3 TO J4
   F0=MAX(A1,B(K))
   F1=MIN(A2,B(K))
   A1=F0
   A2=F1
   NEXT K
   F2=0
   F2=F0-F1
   IF F2=0 THEN U=70 @ D2=1 @
    F2=.01 @ GOTO 1740
   IF F2= 1 THEN D2=1 @ GOTO 1
    740
   IF F2= 2 THEN D2=2 @ GOTO 1
    740
   IF F2=.3 THEN D2=3 @ GOTO 1
    740
   IF F2=.4 THEN D2=4 @ GOTO 1
    740
   IF F2= 5 THEN D2=5 @ GOTO 1
    740
   IF F2=.6 THEN D2=6 @ GOTO 1
    740
   IF F2=.7 THEN D2=7 @ GOTO 1
    740
   IF F2=.8 THEN D2=8 @ GOTO 1
    740
```

Suite page suivante

Programme

Suite "TGRAF1"

```
1630 IF F2= 9 THEN D2=9 @ GOTO 1
     740
1650 IF F2=1 THEN D2=10 @ GOTO 1
     740
1670 IF F2=1 1 THEN D2=11 @ GOTO
     1740
1690 IF F2=1 2 THEN D2=12 @ GOTO
     1740
1710 IF F2=1 3 THEN D2=13 @ GOTO
     1740
1730 IF F2=1 4 THEN D2=14 @ GOTO
     1740
1750 IF F2=1 5 THEN D2=15 @ GOTO
     1740
1770 IF F2>1 5 THEN D2=10 @ GOTO
     1740
1740 GCLEAR
1750 IF S(J4)>99 9 THEN 1760 ELS
     E 1770
1760 P=41 @ GOTO 1780
1770 P=33
1780 SCALE 0,255,0,191
1790 XAXIS P,20,42,250
1800 YAXIS 42,(173-P)/D2,P+2,175
1810 LDIR 90
1820 MOVE 253,2
1830 LABEL " h "
1840 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
1850 L5=INT((L1-42)*S(J4)/208*10
     +.5)/10
1860 MOVE L1,1
1870 LABEL VAL$(L5)
1880 NEXT L1
1890 LDIR 0
1900 FOR L2=P+2 TO 175 STEP (173
     -P)/D2
1910 MOVE 2,L2
1920 L6=INT(F2/(175-P)*(L2-P-2)*
     10+.5)/10+F1
1930 LABEL VAL$(L6)
1940 NEXT L2
1950 MOVE 5,183
1960 LABEL "ToC  ICHTYO-THERME d
     ans reseau"
1970 MOVE S(J3)*208/S(J4)+42,(B(
     J3)-F1)*(173-P)/F2+P+2+U
1980 FOR Q=J3 TO J4
1990 DRAW S(Q)*208/S(J4)+42,(B(Q
     )-F1)*(173-P)/F2+P+2+U
2000 NEXT Q
2005 COPY
2010 PAUSE
2030 CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
     EY LABEL pour la  suite du
      traitement"
2050 DISP @ DISP "Appuyer sur la
      touche en face "
2060 RETURN
2050 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
2060 CLEAR @ CHAIN "ICTY01"
```

"Gestion de l'ICHTYOTHERME"

```
10 REM * GESTION DE L'ICHTYOTHE
   RME = Autost *
20 COM B(256),S(256),T(256) ,IN
   TEGER J1,Y1,H1,H2,M$[30]
30 ON KEY# 1,"ICTY01" GOTO 200
40 ON KEY# 2,"TGRAF1" GOTO 210
50 ON KEY# 3,"TGRAF2" GOTO 270
60 ON KEY# 4,"FICH01" GOTO 290
70 ON ERROR GOTO 90
80 IF X1#0 THEN 100
90 M$=""
100 CLEAR
110 DISP @ DISP "UTILISATION DE
    L'ICHTYO-THERME"
120 DISP @ DISP "QUATRES PROGRAM
    MES D'UTILISATION DE L'ICHTY
    O-THERME"
130 DISP @ DISP "1 * LANCEMENT M
    ESURE *"
140 DISP "2 et 3 * TRAITEMENT ME
    SURES *"
150 DISP "4 * LECTURE FICHIERS *
    "
160 DISP @ DISP "  Appuyer  sur
     KEY LABEL  pour utiliser le
    s programmes"
170 DISP @ DISP "Appuyer sur les
     touches en face des noms de
     programmes"
