



Doctorat d'Université

N° d'ordre

205142

1976

8972

DOL...  
305-42  
176  
8972

# THESE

présentée

A L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir

le titre de Docteur de l'Université

Spécialité : Hydrogéologie

par



**Bernard GAILLARD**

tome II

METHODE DE TRACEURS POUR LA DETERMINATION DES  
PARAMETRES DE TRANSFERT DE SUBSTANCES EN  
SOLUTION DANS L'EAU DES AQUIFERES

CONTRIBUTION A LA DELIMITATION  
DES PERIMETRES DE PROTECTION  
DES CAPTAGES D'EAU D'ALIMENTATION PUBLIQUE

Soutenue le 25 juin 1976 devant la Commission d'examen

- Président : M. R. MICHEL
- Examineurs : M. J. SARROT REYNAUD
- M. J. GRUAT
- M. J. GUIZERIX
- M. R. CORDA

fa100783396-version-1 Feb 2013

Doctorat d'Université

N° d'ordre

205142  
1976  
89

# THESE

présentée

A L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir

le titre de Docteur de l'Université

Spécialité : Hydrogéologie

par



**Bernard GAILLARD**

tome II

METHODE DE TRACEURS POUR LA DETERMINATION DES  
PARAMETRES DE TRANSFERT DE SUBSTANCES EN  
SOLUTION DANS L'EAU DES AQUIFERES

T. 76 / 138

CONTRIBUTION A LA DELIMITATION  
DES PERIMETRES DE PROTECTION  
DES CAPTAGES D'EAU D'ALIMENTATION PUBLIQUE

Soutenue le 25 juin 1976 devant la Commission d'examen

Président M. R. MICHEL

Examineurs : M. J. SARROT REYNAUD

M. J. GRUAT

M. J. GUIZERIX

M. R. CORDA



0520393409

10045465

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013

## LISTE DES FIGURES

1. Réponse des systèmes linéaires invariants.
2. Illustration de la méthode des traceurs pour l'étude des écoulements de matière dans les systèmes.
3. Détermination de la distribution des temps de séjour à l'aide d'un traceur.
4. Techniques d'obtention de la D.T.S. d'un système.
5. Formes des D.T.S. de différents systèmes.
6. Exploitation des D.T.S.
7. Délimitation des périmètres de protection.
8. Zônes intéressées par le transfert d'une substance polluante entre un rejet à la surface du sol et un puits de captage.
9. Différents types de réponses observées dans le puits P
10. Informations fournies par la réponse impulsionnelle en traceur.
11. Déviation des lignes de courant par un forage sur tubage en l'absence de pompage.
12. Transfert entre deux forages.
13. Modèle de l'écoulement relatif à la figure 12.

14. Modèle d'assemblage des systèmes élémentaires.
15. Modèle d'écoulement bidimensionnel (suivant la direction principale de l'écoulement).
16. Exemple de modèle d'écoulement tridimensionnel (dans un plan perpendiculaire à la direction principale de l'écoulement).
17. Isochronisme et isomorphisme des fonctions  $n(P,t)$
18. Identité des réponses impulsionnelles et isomorphisme des fonctions  $C_i(t)$
19. Schéma de dispersion d'une substance polluante après rejet à la surface du sol.
20. Notion d'homogénéité en grand.
21. Vérification de la stationnarité de  $h(t)$  dans l'espace.
22. Illustration des différentes conditions d'écoulement.
23. Détermination par traceur de la porosité cinématique.
24. Disposition des puits pour la mesure de porosité avec écoulement de la nappe.
25. Définition de la densité de probabilité pour une molécule d'eau issue de  $I$  de traverser un plan perpendiculaire aux lignes de courant.
26. Variation dans l'espace de l'écart type de la densité de probabilité décrivant la dispersion transversale.

tel-00783336; version 1 - 1 Feb 2013

27. Forme du panache de dispersion.
28. Illustration de la méthode de détermination de l'écart type et de la moyenne de la dispersion transversale.
29. Cliché. Vue d'ensemble du modèle physique.
30. Principales caractéristiques du sable de HOSTUN utilisé pour le garnissage du modèle.
31. Cliché. Dispositif de contrôle piezométrique.
32. Organisation du modèle physique.
33. Cliché. Dispositif d'injection et d'homogénéisation.
34. Réponses impulsionnelles des différents traceurs.
35. Représentation schématique du dispositif de prélèvements par microsiphonnage.
36. Cliché. Dispositif de prélèvements simultanés.
37. Evolution de la vitesse de filtration en fonction du gradient hydraulique.
38. Exemples de l'isochronisme des fonctions  $C(t)$  aux différentes sections
39. d'observation.
40. Exemples de l'identité des réponses impulsionnelles aux différentes
41. sections d'observation.
- 42.

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013

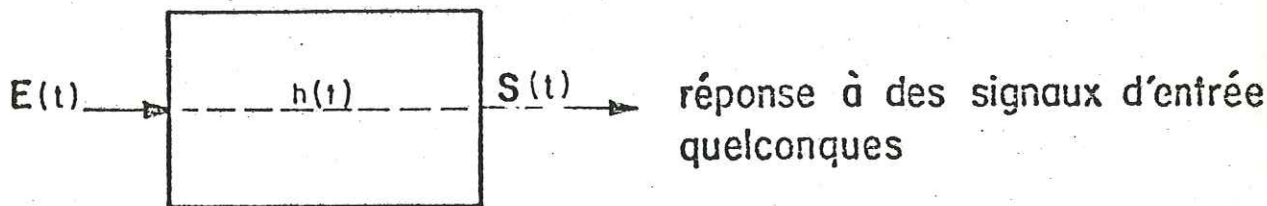
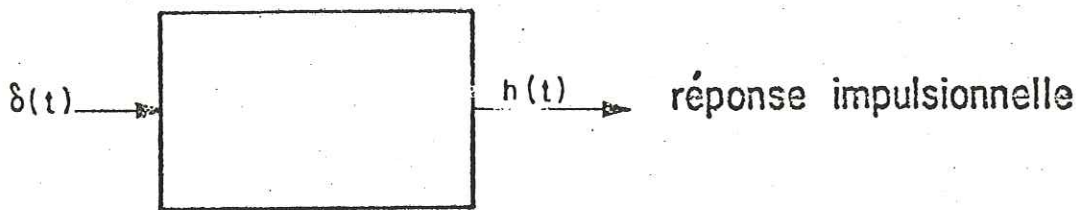
43. Exemples de vérification par convolution de la représentativité
44. du plus petit pas d'expérience A - B.
  
- 45.
46. Exemples d'extrapolation par la
47. méthode des fonctions de transfert.
  
48. Exemple d'ajustement au modèle Piston-Dispersion.
  
- 49.
50. Exemples d'extrapolation des D.T.S. par modèle
51. Piston-Dispersion.
  
52. Evolution du coefficient de dispersion longitudinale en fonction de la vitesse moyenne réelle.
  
53. Evolution des vitesses moyennes réelles en fonction de la vitesse de filtration.
  
54. Implantation des puits dans le modèle physique pour la mesure de porosité avec écoulement de la nappe.
  
55. Evolution dans l'espace des fonctions de répartition de la loi binomiale pour  $p = 0,5$
  
56. Comparaison entre les densités de probabilité calculées suivant
57. une loi binomiale et les concentrations relatives en traceur
58. observées sur une section perpendiculaire à l'écoulement en
59. aval du puits d'injection.
- 60.
- 61.
- 62.

63. Test de normalité (droite de Henry) de la dispersion transversale à différentes distances du puits d'injection.
64. Profils longitudinal et transversal dans la partie expérimentale.
65. Implantation des puits sur le site de BONNAUD
66. Schéma du circuit de recirculation.
67. Caractéristiques du matériau aquifère à différentes profondeurs.
68. Transferts comparés de l'iode pour des masses injectées
69. notablement différentes.
70. Comparaison des réponses impulsionnelles observées sur deux pas d'expérience distincts.
71. Vérification par convolution de la stationnarité de la réponse impulsionnelle observée sur le plus petit pas d'expérience B - C.
72. Courbes de restitution dans les pointes de pompage  $N_4, N_5, N_6$  de l'iode 131 injecté dans le puits B.
73. Réponses impulsionnelles déduites des courbes de restitution présentées à la figure 72.
74. Restitution dans le puits D des différentes substances injectées dans le puits C distant de 13 mètres.
75. Situation des essais sur l'aire des captages de la ville de GRENOBLE.

76. Evolution des concentrations en iode dans les eaux du puits PR4
77. Evolution des concentrations en iode dans les eaux du puits PR2
78. Evolution des concentrations en iode dans les eaux de puits PR1
79. Situation des essais sur les aires des captages des villes de MONTIGNY et METZ SUD.
80. Evolution des concentrations en iode dans le puits 23.
81. Evolution des concentrations en iode dans le puits 5.

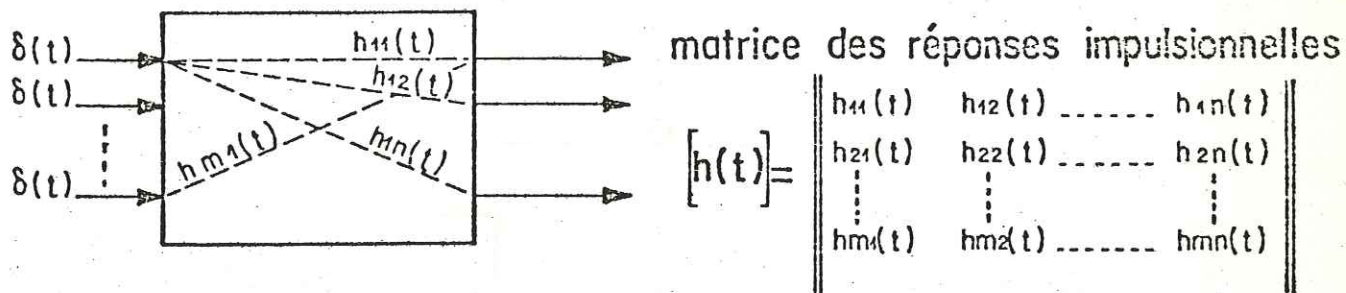


## SYSTEMES SCALAIRES



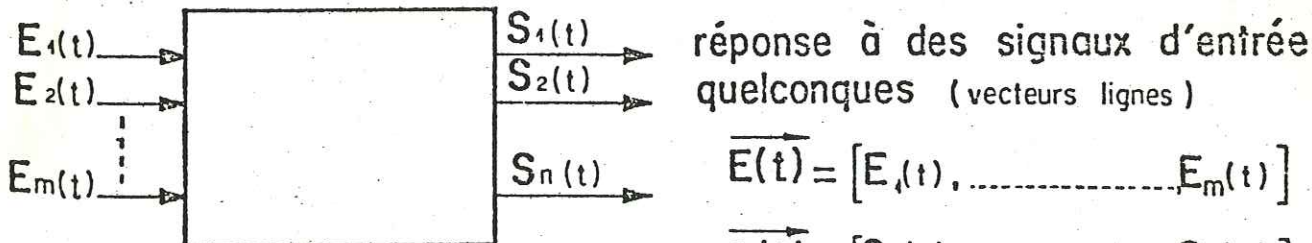
$$S(t) = E(t) * h(t)$$

## SYSTEMES VECTORIELS



matrice des réponses impulsionnelles

$$[h(t)] = \begin{bmatrix} h_{11}(t) & h_{12}(t) & \dots & h_{1n}(t) \\ h_{21}(t) & h_{22}(t) & \dots & h_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1}(t) & h_{m2}(t) & \dots & h_{mn}(t) \end{bmatrix}$$



réponse à des signaux d'entrée quelconques (vecteurs lignes)

$$\vec{E}(t) = [E_1(t), \dots, E_m(t)]$$

$$\vec{S}(t) = [S_1(t), \dots, S_n(t)]$$

$$\vec{S}(t) = \vec{E}(t) * [h(t)]$$

REPONSE DES SYSTEMES LINEAIRES INVARIANTS

tel-00783336; version 1 - Feb 2013

Ecoulement de traceur

Ecoulement étudié

SYSTEME

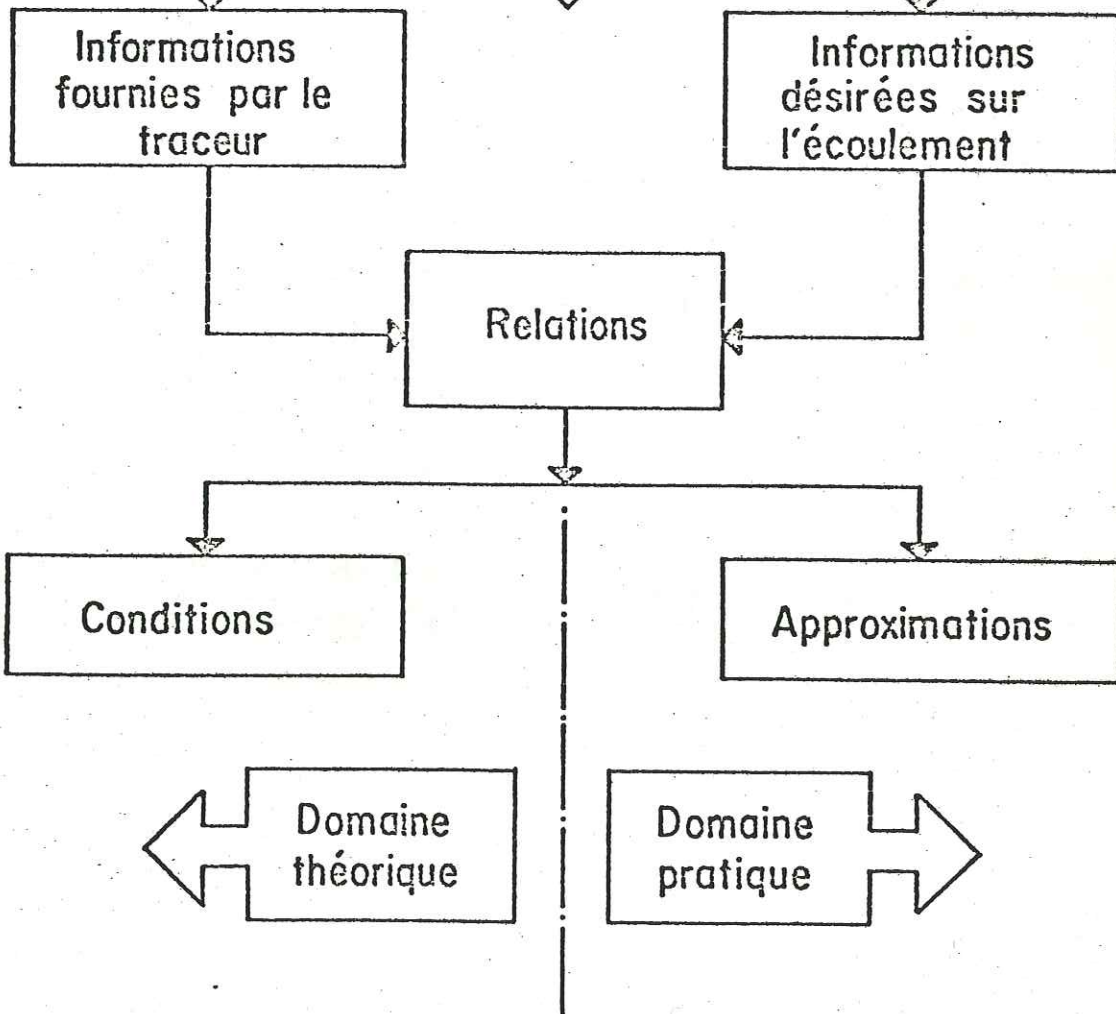
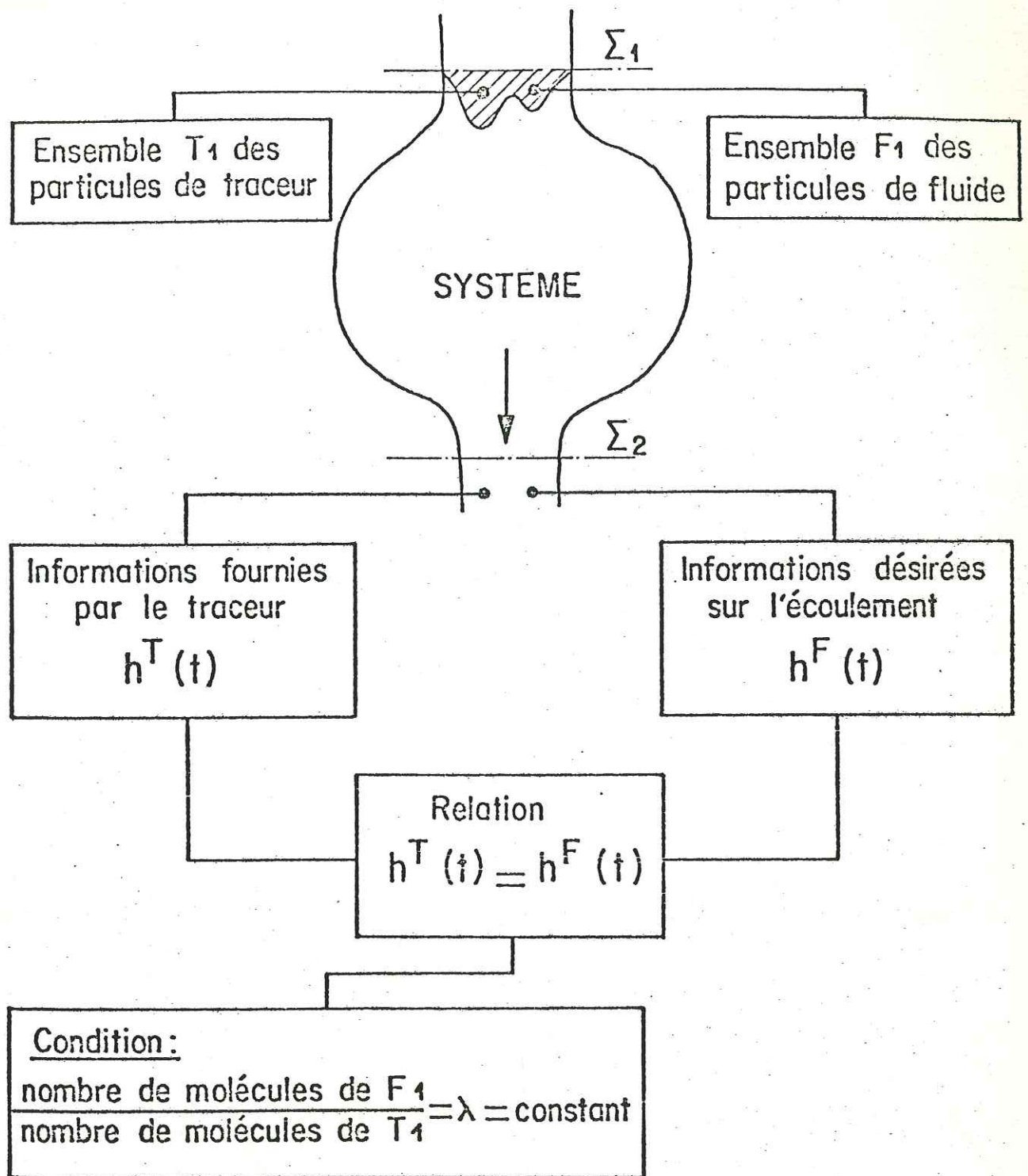