180 DISP
190 GOTO 190
200 CLEAR @ CHAIN "ICTYO1"
210 S1=1 @ IF M$="" THEN 220 ELS
    E 260
220 BEEP 20,200 @ CLEAR
230 DISP " ATENTION !"
240 DISP @ DISP " LANCER LA MESU
    RE OU CHARGER LES DONNEES  S
    TOCKEES  AVANT DE LES TRAITE
    R"
250 GOTO 190
260 CLEAR @ CHAIN "TGRAF1"
270 S2=2 @ IF M$="" THEN 220 ELS
    E 280
280 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"
290 CLEAR @ CHAIN "FICH01"
```

Fichier de données

```
10 REM *FICH01 = FICHIER DE DON
   NEES *
20 COM B(256),S(256),T(256) ,IN
   TEGER J1,Y1,P1 H2,M$[30]
30 DIM 0$[6] Y$[6]
40 BEEP 50,500
50 CLEAR
60 CAT
70 DISP " CHOISISSEZ LE FICHIER
    A LIRE "
80 PAUSE
90 CLEAR
100 DISP "NOM DU FICHIER A LIRE?
    "
110 INPUT V$
120 IF LEN(V$)<>6 THEN 110
130 ASSIGN# 1 TO V$
140 READ# 1  B(),S(),T(),J1,X1
    M$,H1,H2,V$
150 ASSIGN# 1 TO *
160 CLEAR
170 ON KEY# 1,"TGRAF1" GOTO 290
180 ON KEY# 2,"TGRAF2" GOTO 300
190 ON KEY# 3,"DONNEE" GOSUB 310
200 ON KEY# 4,"CORREC" GOSUB 460
210 DISP "  * TRAITEMENT DES DON
    NEES *"
220 DISP @ DISP " TGRAF1 = ICHTY
    OTHERME TRAITE "
230 DISP @ DISP " TGRAF2 = ICHTY
    OTHERME IMMOBILE"
240 DISP @ DISP " DONNEE = LECTU
    RE DES DONNEES"
250 DISP @ DISP " CORREC = CORRE
    CTION DES DONNEES"
260 DISP @ DISP " Appuyer sur KE
    Y LABEL  pour  le  traitemen
    t des mesures"
270 DISP @ DISP " Appuyer sur le
    s touches en face des NOMS"
280 GOTO 280
290 CLEAR @ CHAIN "TGRAF1"
300 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"
310 CLEAR @ DISP "Ville de "&M$
320 DISP @ DISP "Inspection a "&
    VAL$(H1)&"h"&VAL$(H2)&"mn"
330 DISP @ DISP "Cadence mesures
    = "&VAL$(X1/1000)&" s"
340 DISP @ DISP "Nom du fichier=
     "&V$
350 DISP @ DISP @ DISP "Appuyer
    su  CONT"
360 PAUSE
370 CLEAR
380 FOR I4=1 TO J1-2 STEP 13
390 FOR I5=I4 TO I4+12
400 IF I5>J1-2 THEN 450
410 DISP I5;TAB(12);S(I5);TAB(20
    );B(I5)
420 NEXT I5
430 PAUSE
440 NEXT I4
450 DISP "FIN" @ DISP "KEY LAB
    " @ RETURN
460 CLEAR
470 DISP "CORRECTION DES DONNE
    "
480 DISP @ DISP
490 DISP "1ere VALEUR= "&VAL$(
    0);
500 DISP @ DISP VAL$(J1-1)&" "
    VALEUR(derniere)= "&VAL$(
    J1-1)
510 DISP @ DISP VAL$(J1)&" emp
    acence= "&VAL$(B(J1))
520 DISP "No VALEUR A CORRIGER
530 INPUT I
540 IF I>J1 THEN 530
550 DISP "VALEUR INSCRITE EST
    VAL$(B(I))
560 DISP @ DISP "VALEUR CORRI
    G"
570 INPUT B(I)
580 DISP @ DISP "VALEUR COR I(
    EST "&VAL$(B(I))
590 DISP @ DISP "Encore une c
    ection?"
600 INPUT 0$
610 IF 0$="OUI" THEN 520
620 IF 0$="NON" THEN 630 ELSE
    0
630 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ
    CKER A NOUVEAU   LES DONNE
    ?"
640 INPUT Y$
650 IF Y$="NON" THEN 700
660 IF Y$="OUI" THEN 670 ELSE
    0
670 ASSIGN# 1 TO V$
680 PRINT# 1 ; B(),S(),T(),J1
    ,M$,H1,H2,V$
690 ASSIGN# 1 TO *
700 CLEAR @ DISP "Appuyer KEY
    BEL pour suite" @ RETURN
```



```
2070 CLEAR @ CHAIN "Autost"
2080 CLEAR @ CHAIN "TGRAF2"
```

ANNEXE XI

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

```
      DIMENSION X(20),XX(20),Y(20),YY(20)
      LOGICAL*1  I1,I2
      OPEN(UNIT 1,FILE='DONNE.DAT',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT 2,FILE='DEBOO.DAT',STATUS='OLD')
   10 FORMAT(I2,4X,F4.2,F4.2)
   11 FORMAT(I1)
   12 FORMAT(F4.2)
   13 FORMAT(F5.2)
   20 FORMAT(1X,'ID=')
   21 FORMAT(/)
      READ(1,10)ID,QI,DT
      READ(1,11)KTYPE
      IF(KTYPE.EQ.1.OR.KTYPE.EQ.2) GO TO 100
      IF(KTYPE.EQ.3) GO TO 400
  100 READ(1,12)DT1
      CALL INIT
      CALL WINDOW(0.,2700.,4095.,3071.)
      CALL WINDOW(0.,6.,36.,3.)
      IF(KTYPE.EQ.2) GO TO 120
      CALL ECRTXV(0.,1.,2.,3,6,24,'TRACE ISOTHERME SUR 15 m')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(0.,2.,23.,2,2,0)
      CALL ECRTXV(0.,1.,2,2,3,2,8,'DT = .1  ')
      CALL PEN(2)
      CALL SEGMVA(20.,1.4,23.,1.4,5)
      CALL ECRTXV(0,24.,1.4,3,2,8,'DT  .2  ')
      CALL PEN(3)
      CALL SEGMVA(0.,0.5,23.,0.5,6)
      CALL ECRTXV(0,24.,0.5,3,2,8,'DT  .3  ')
      CALL PEN(4)
      CALL SEGMVA(20.,2.2,31.,2.2,7)
      CALL ECRTXV(0,32.,2.2,3,2,8,'DT = .4  ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(28.,1.4,31.,1.4,8)
      CALL ECRTXV(0,32.,1.4,3,2,8,'DT = .5  ')
      GO TO 130

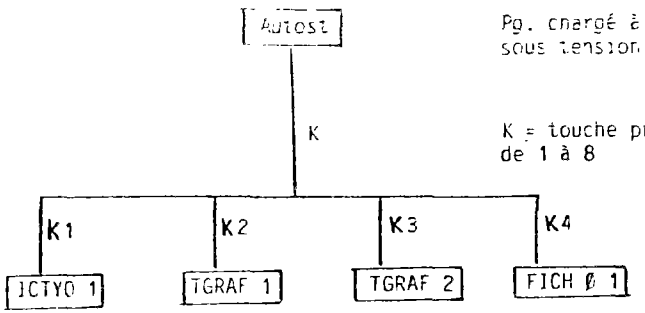
  130 CALL ERASE(0)
      CALL WINDEV(0.,2400.,0.,2700)
      CALL WINDOW(0.,4.,20.,28.)
      CALL AXES(0.,0.,0.,16.,0,3.,.5,0.,-1.,.5,4,1)
      CALL AXES(1.,1.,0.,26.,0,2.,0.35,-1.5,0.,.3,4,1)
      DO 200 K=1,5
      IF(K.EQ.1) THEN
      L=0
      ELSE
      L=K+3
      ENDIF
      VAR=K/10.
      DO 250 J=1,20
      X(J)=J*0.
      Q=QI*DT1*.001*(1.+3.144D*X(J)*VAR)
      IF (Q.LE.1.)THEN
      Q=1.
      ENDIF
      F=LOG(Q)
      Y(J)=4.*ID*XX(L+1)
      Y(J)=((Y(J)*F)/4.5)*100
  250 CONTINUE
      DO 260 JJ=1,12
      IF(JJ.LE.5) THEN
      XX(JJ)=X(JJ)
      YY(JJ)=Y(JJ)
      IF(KTYPE.EQ.2) THEN
      F=50.
      ELSE
      F=30.