ILLUSTRATION DE LA METHODE DES TRACEURS POUR L'ETUDE DES ECOULEMENTS DE MATIERE DANS LES SYSTEMES

Figure 2

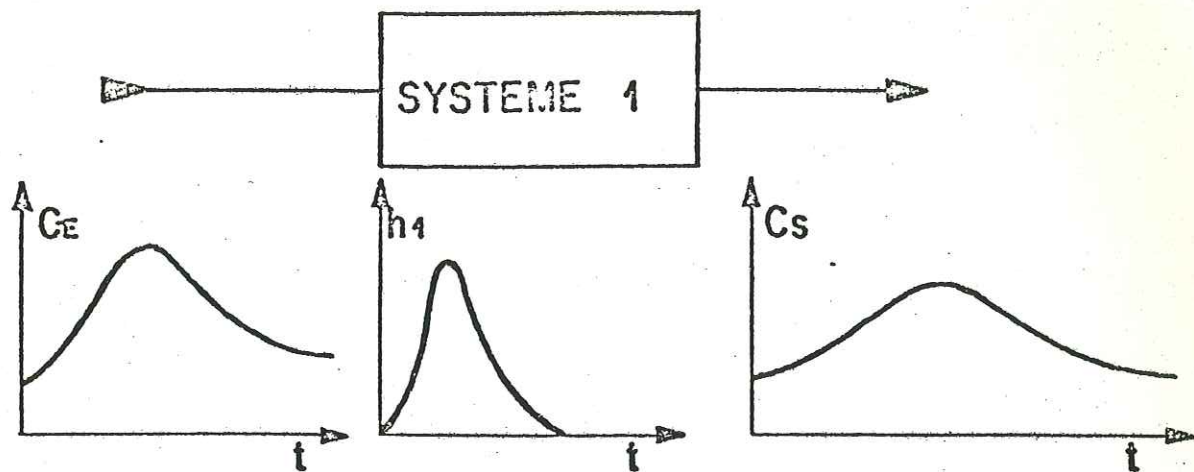
tel=00783596; version 1 11 Feb 2013



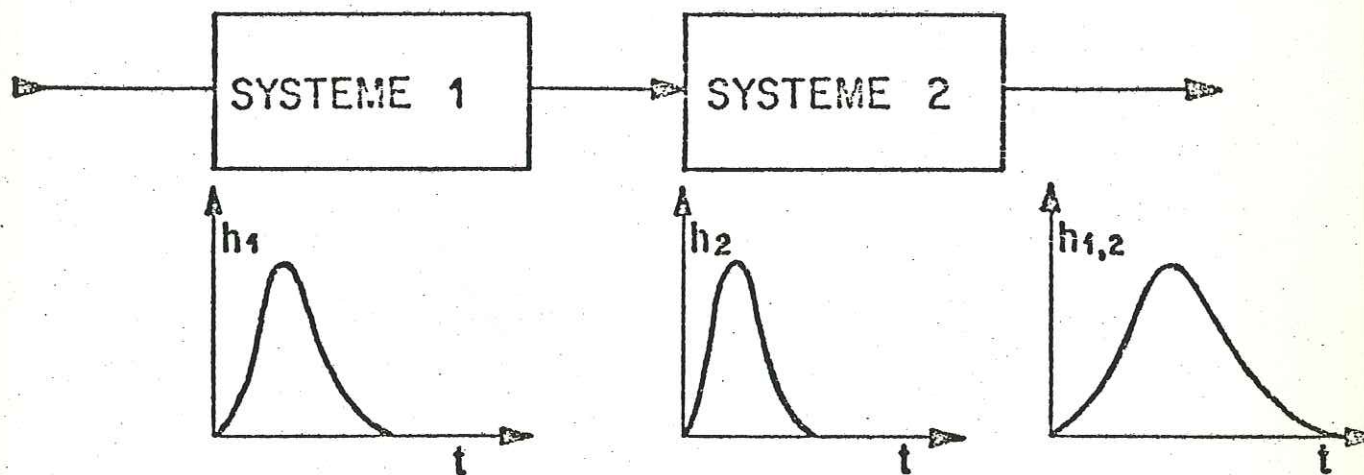
DETERMINATION DE LA DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR  
A L'AIDE D'UN TRACEUR

Figure 3

tel:00783396; version 1 - 1 Feb 2013

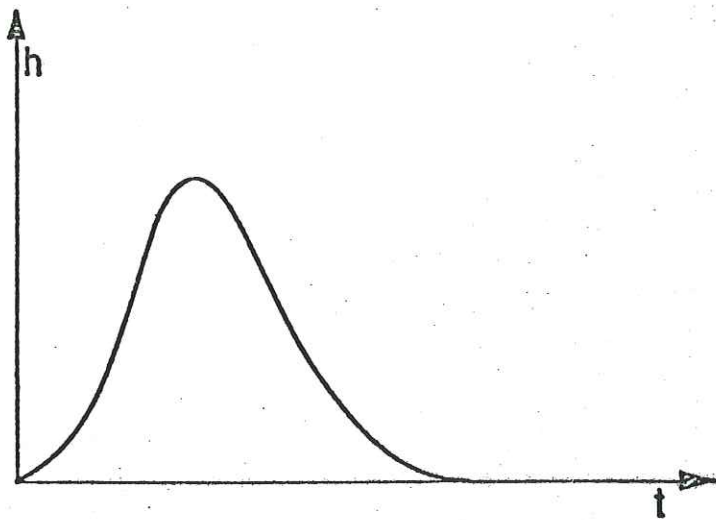


DETERMINATION PAR DECONVOLUTION DE LA D.T.S. D'UN SYSTEME A PARTIR D'UNE INJECTION DE TRACEUR DE FORME ET DE NATURE QUELCONQUES

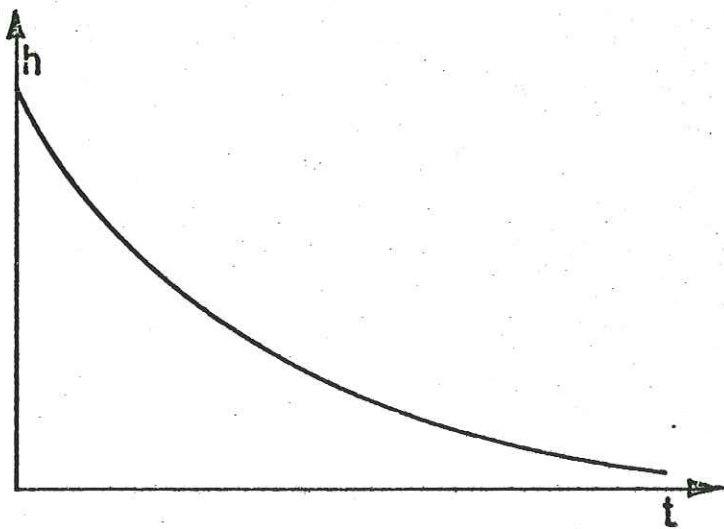


DETERMINATION PAR CONVOLUTION DE LA D.T.S GLOBALE DE SYSTEMES EN SERIE DONT ON CONNAIT LES D.T.S. ELEMENTAIRES.

TECHNIQUES D'OBTENTION DE LA D.T.S. D'UN SYSTEME



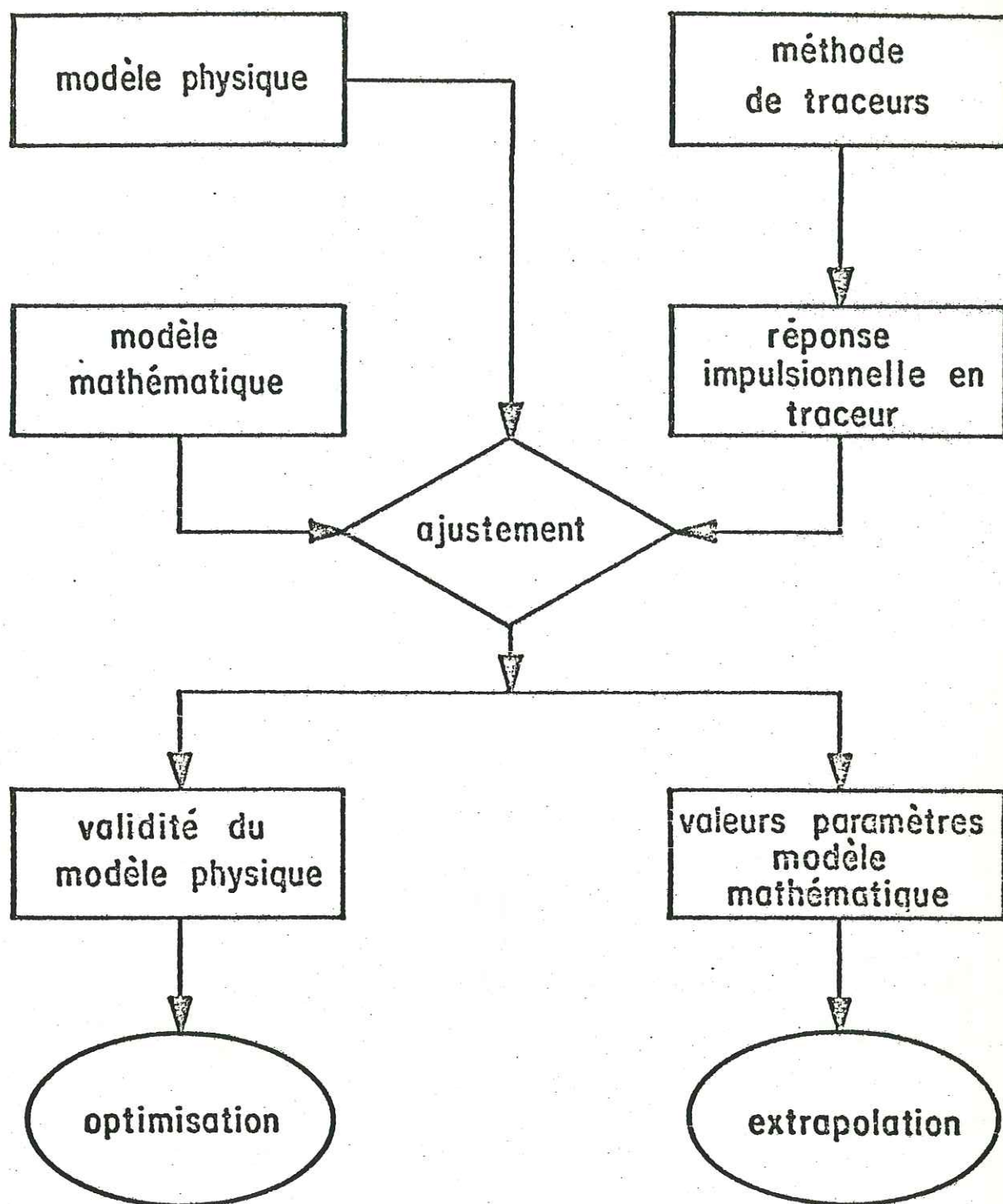
D.T.S. DE SYSTEMES DISPERSIFS



D.T.S. DE SYSTEMES PARFAITEMENT AGITES

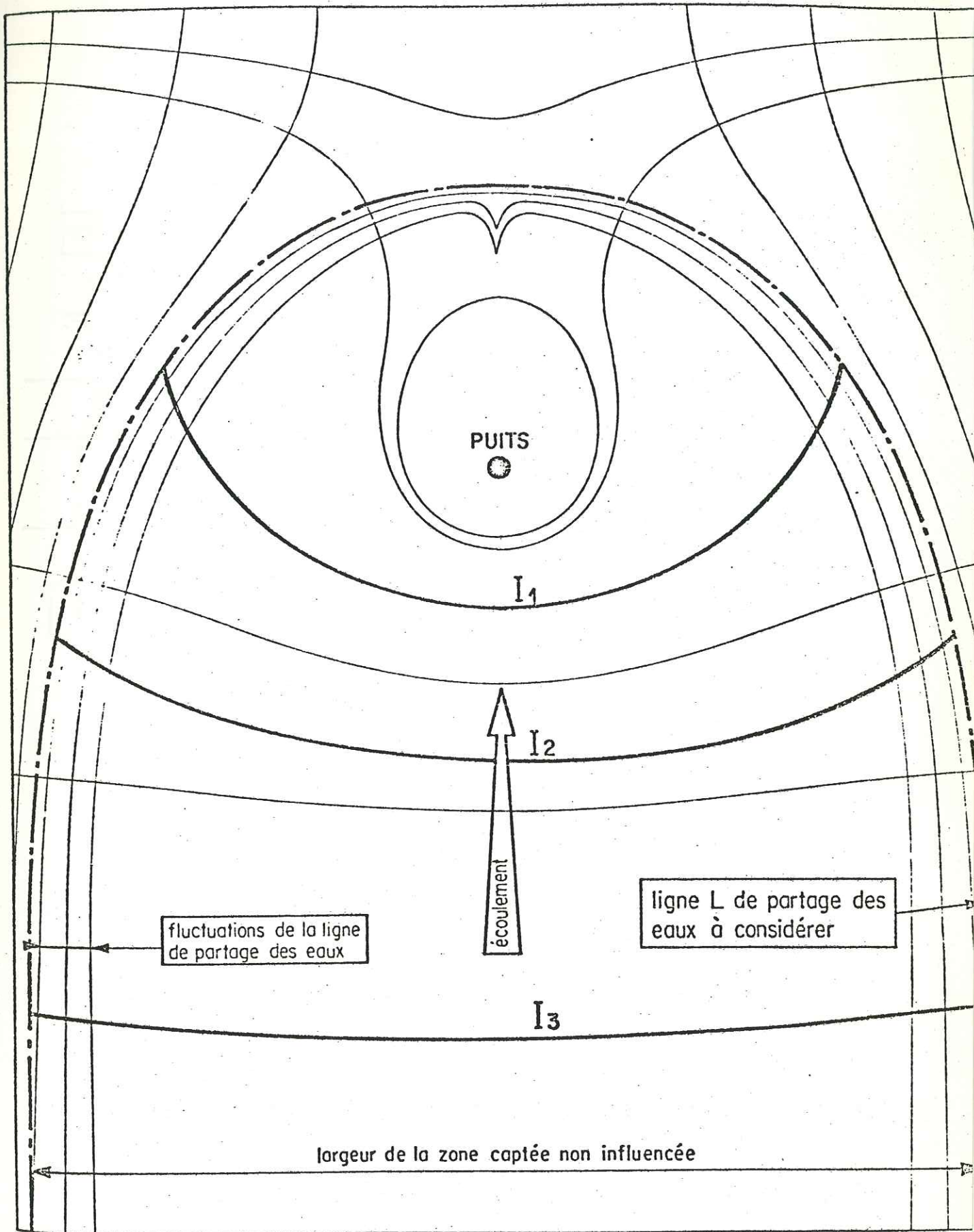
FORMES DES D.T.S. DE DIFFERENTS SYSTEMES