      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
```

ANNEXE XII

Programme simulations

```
      DIMENSION X(20),Y(20),U(20)
      REAL*4 U
      OPEN(UNIT=1,FILE='PUMPE.DAT',STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=2,FILE='REPOS.DAT',STATUS='OLD')
      FORMAT(16A4,F4.2,F4.1)
      FORMAT(I1)
      FORMAT(F4.2)
      FORMAT(F5.1)
      FORMAT(1X,'HD= ')
      FORMAT(A1)
      READ(1,10)D,E,U
      READ(1,11)KTYPE
      IF(KTYPE.EQ.1.OR.KTYPE.EQ.2) GO TO 100
      IF(KTYPE.EQ.3) GO TO 900
      READ(1,12)DI
      CALL INIT
      CALL WINDEA(0,2700,4095,3071)
      CALL WINDVA(0.,0.,36.,3.)
      IF(KTYPE.EQ.2) GO TO 150
      CALL ECRTXV(0,1.,1.,'*',32,'DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE')
      CALL ECRTXV(0,1.,1.,3,0,24,'MELANGE A DTI CONSTANT    ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(20.,0.,23.,0.5,6)
      CALL ECRTXV(0,24.,1.5,3,2,8,'DTI= 1   ')
      CALL PEN(2)
      CALL SEGMVA(20.,1.4,23.,1.4,5)
      CALL ECRTXV(0,24.,1.4,3,2,8,'DTI= 2   ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(20.,0.,23.,0.5,6)
      CALL ECRTXV(0,24.,0.5,3,2,8,'DTI= 3   ')
      CALL PEN(2)
      CALL SEGMVA(28.,2.,31.,2.2,7)
      CALL ECRTXV(0,32.,2.2,3,2,8,'DTI= 4   ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(28.,1.4,31.,1.4,8)
      CALL ECRTXV(0,32.,1.4,3,2,8,'DTI= 5   ')
      GO TO 130
150   CALL ECRTXV(0,1.,2.,3,0,32,'DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION ')
      CALL ECRTXV(0,1.,1.,3,8,30,'DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(20.,2.,23.,2.2,0)
      CALL ECRTXV(0,24.,2.,3,2,8,'QI= 1.0 ')
      CALL PEN(2)
      CALL SEGMVA(20.,1.4,23.,1.4,5)
      CALL ECRTXV(0,24.,1.4,3,2,8,'QI= 2.0  ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(20.,0.5,23.,0.5,6)
      CALL ECRTXV(0,24.,0.5,3,2,8,'QI= 3.0 ')
      CALL PEN(2)
      CALL SEGMVA(28.,2.,31.,2.2,7)
      CALL ECRTXV(0,32.,2.2,3,2,8,'QI= 4.0 ')
      CALL PEN(1)
      CALL SEGMVA(28.,1.4,31.,1.4,8)
      CALL ECRTXV(0,32.,1.4,3,2,8,'QI= 5.0  ')
      CALL SCALOFF
      CALL WINDEA(0,0,4095,2700)
      CALL WINDVA(-5.,-2.,11.,11.)
      CALL AXES(0.0,0.,10.,0,1.,0.0125,0.,-0.1,3,4,1)
      CALL AXES(1.0,0.,10.,0,1.,0.35,-1.5,0.,3,4,1)
      DO 500 K=1,5
      IF(K.EQ.1.0) THEN
      L=0
      ELSE
      L=K+3
      ENDIF
      CALL PEN(L)
      DO 250 J=1,20
      X(J)=J*0.5
      Y(J)=EXP(-(R**2.*U)/(4.*D*X(J)))
      Y(J)=4.*3.14*D*X(J)*DI
      Y(J)=Y(J)/(E*VAR)
250   CONTINUE
      DO 260 JJ=1,19
      IF(JJ.LE.5) THEN
      X(JJ)=X(JJ)
      Y(JJ)=Y(JJ)*1000.
      IF(KTYPE.EQ.2) THEN
      Y=10.
      GO TO
      Y=10.
      ENDIF
      IF(Y(JJ).GT.F)THEN
      Y(JJ)=F
      ENDIF
      CALL
      CALL
      X(JJ)
260   JJ=JJ+1
      IF(Y(JJ)*1000.
      IF(Y(JJ).GT.F)THEN
      Y(JJ)=F
      ENDIF
      CALL
      CALL
      CALL
```

DEFINITION DES PROGRAMMES



Pg. chargé à la mise sous tension du MPBE

K = touche préprogrammée de 1 à 8

ICTYO 1 = Pg. de commandes de l'ICHTYO-THERME

TGRAF 1 = Pg. de traçage de graphiques de la température en fonction de la distance et du temps

TGRAF 2 = Pg. de traçage du graphique température-temps

FICHØ 1 = Pg. de lecture de fichiers de données.