tel-00783336, version 1 - 1 Feb 2013



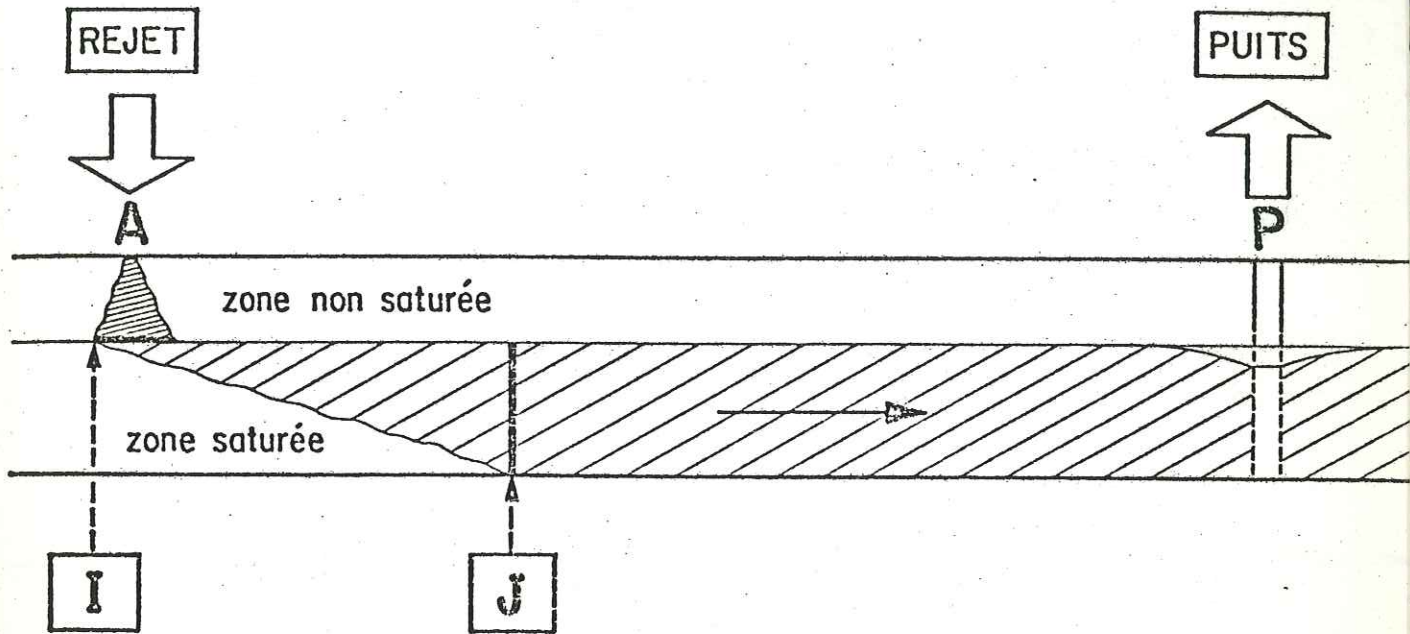
EXPLOITATION DES DISTRIBUTIONS DES TEMPS DE SEJOUR

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013



DELIMITATION DES PERIMETRES DE PROTECTION

Figure 7

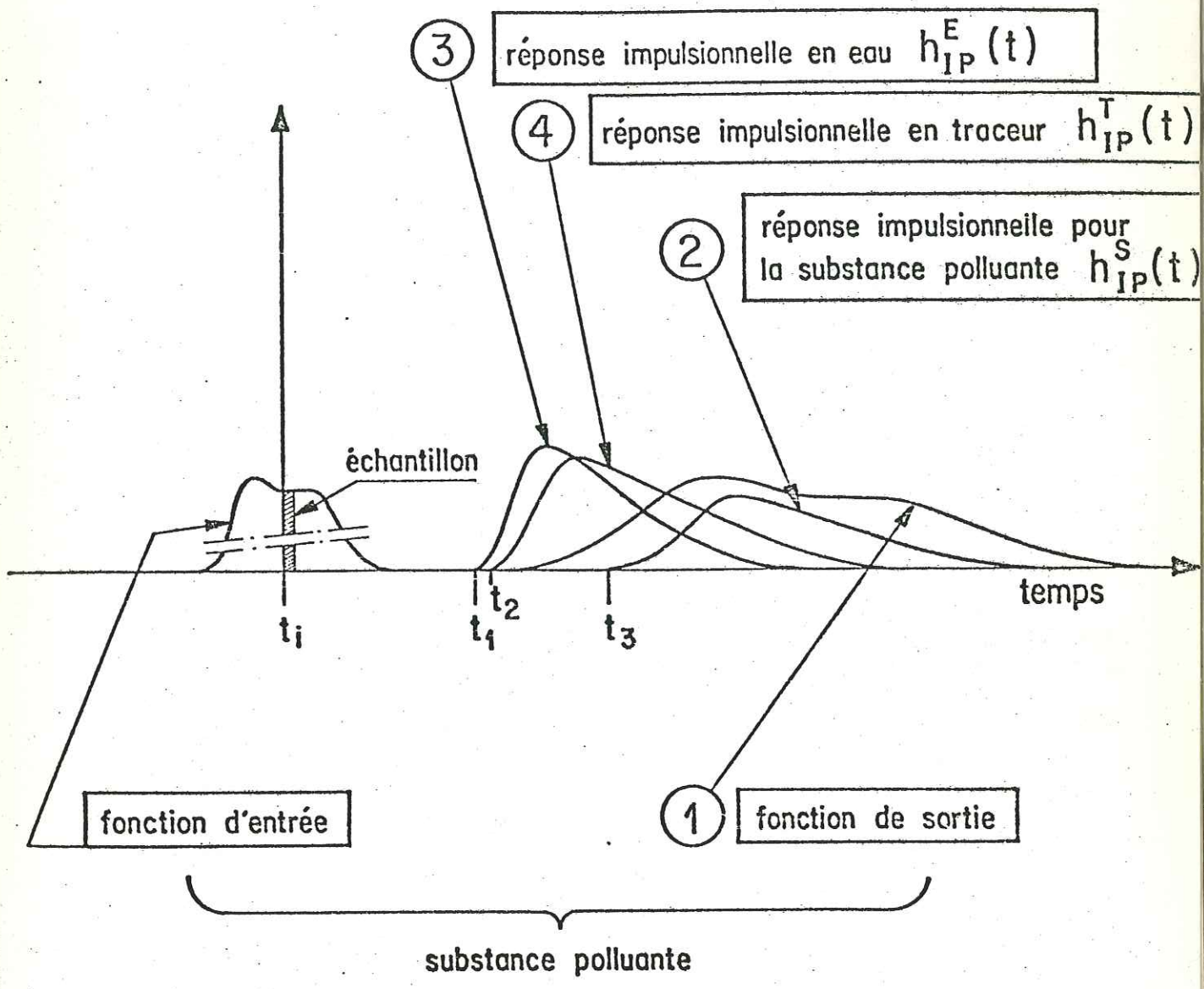


ZONES INTERESSEES PAR LE TRANSFERT D'UNE SUBSTANCE POLLUANTE ENTRE UN POINT DE REJET A LA SURFACE DU SOL ET UN PUIITS DE CAPTAGE.

Figure 8

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013

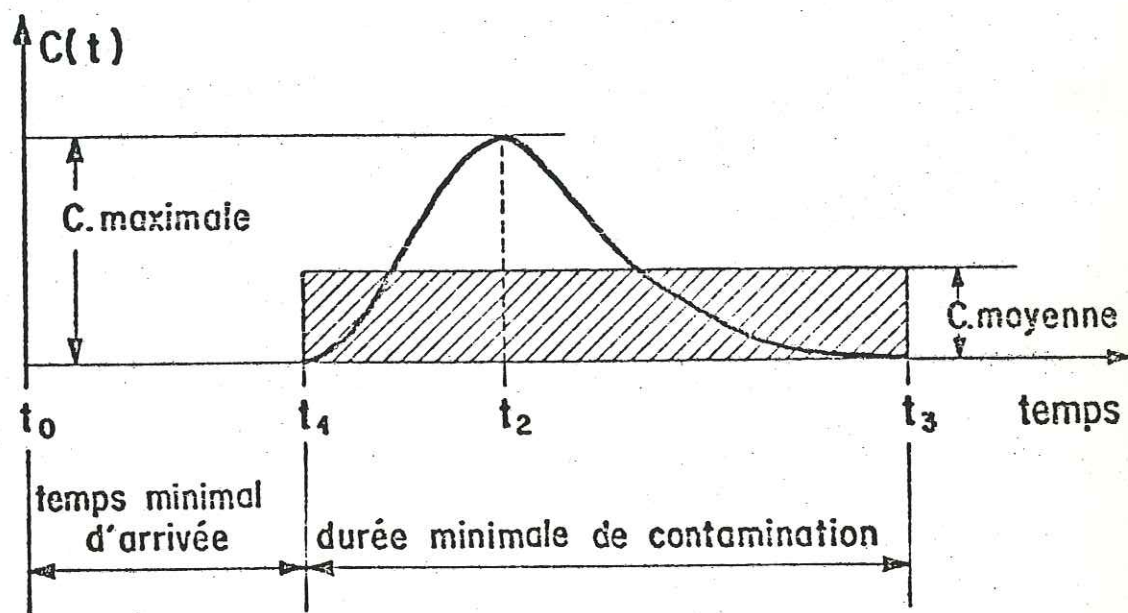




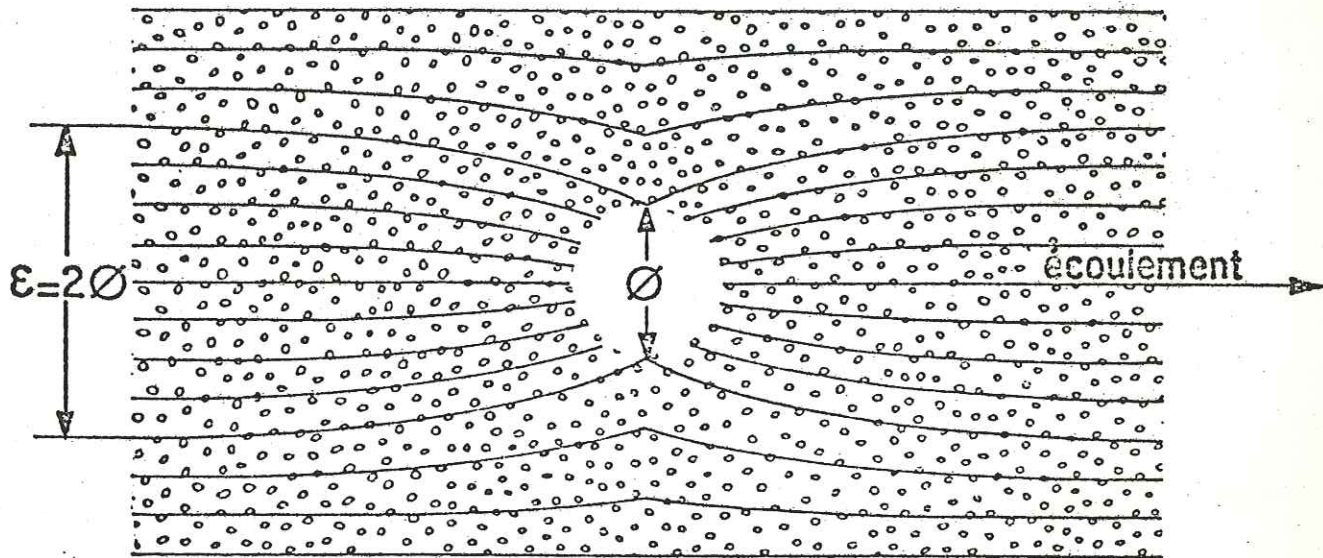
DIFFERENTS TYPES DE REPONSES OBSERVEES DANS LE PUIS P

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013

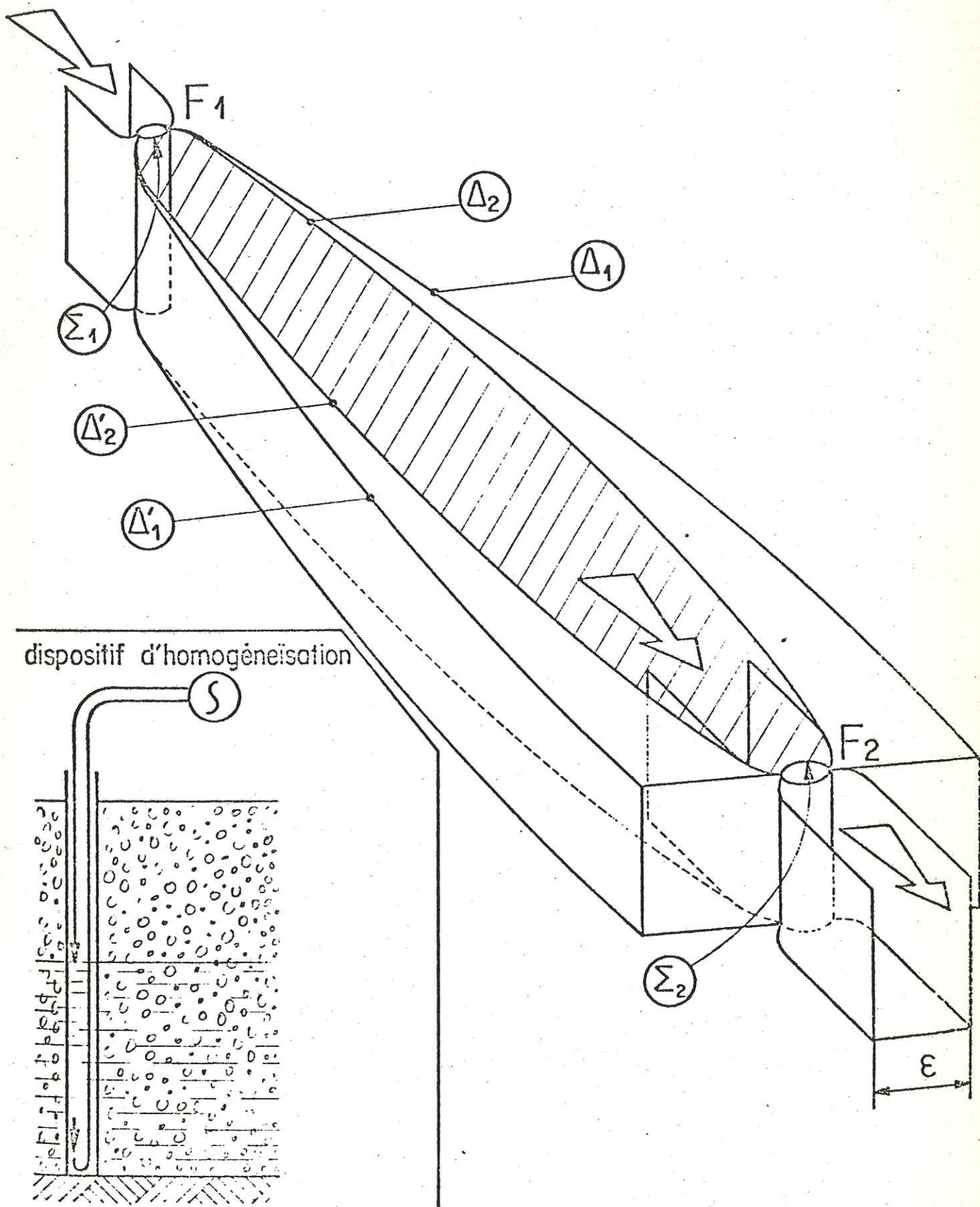
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



INFORMATIONS FOURNIES PAR LA REPONSE IMPULSIONNELLE  
EN TRACEUR

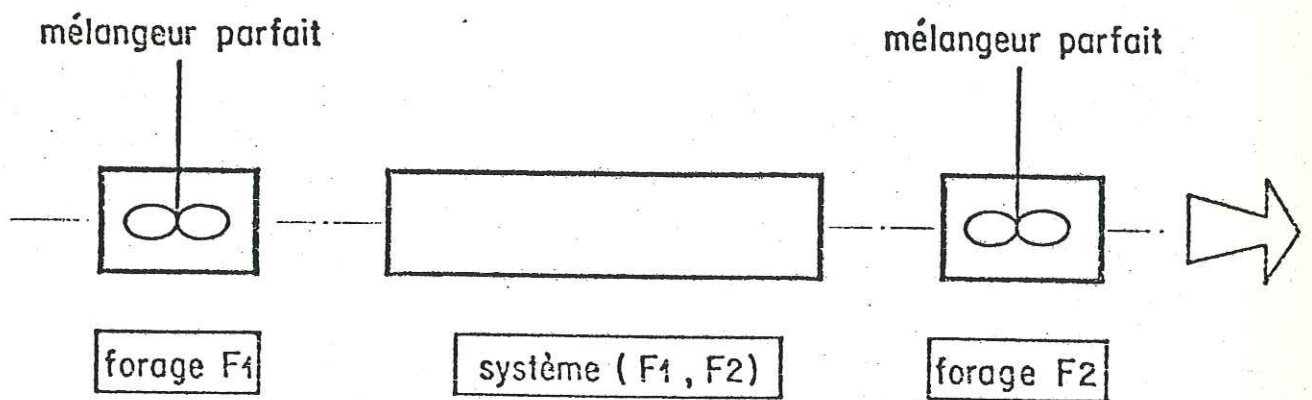


DEVIATION DES LIGNES DE COURANT PAR UN FORAGE  
SANS TUBAGE EN L'ABSCENCE DE POMPAGE



TRANSFERT ENTRE DEUX FORAGES

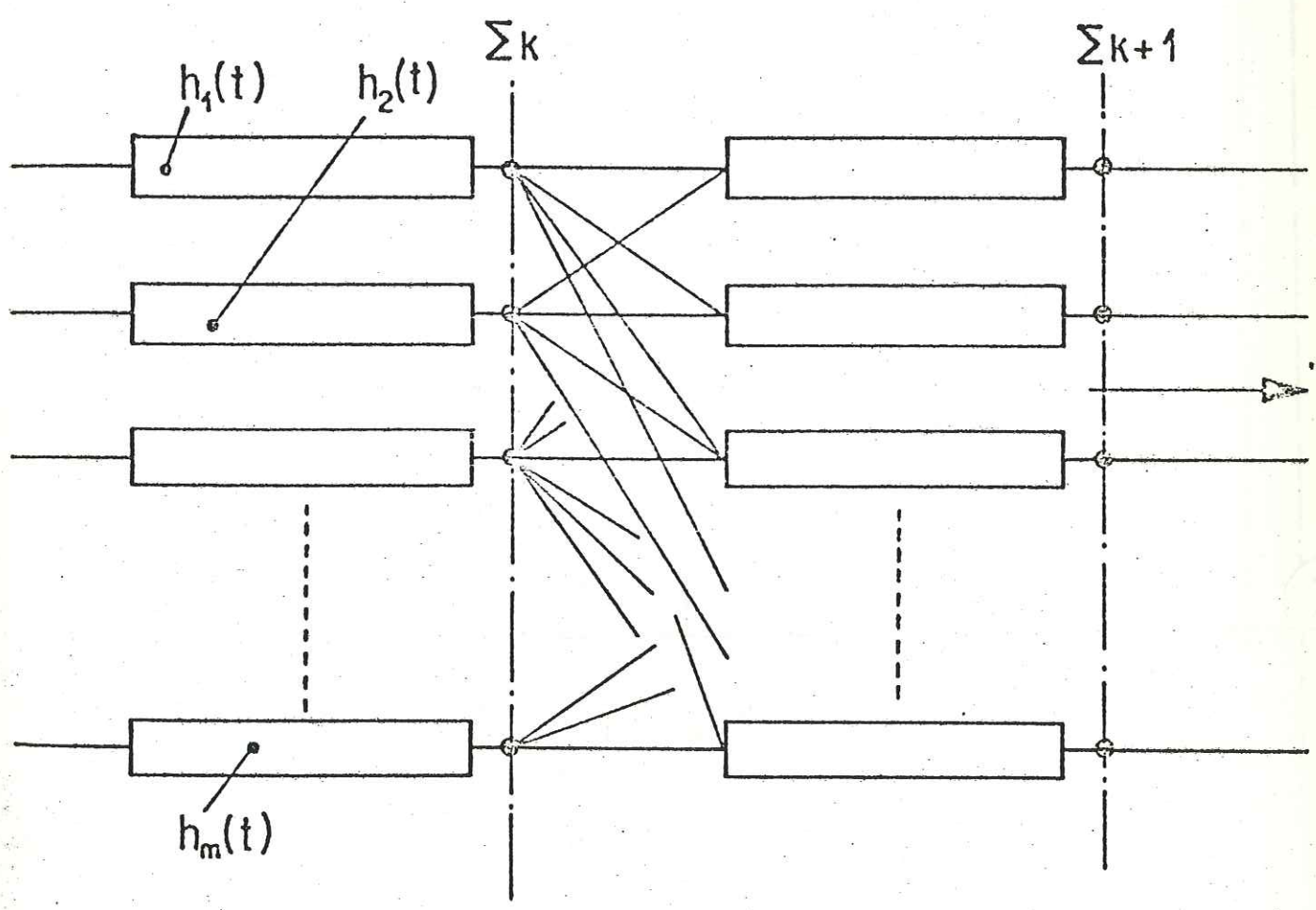
Figure 12



MODELE DE L'ECOULEMENT RELATIF A LA FIGURE 12

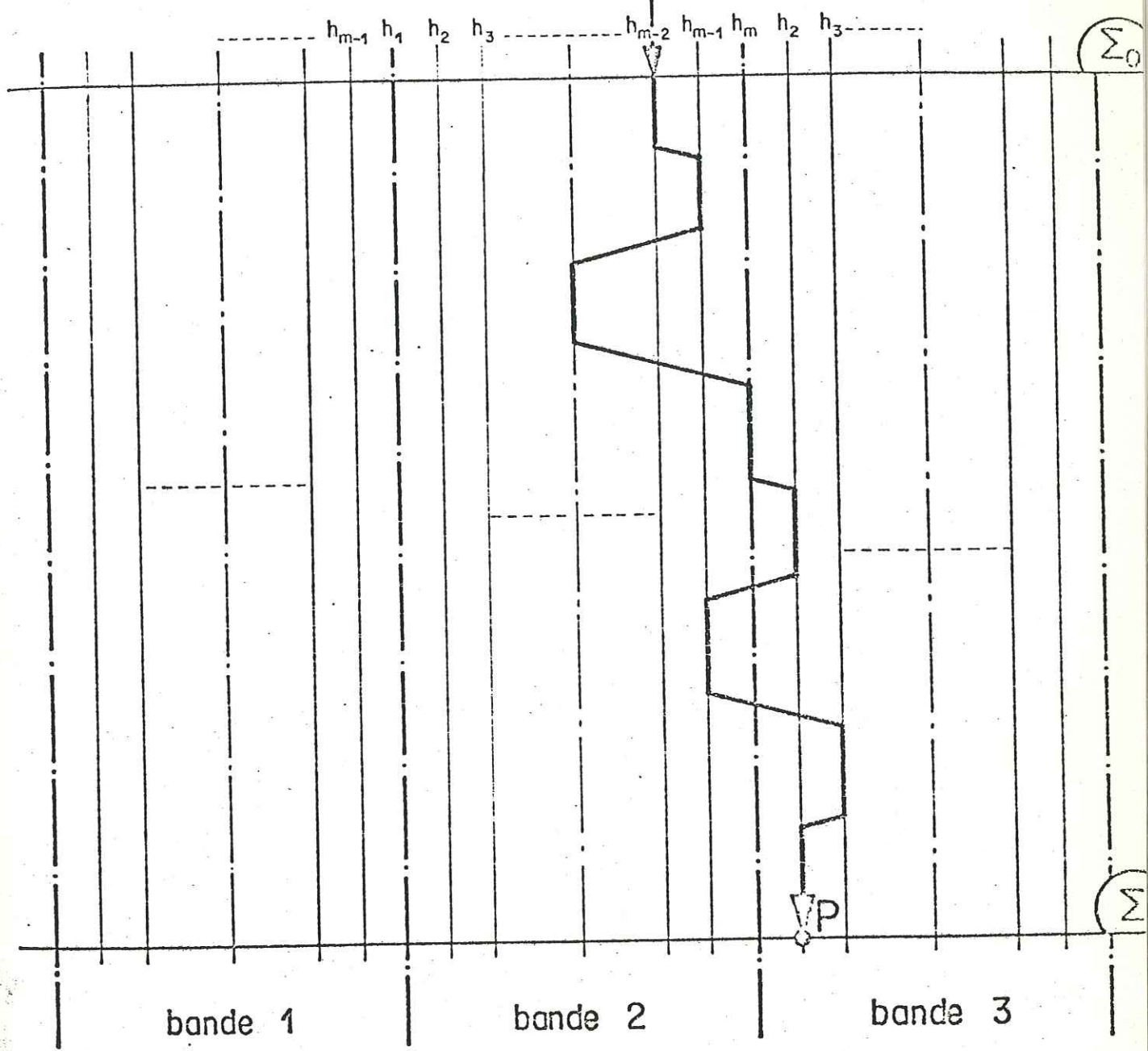
tel:00783556, version 1 1 Feb 2013

tel=00783396,-version 1 - 1 Feb 2013



MODELE D'ASSEMBLAGE DES SYSTEMES ELEMENTAIRES

Position initiale  
de la molécule

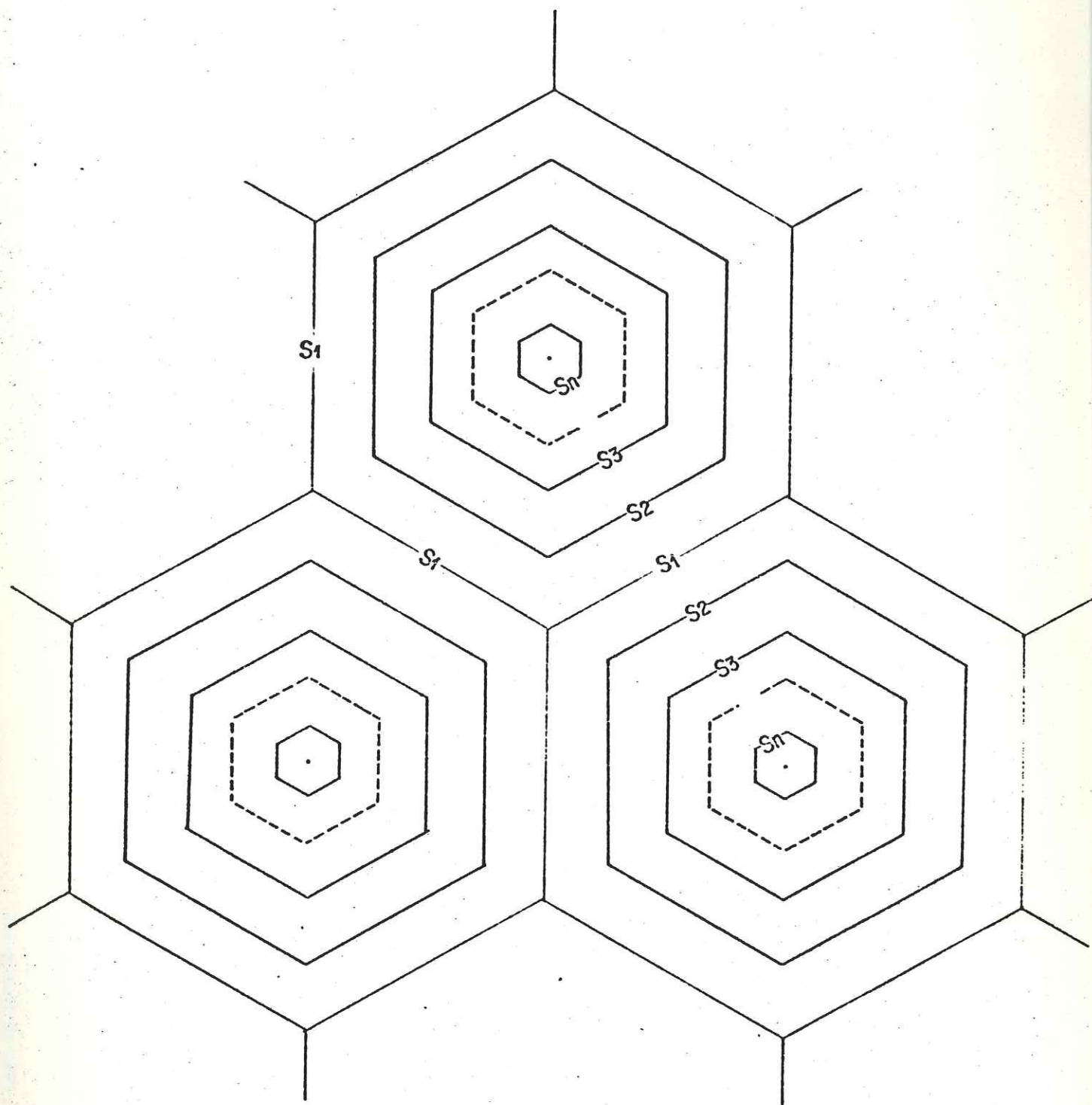


MODELE D'ÉCOULEMENT BIDIMENSIONNEL

( dans un plan suivant la direction principale de l'écoulement )

Figure 15

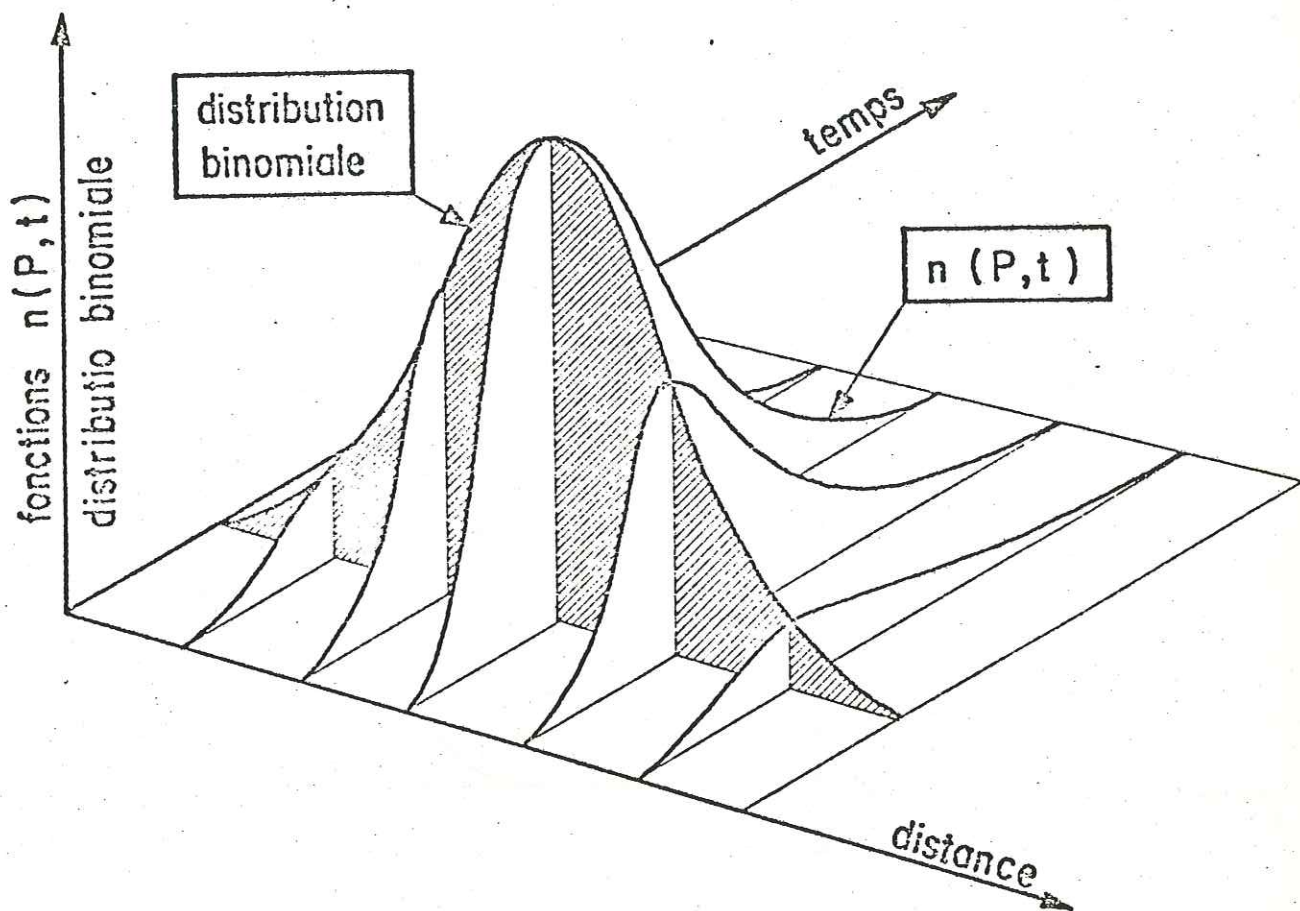
$S_i$  = base des cylindres sur lesquels se déplacent les particules de fluide



EXEMPLE DE MODELE D'ÉCOULEMENT TRIDIMENSIONNEL  
(dans un plan perpendiculaire à la direction principale de l'écoulement)

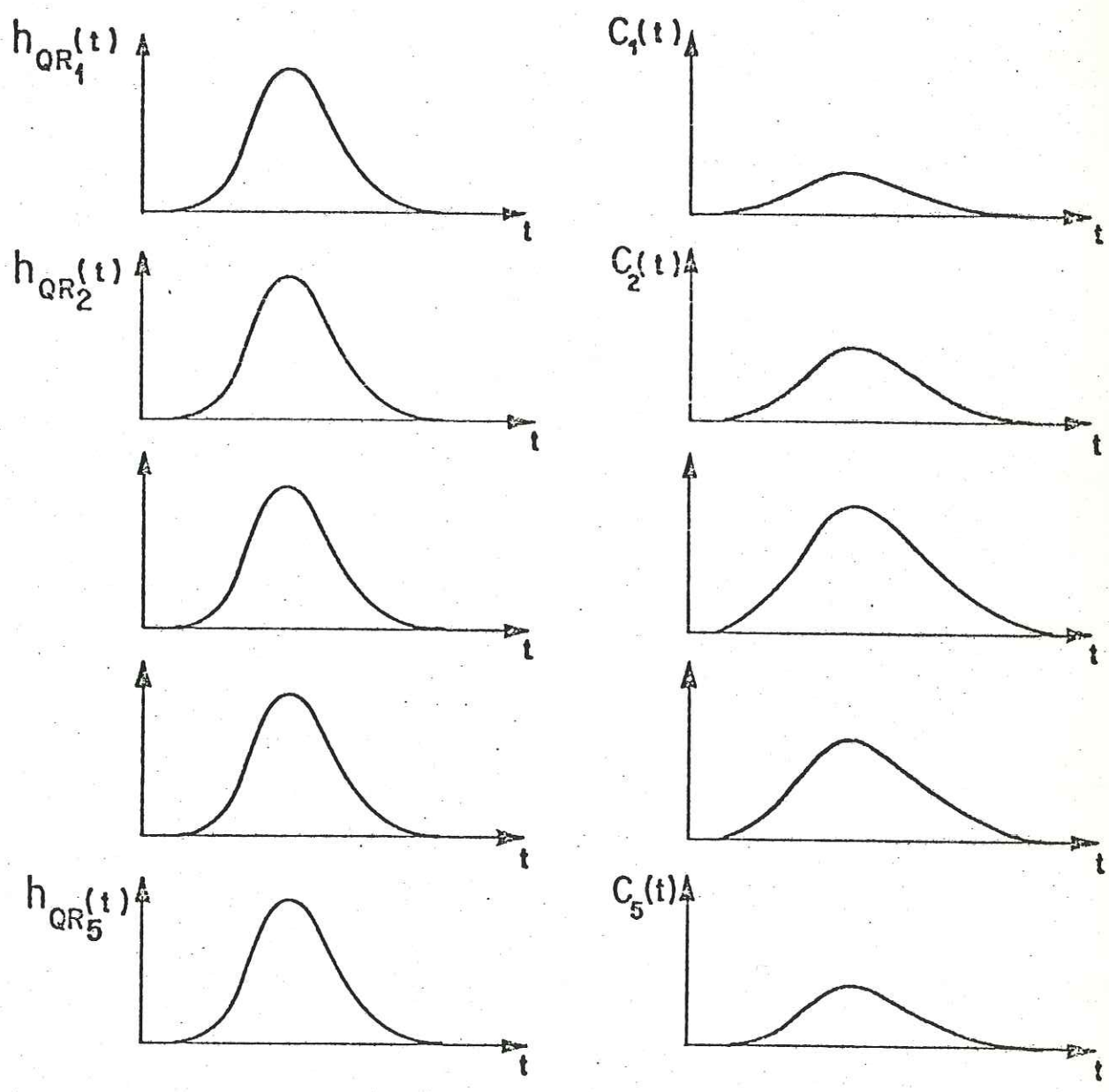
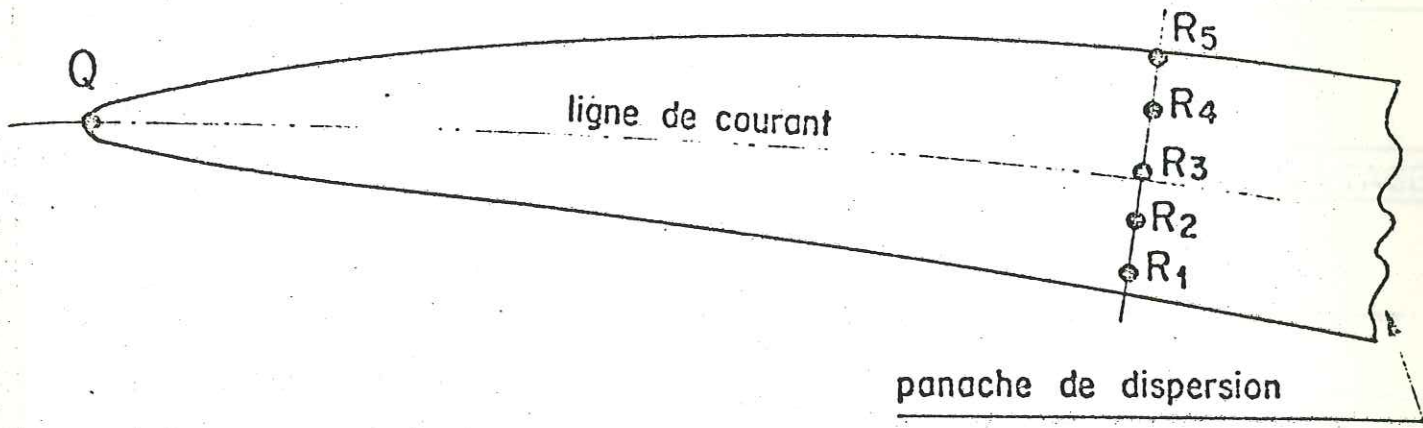
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013