Remarque

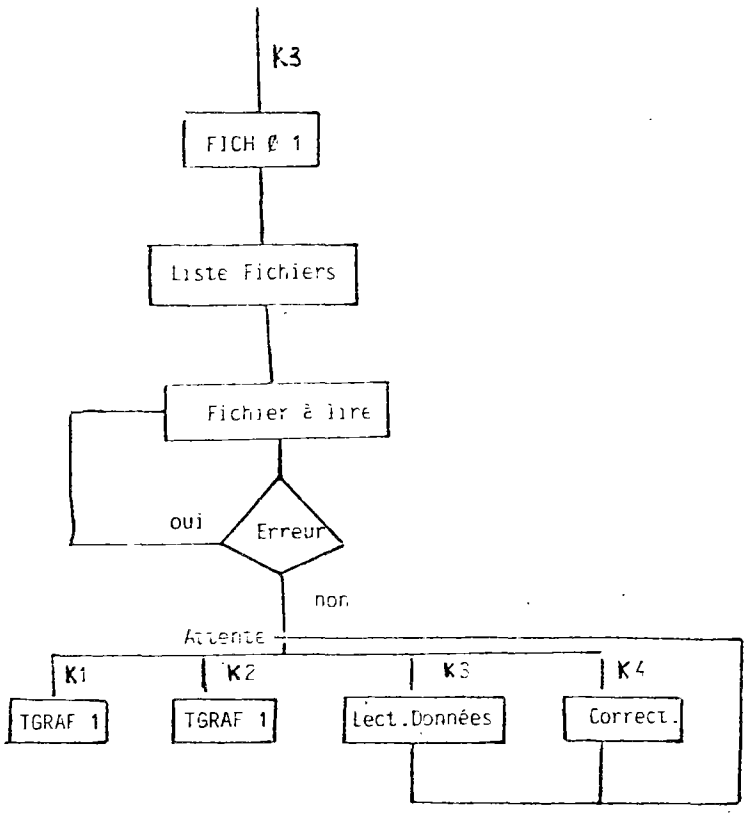
Les programmes TGRAF 1 et TGRAF 2 ne peuvent pas être utilisés directement avant d'avoir chargé un fichier ou procédé à une campagne de mesure.

Seuls ICTYO 1 et FICH Ø 1 sont directement utilisables.

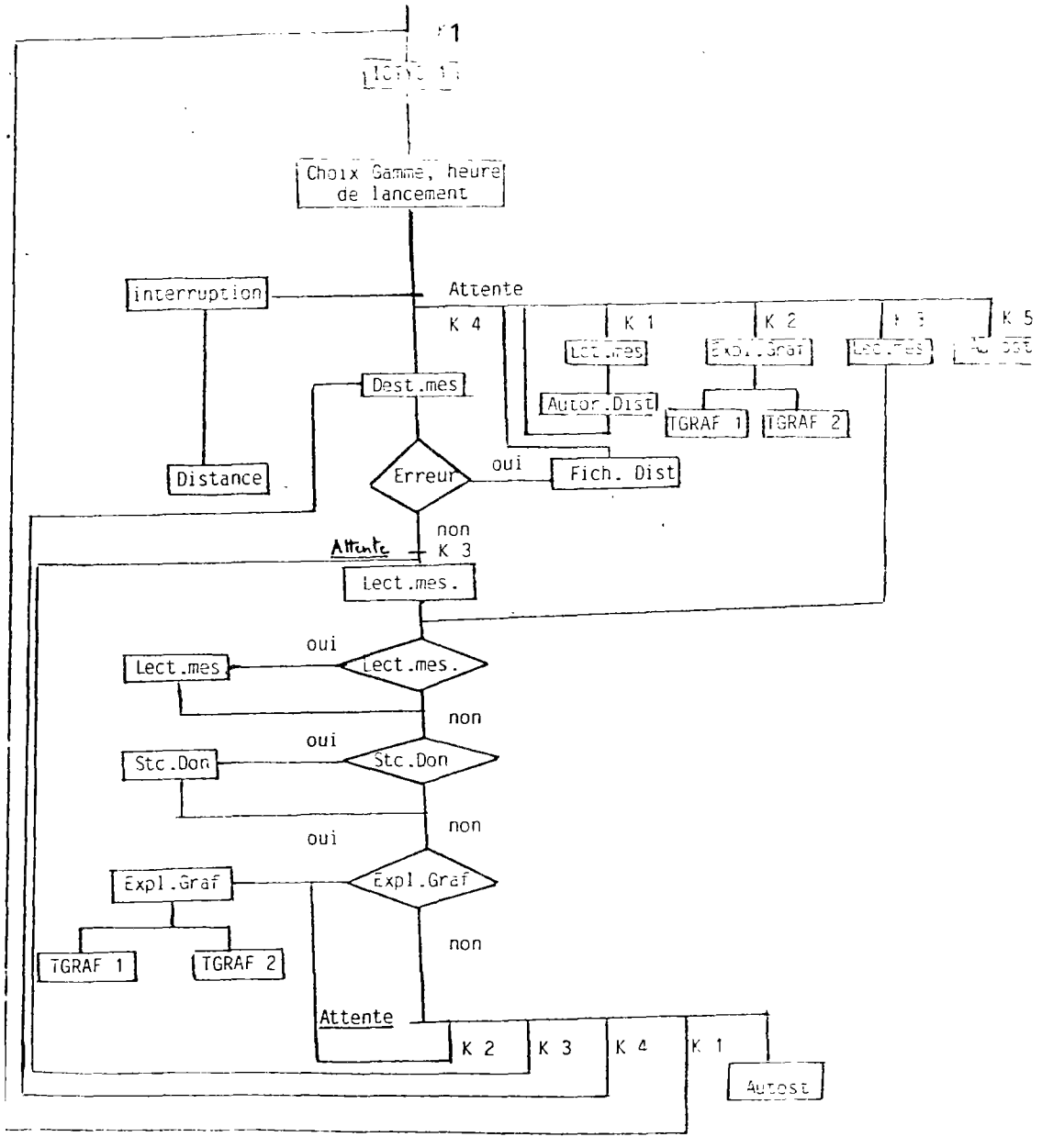