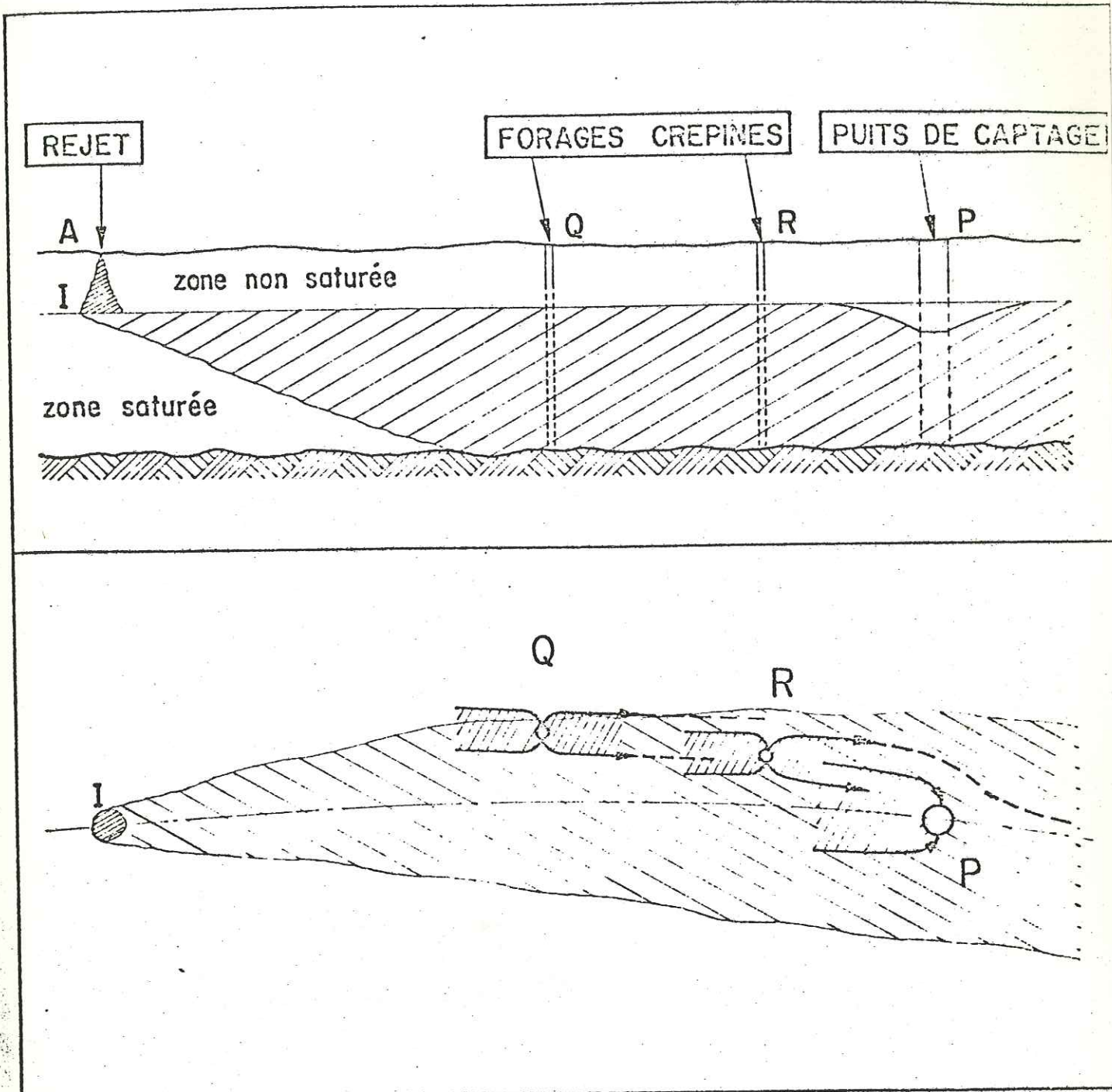
ISOCHRONISME ET ISOMORPHISME DES FONCTIONS  $n(P,t)$

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



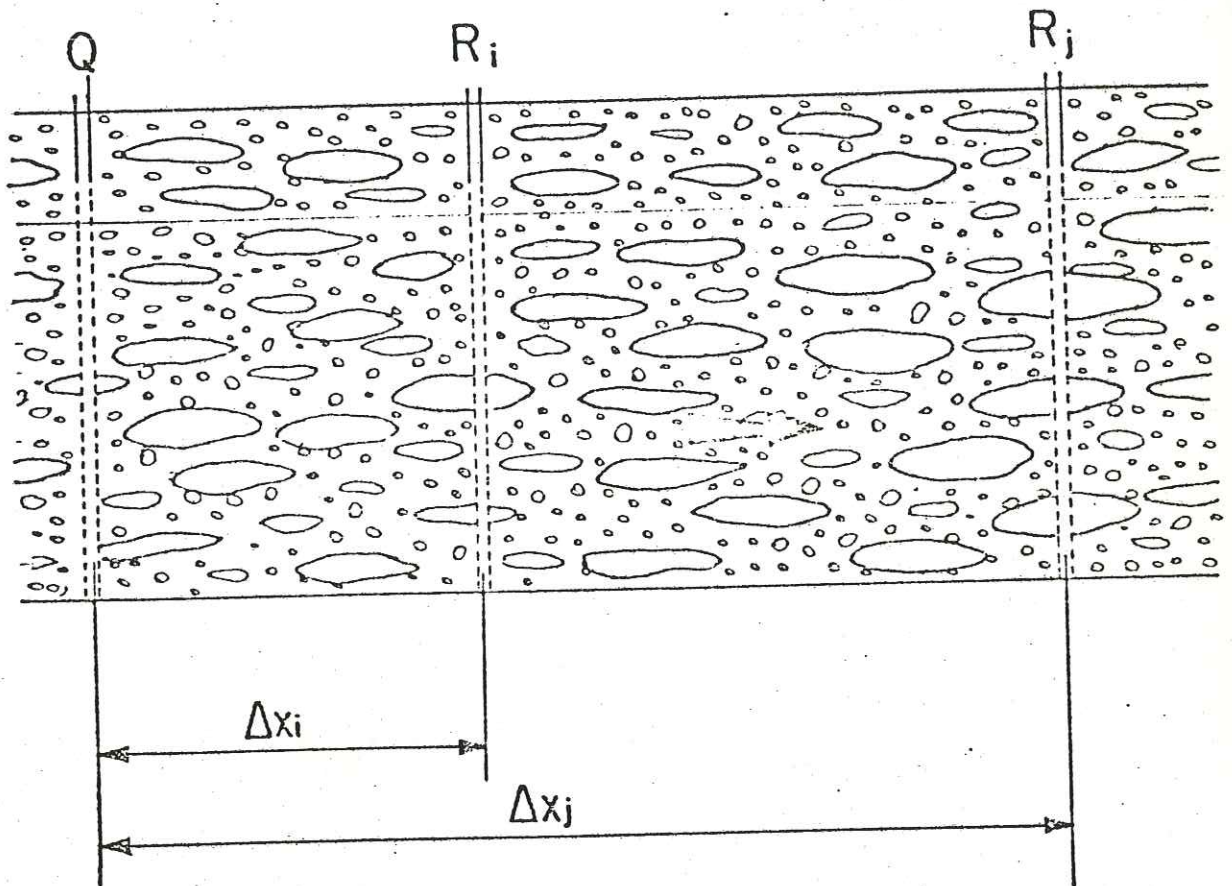
IDENTITE DES REPONSES IMPULSIONNELLES ET ISOMORPHISME DES FONCTIONS  $C_i(t)$

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013

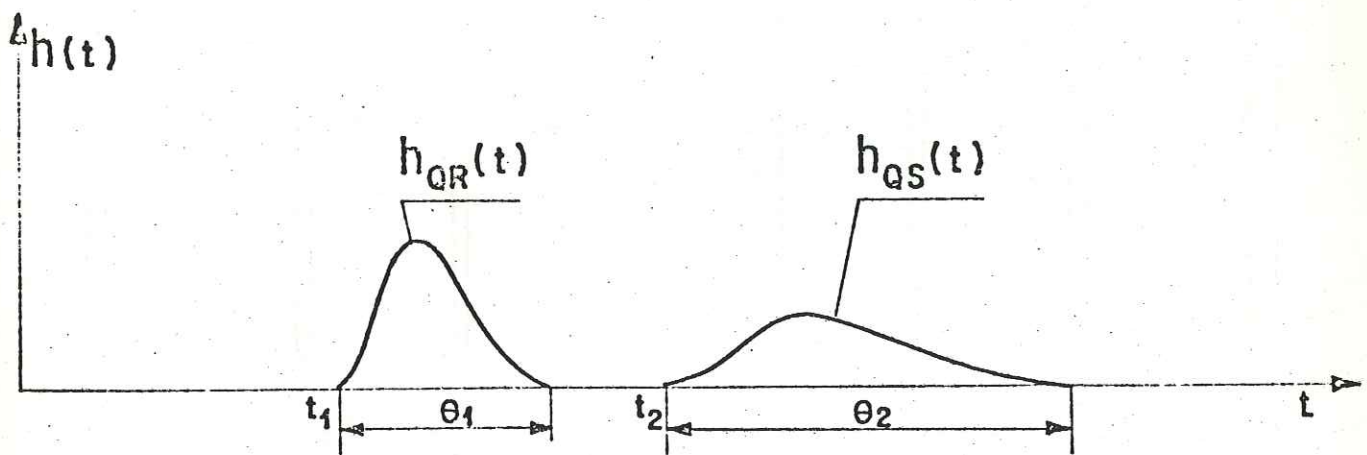
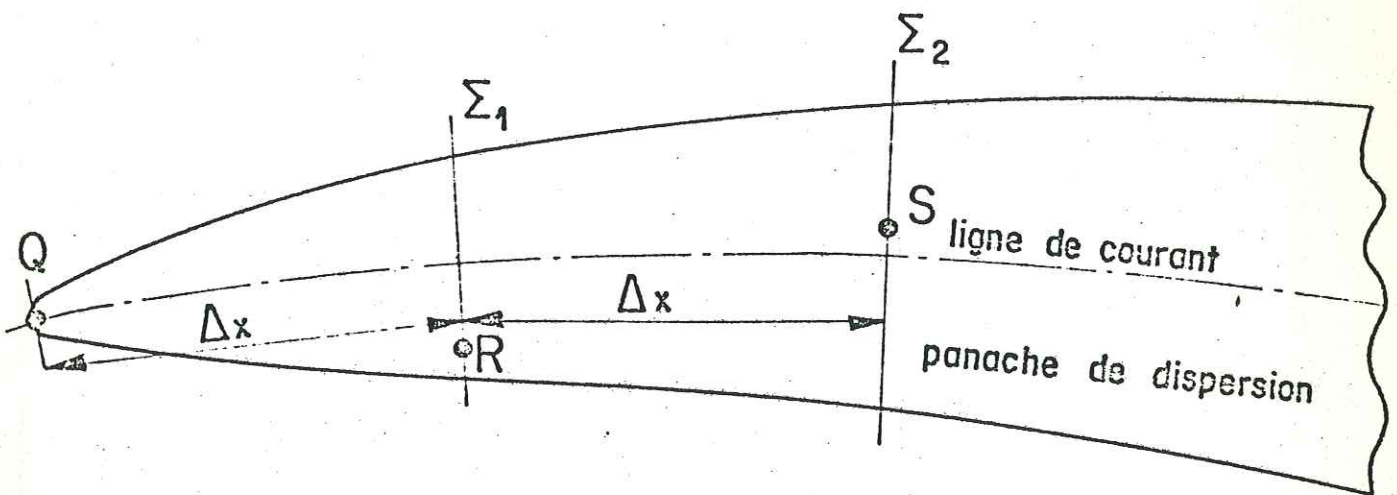


SCHEMA DE DISPERSION D'UNE SUBSTANCE POLLUANTE APRES REJET A LA SURFACE DU SOL

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



NOTION D'HOMOGENEITE EN GRAND

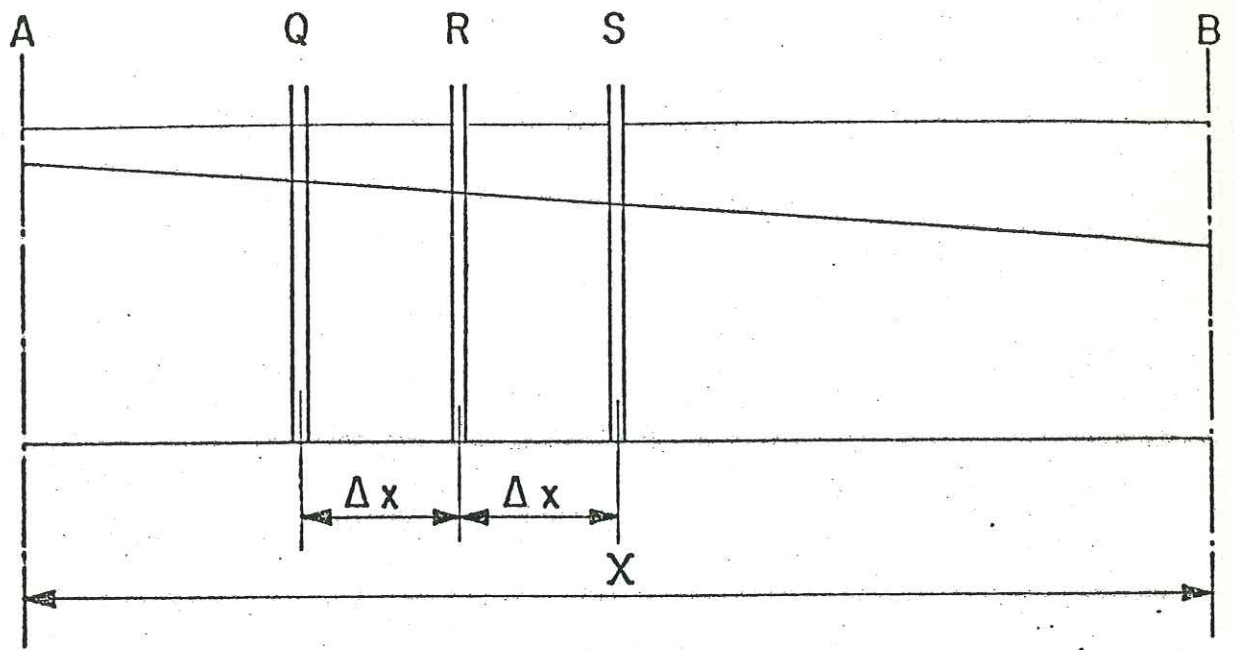


$$h_{n\Delta x}(t) = h_{\Delta x}(t) * n$$

VERIFICATION DE LA STATIONNARITE DE  $h(t)$  DANS L'ESPACE

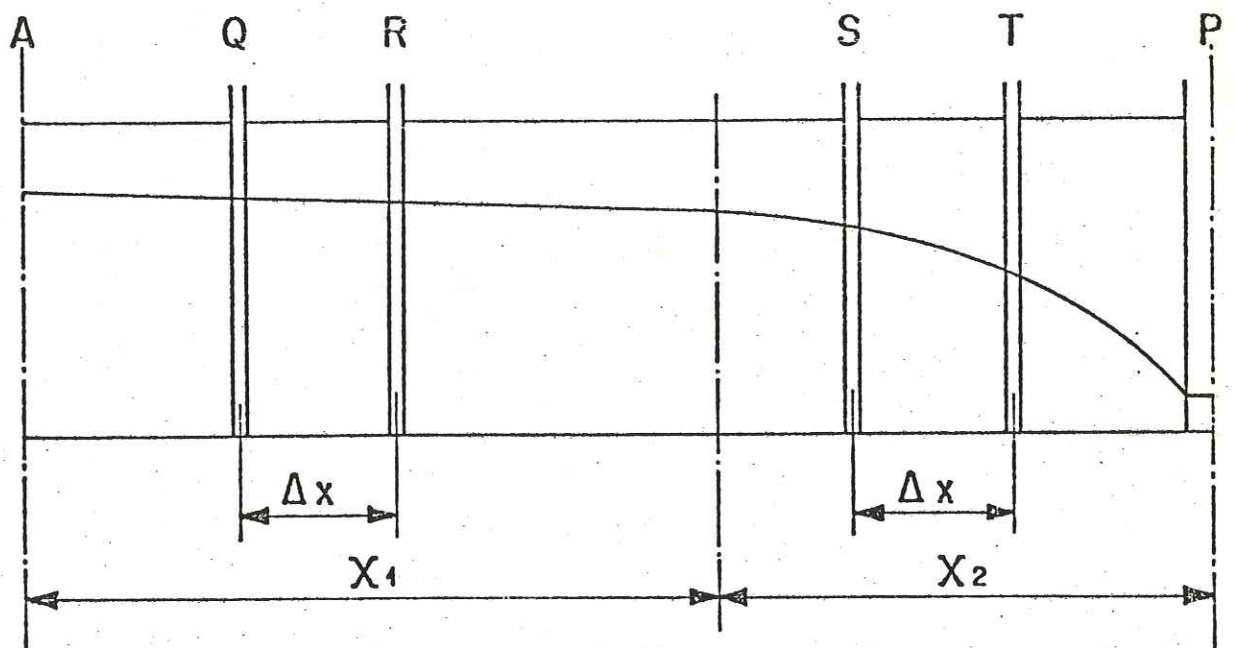
Figure 21

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



gradient hydraulique constant dans tout l'espace

a

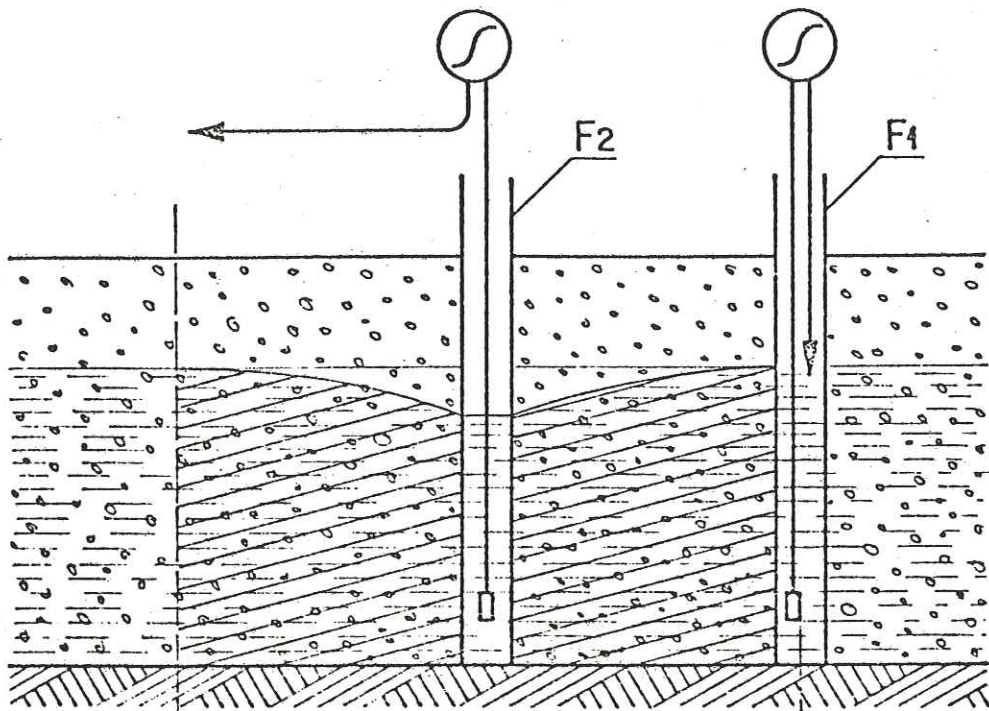


gradient hydraulique variable dans une partie de l'espace

b

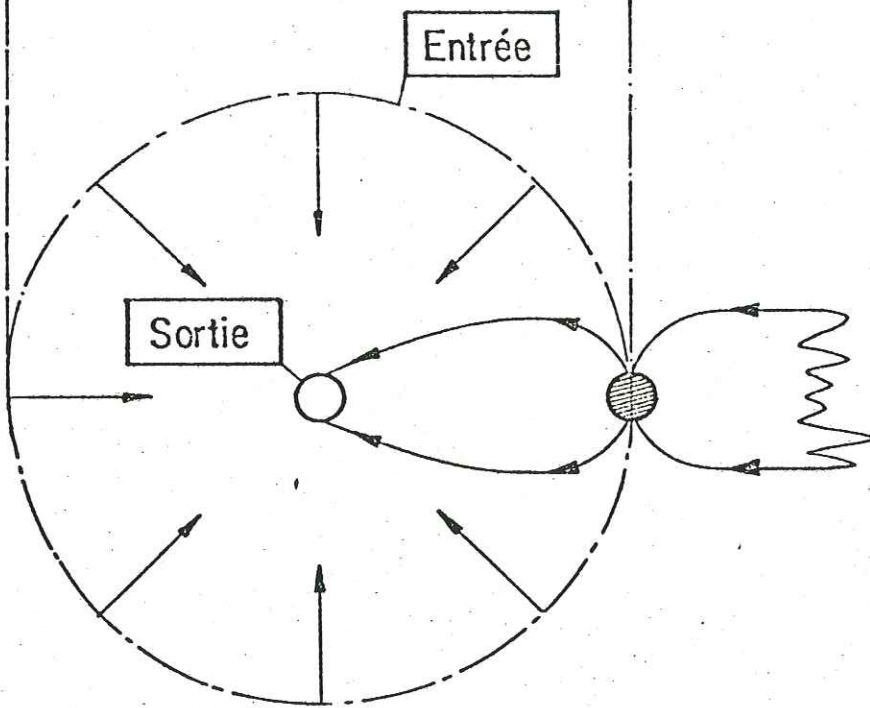
ILLUSTRATION DES DIFFERENTES CONDITIONS D'ECOULEMENT

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



$$P_c = \frac{V_c}{V_t}$$

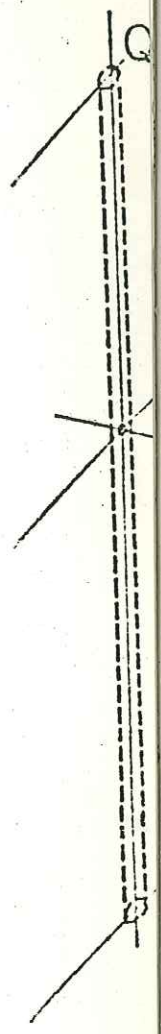
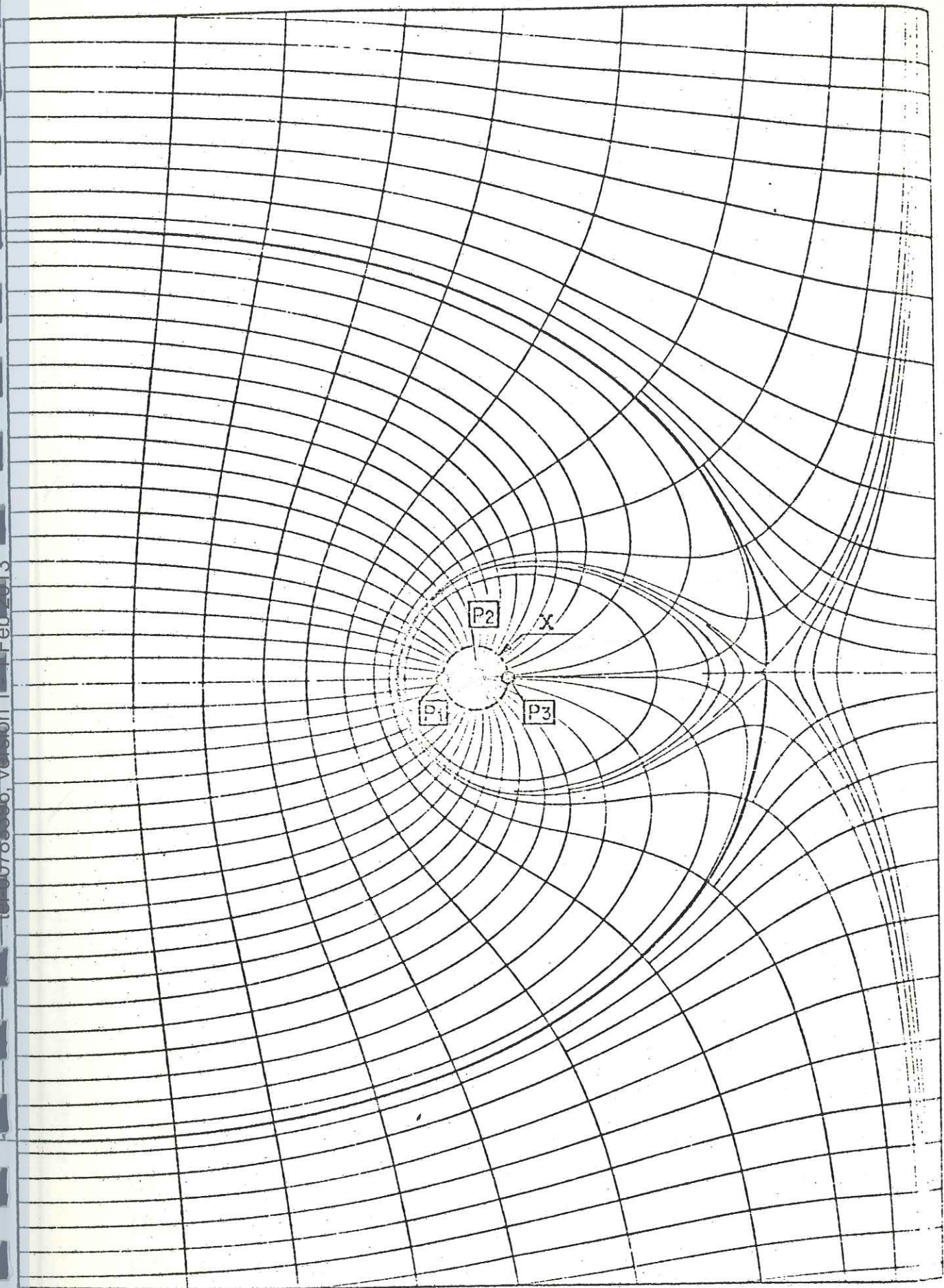
$$Q = \frac{V}{t}$$



DETERMINATION PAR TRACEUR DE LA POROSITE CINEMATIQUE

tel:00783396, version 1.1 Feb 2013

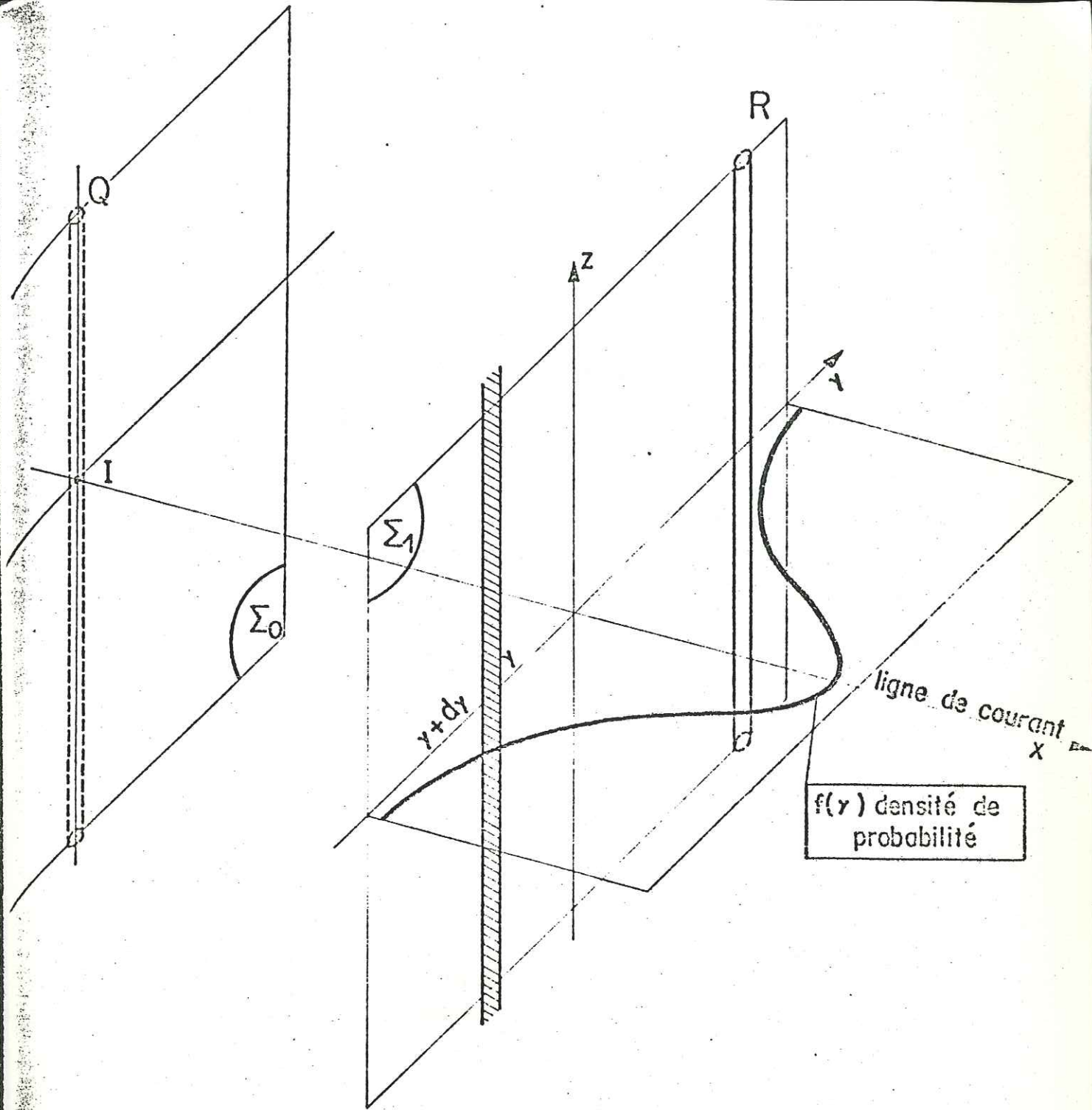
tel: 0078 3396, version 1, Feb 2013



DISPOSITION DES PUIITS POUR LA MESURE DE POROSITE CINEMAT. AVEC ECOULEMENT DE LA NAPPE

Figure

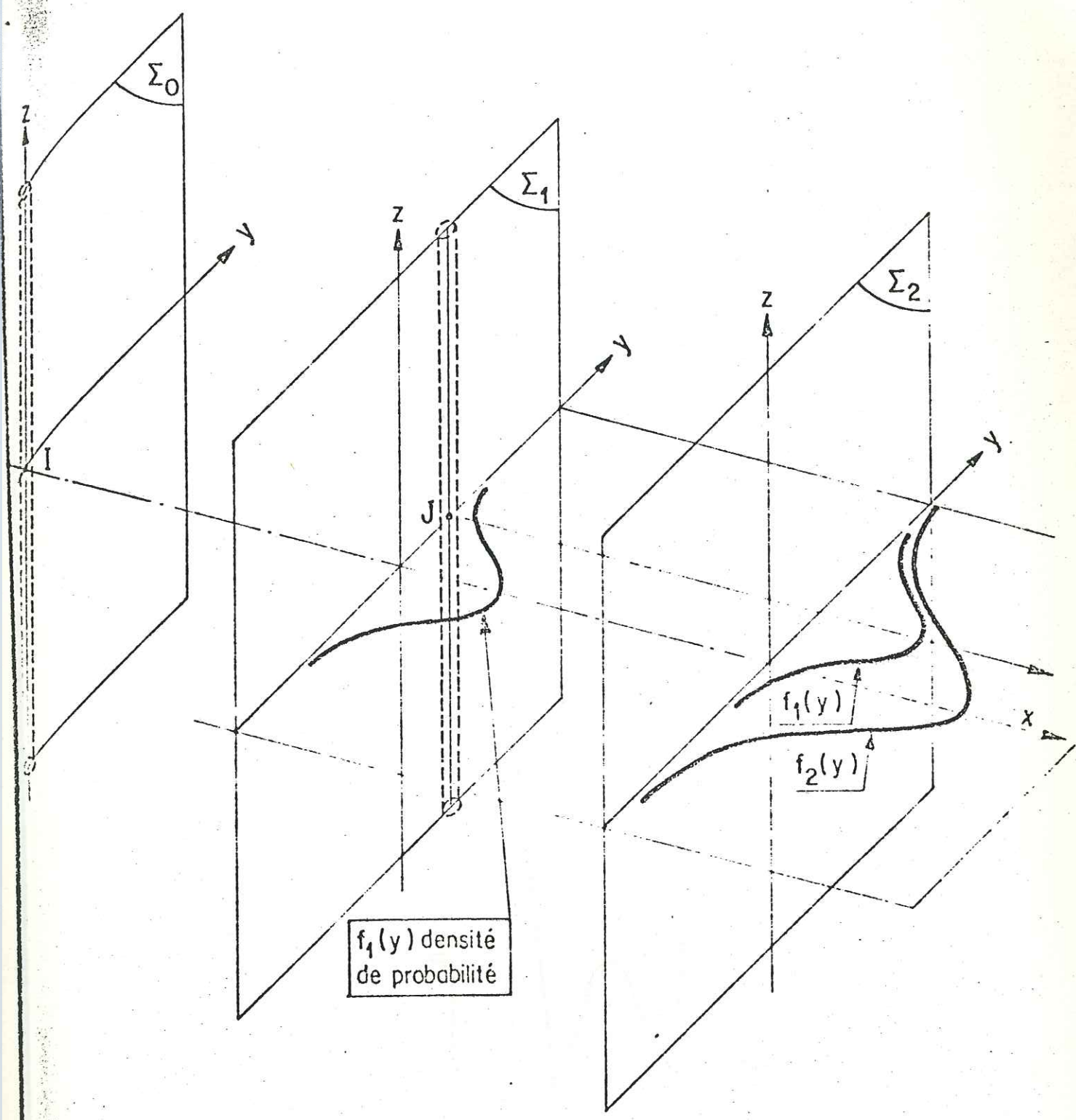




DEFINITION DE LA DENSITE DE PROBABILITE POUR UNE MOLECULE D'EAU ISSUÉ DE I DE TRAVERSER UN PLAN PERPENDICULAIRE AUX LIGNES DE COURANT