Pl.1 - Définition des programmes

Organigramme de "FICHØ1"

Appel de "FICHØ1" par la touche K3

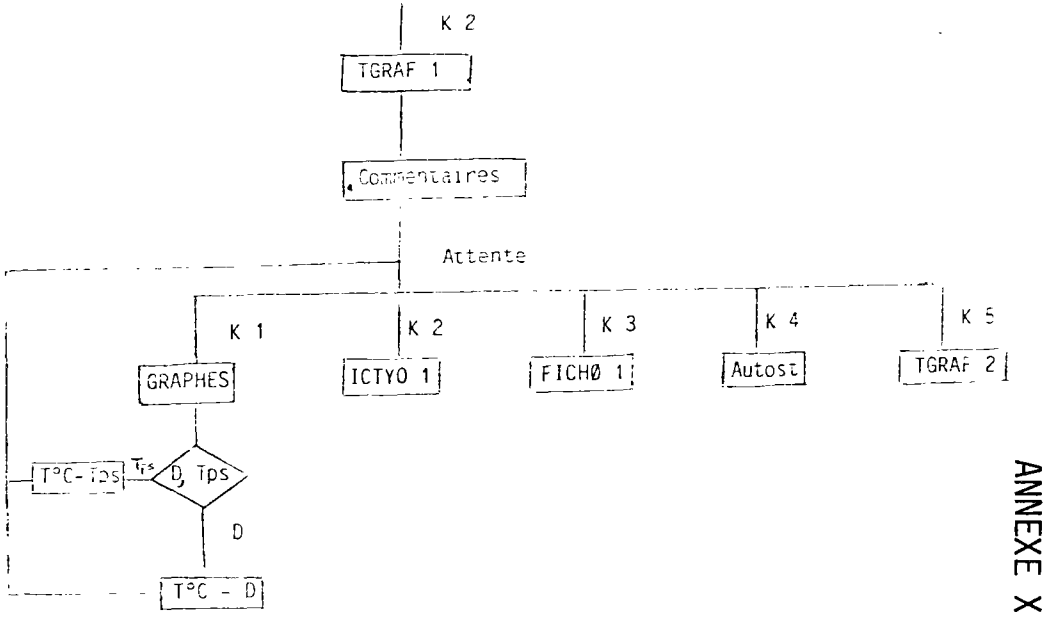


Pl.2 - Organigramme de "FICHØ1"



P1.1 - Organigramme de ICTYO1

P1.2- Gestion des graphiques lors des inspections de pièces



P1.3- Gestion du graphique d'une inspection à poste fixe