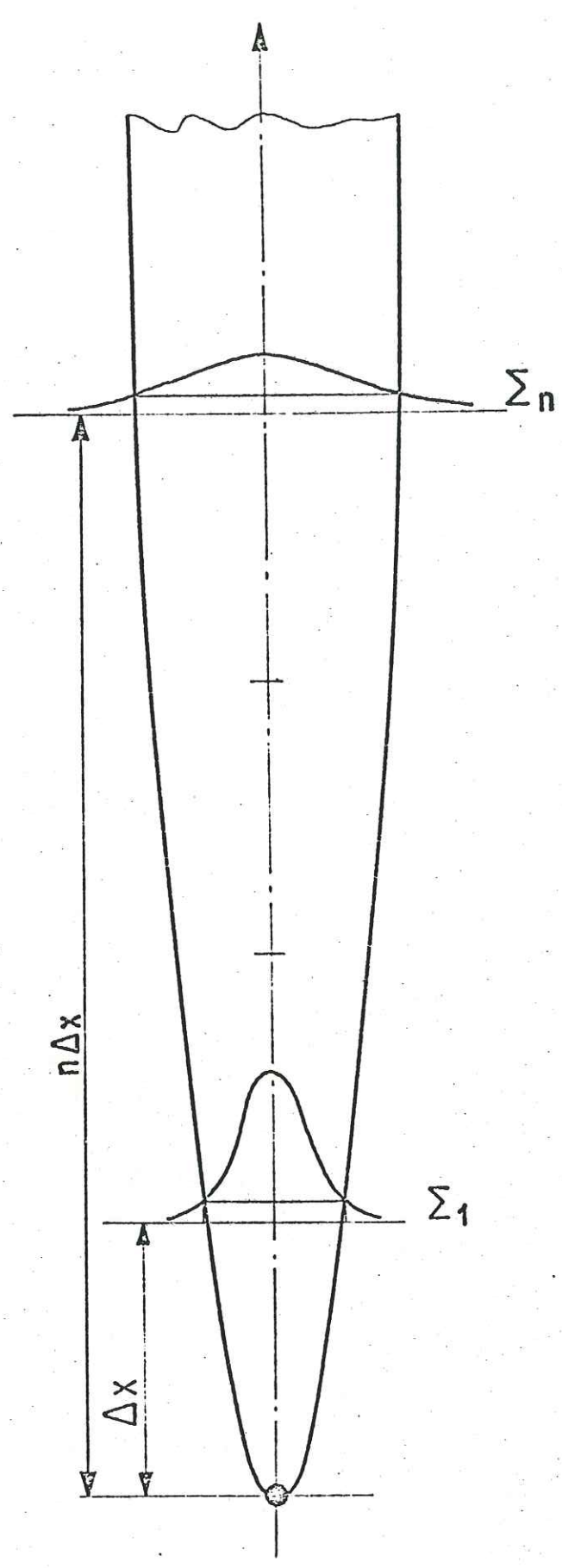
Figure 25

tel=00783396, version 1\_1 Feb 2013



VARIATION DANS L'ESPACE DE LA DENSITE DE PROBABILITE  
DECRIVANT LA DISPERSION TRANSVERSALE

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



FORME DU PANACHE DE DISPERSION

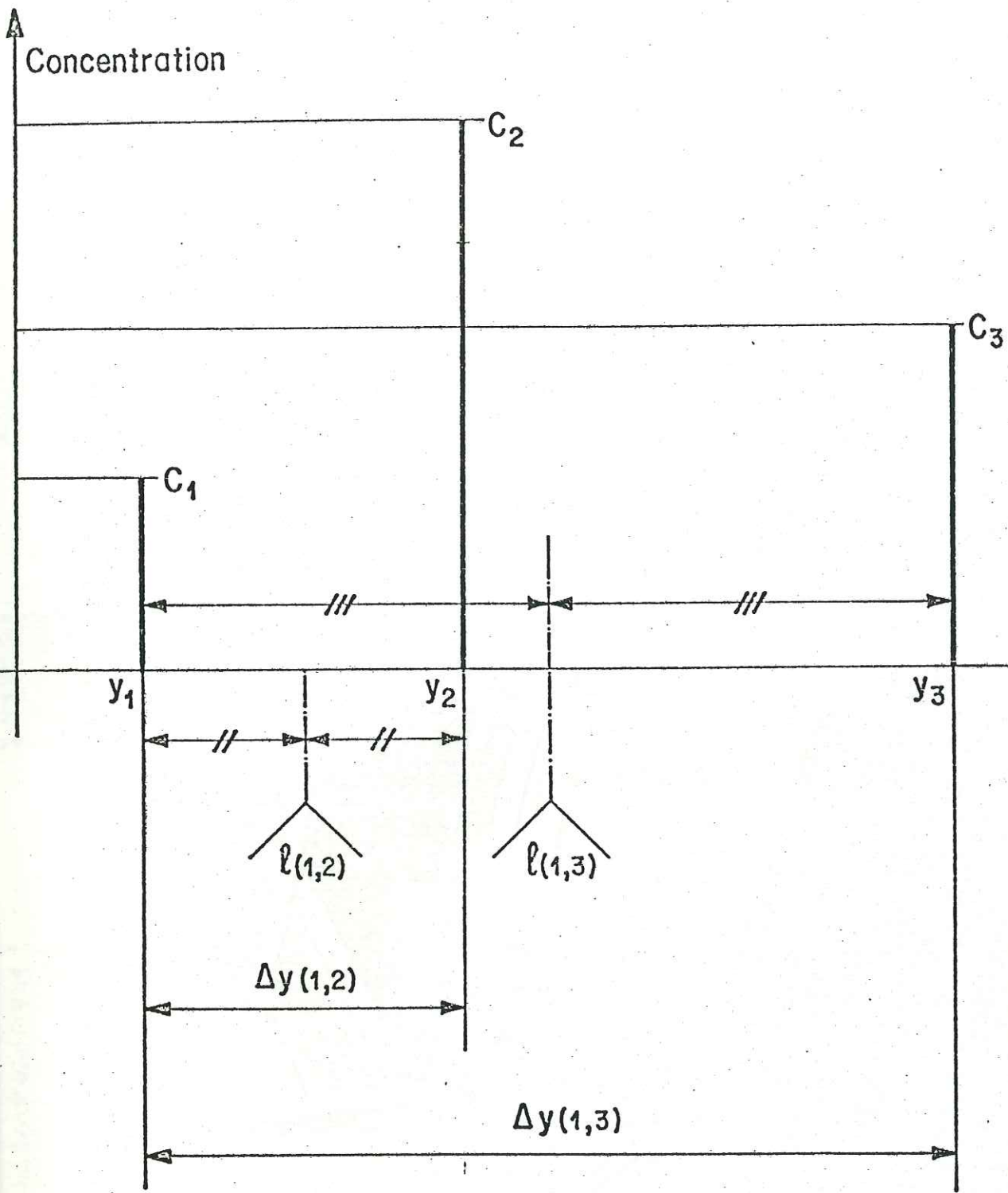
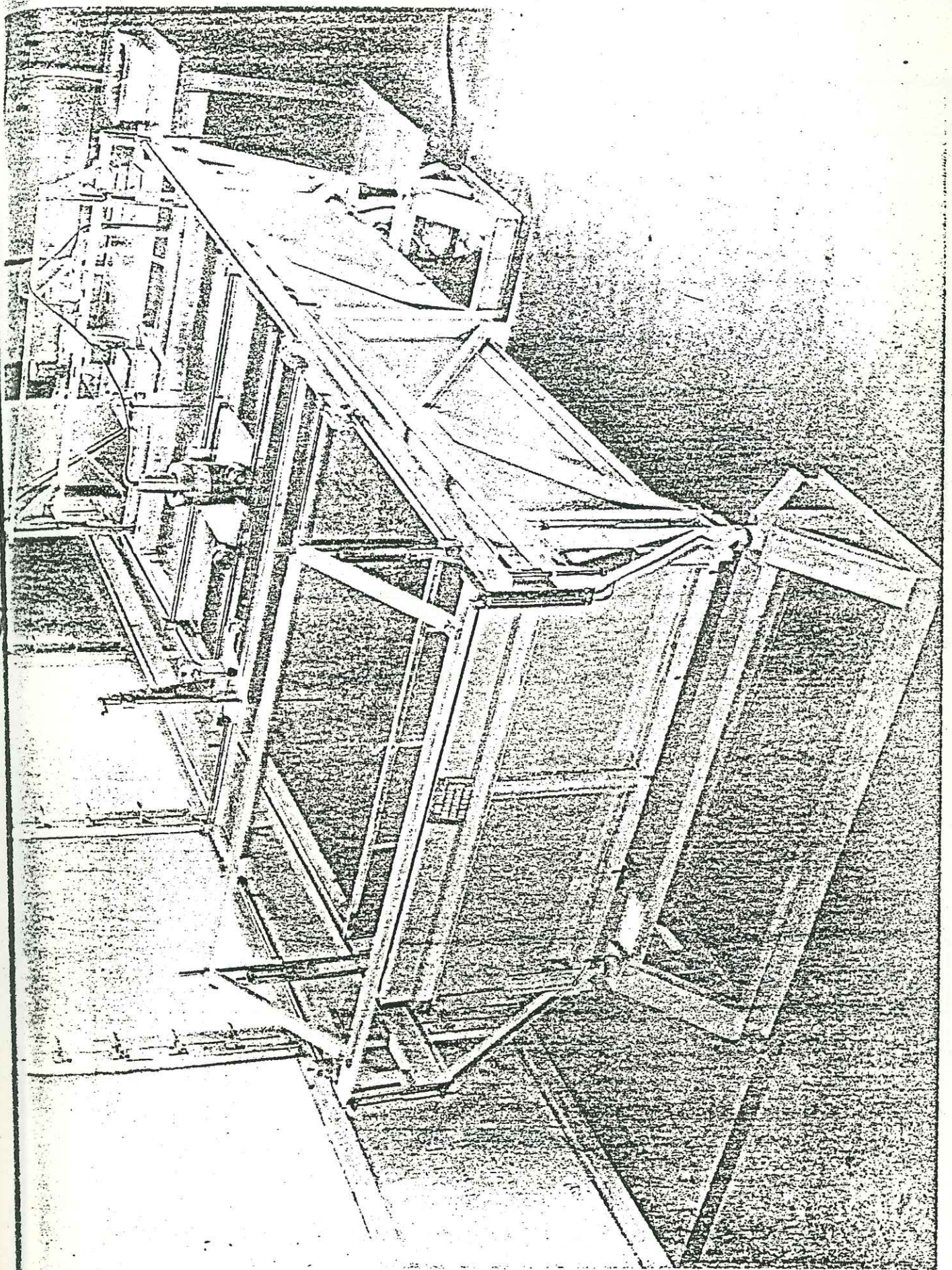


ILLUSTRATION DE LA METHODE DE DETERMINATION DE L'ECART-TYPE ET DE LA MOYENNE DE LA DISPERSION TRANSVERSALE

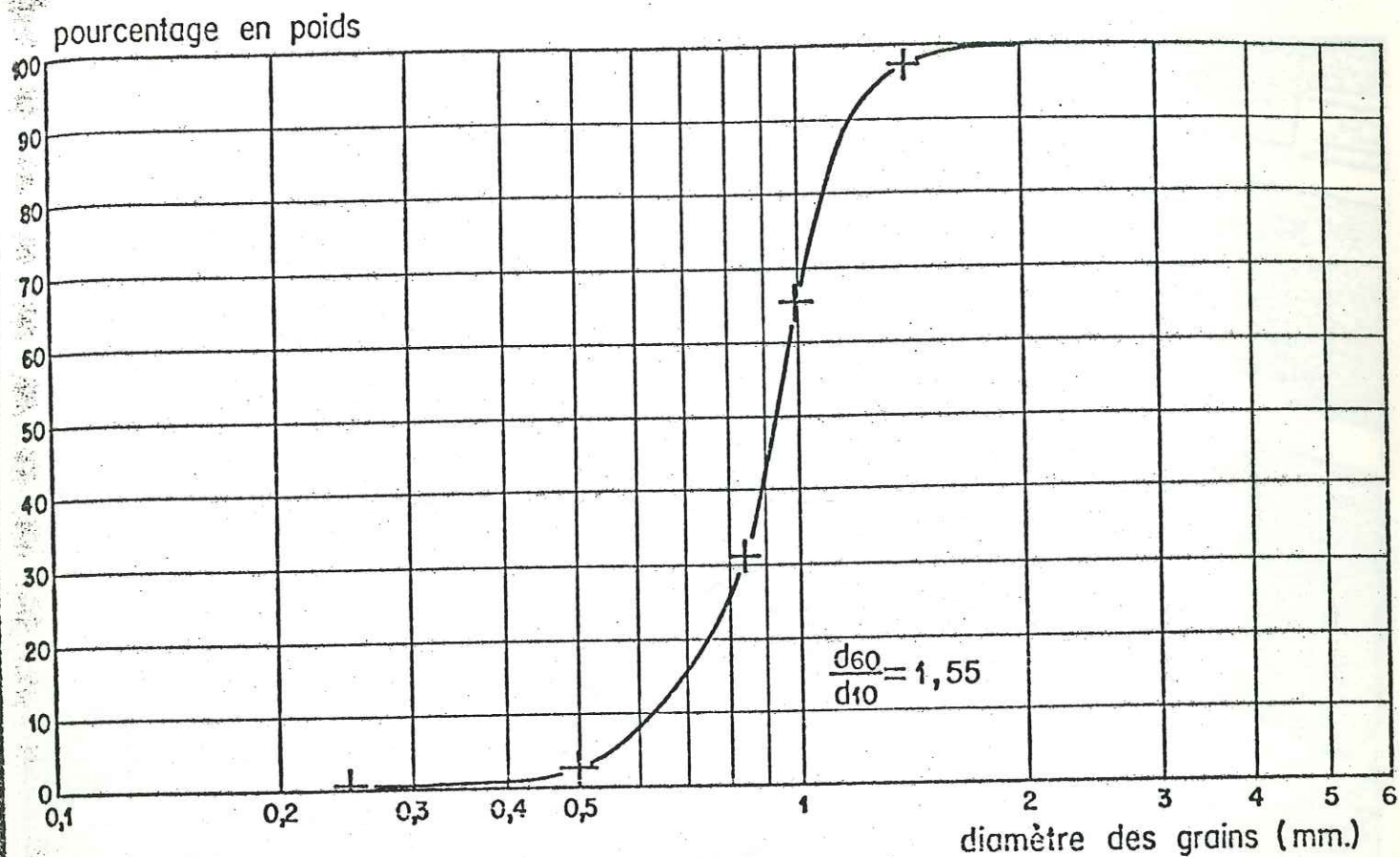
tel:00783396, version 1 - 1 Feb 2013

tel:078.3306, version 11 Feb 2013



VUE D'ENSEMBLE DU MODELE PHYSIQUE

Figure 29



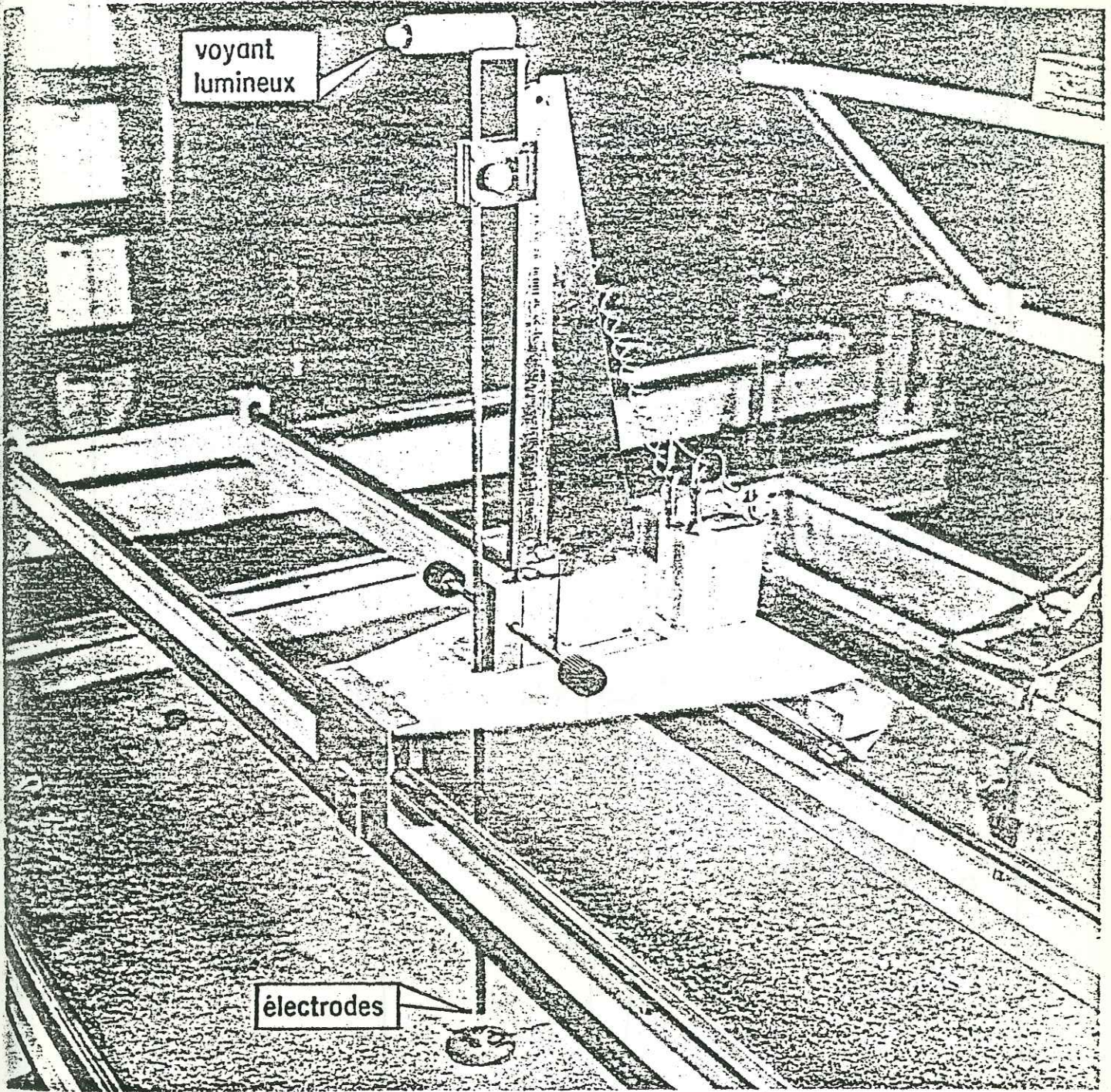
ANALYSE GRANULOMETRIQUE

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
98,25%	0,33%	0,09%	0,14%	0,01%	0,02%	0,01%	0,03%

ANALYSE CHIMIQUE

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SABLE DE HOSTUN  
UTILISE POUR LE GARNISSAGE DU MODELE PHYSIQUE

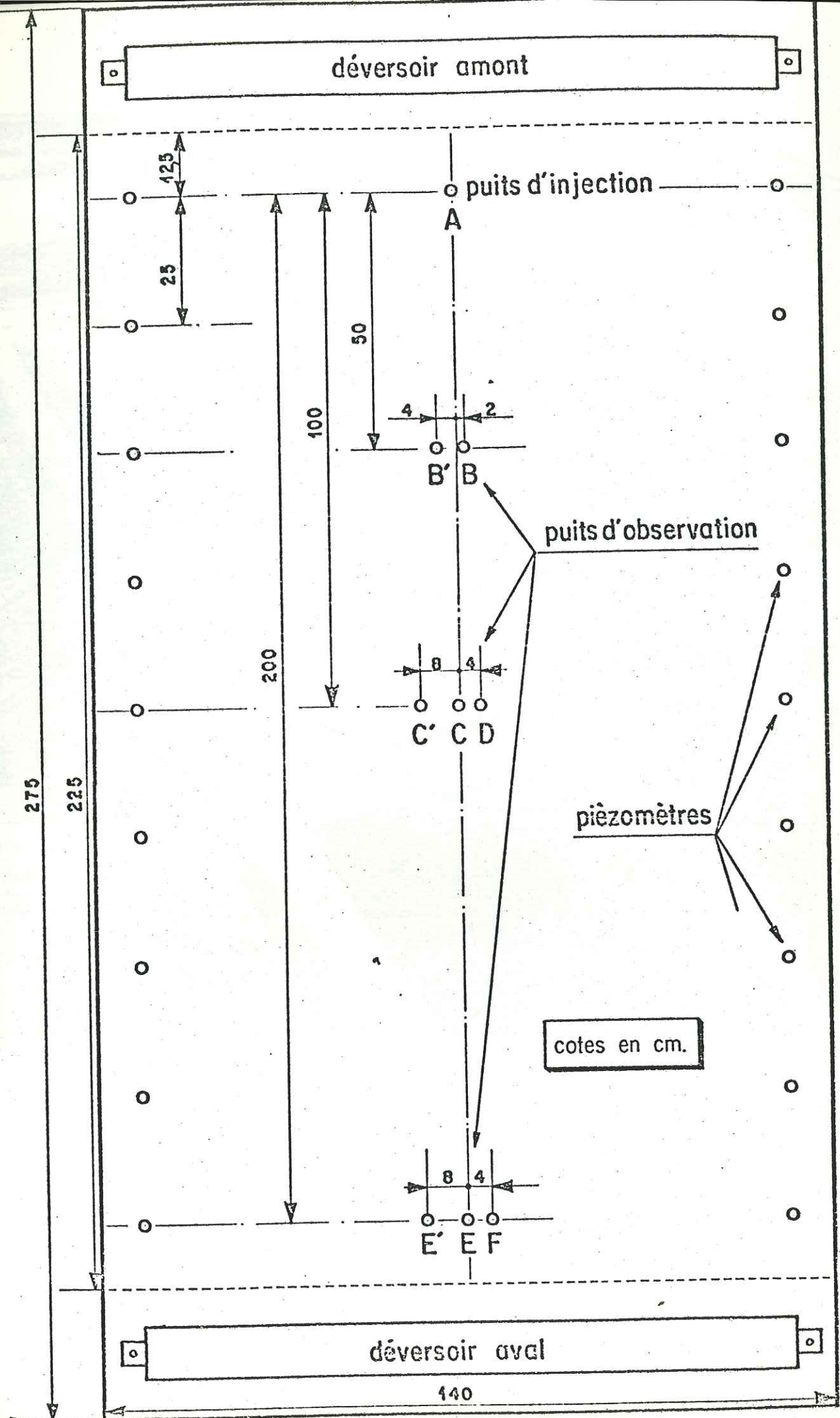
tel: 078.336, version 1, Février 13



DISPOSITIF DE CONTROLE PIEZOMETRIQUE

Figure 31

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013

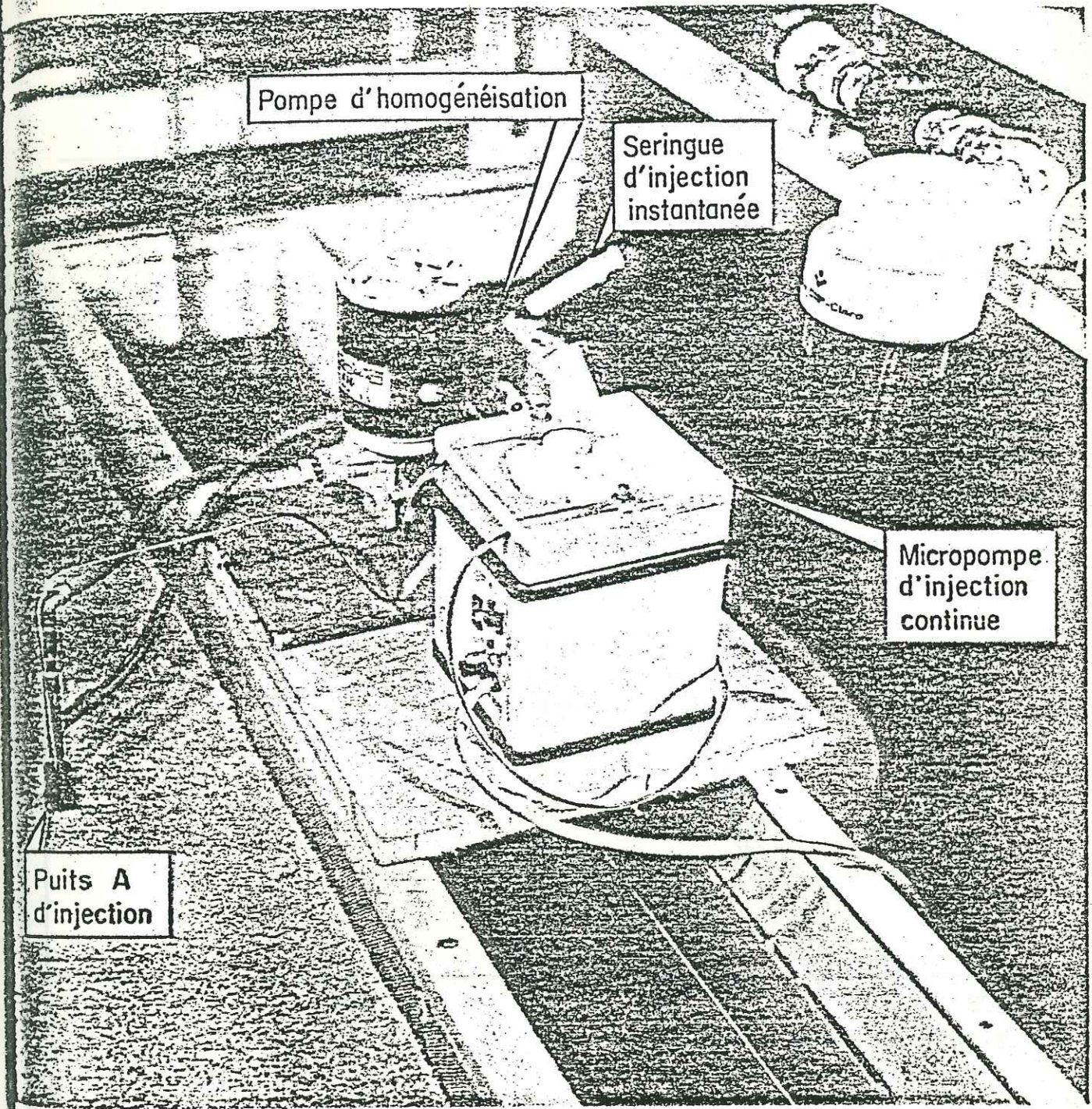


ORGANISATION DU MODELE PHYSIQUE

Figure .3



tel:0783306, version 1, Feb 2013



Puits A  
d'injection

Pompe d'homogénéisation

Seringue  
d'injection  
instantanée

Micropompe  
d'injection  
continue

DISPOSITIF D'INJECTION ET D'HOMOGENEISATION

----- Brome 82

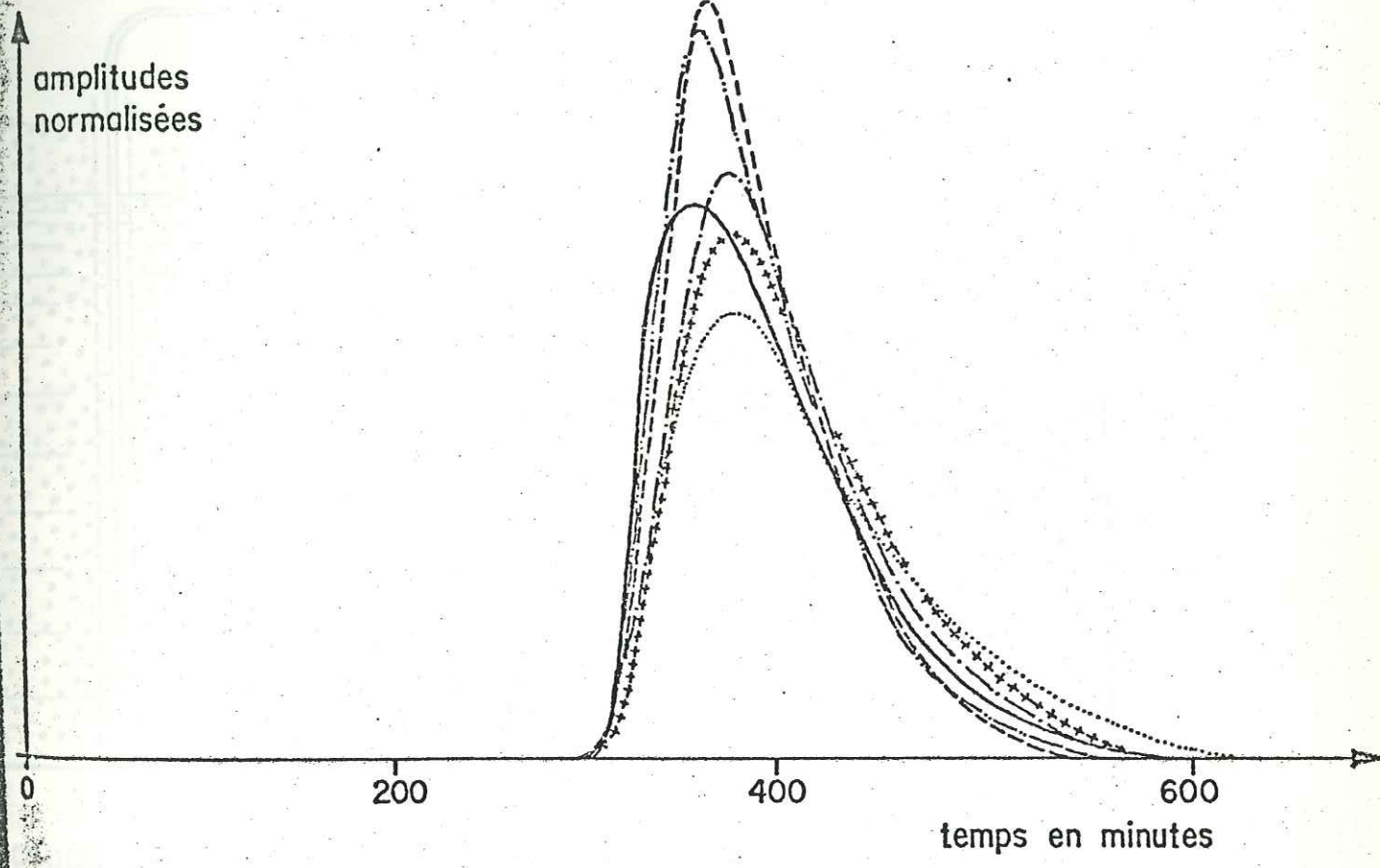
----- Rhodamine WT

----- Iode 131

----- Rhodamine B

——— Iodure de sodium

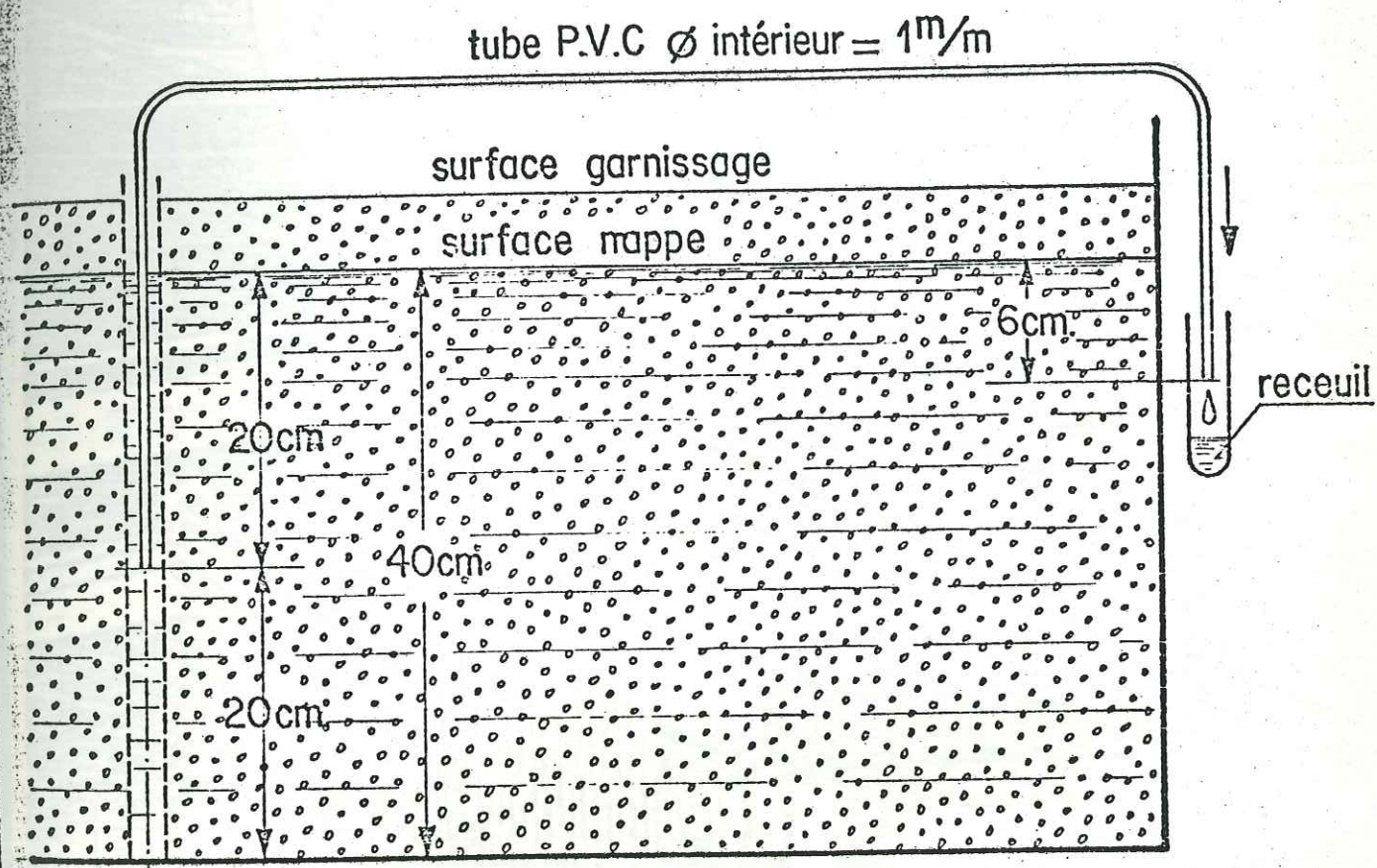
..... Uranine



REPONSES IMPULSIONNELLES DES DIFFERENTS TRACEURS

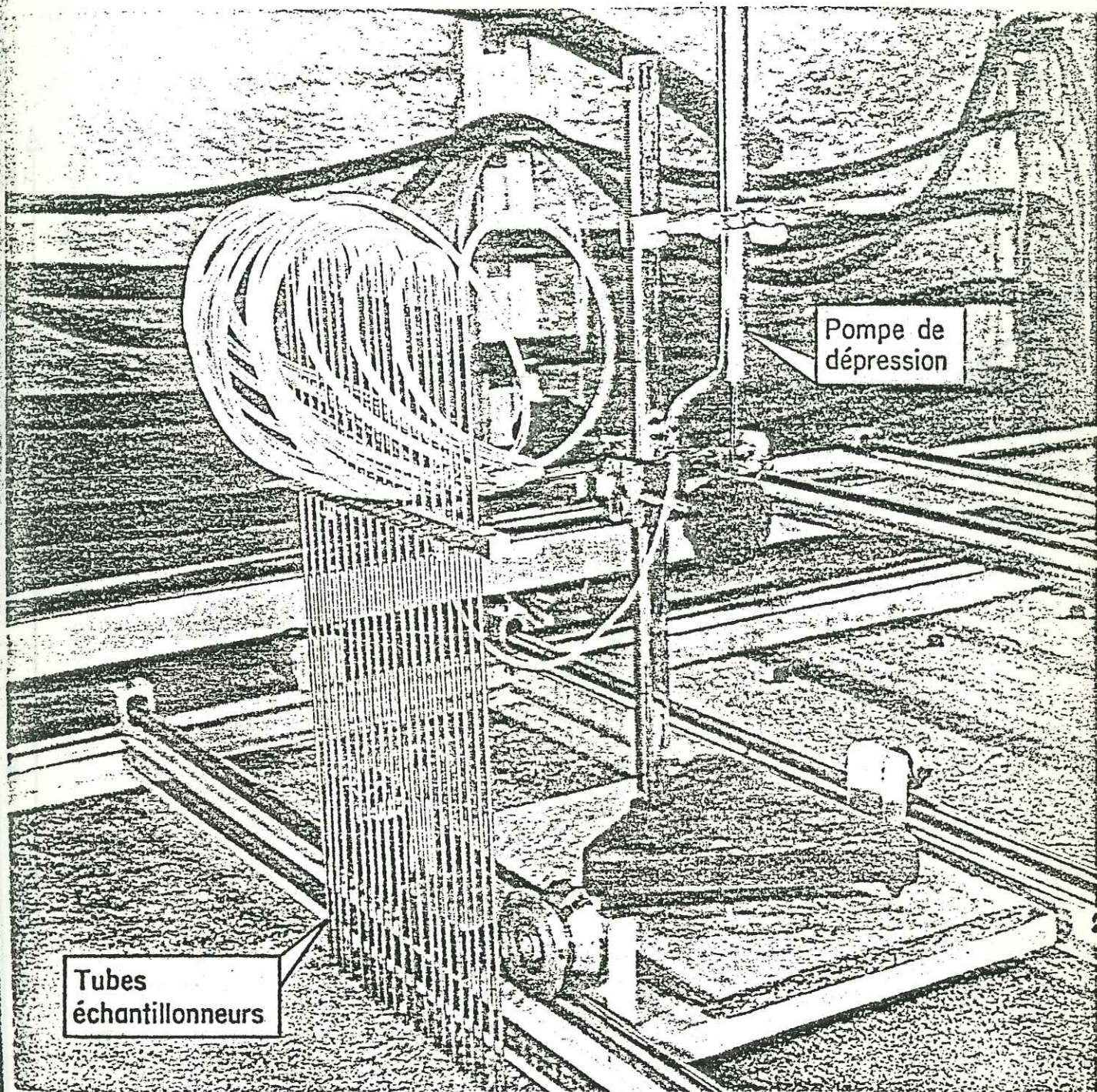
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013

tel:00783336, version 1 - Feb 2013



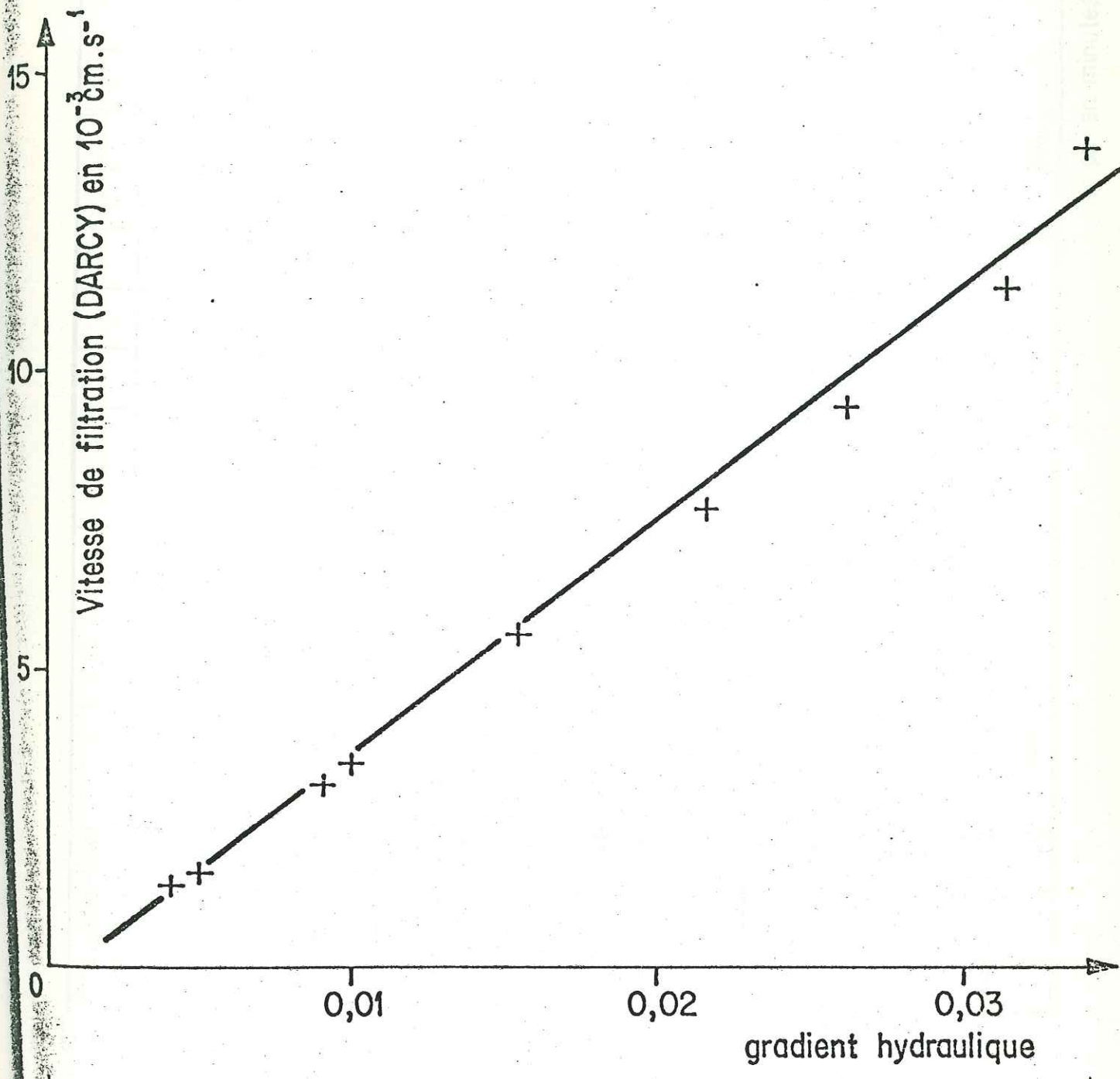
coupe perpendiculaire à l'écoulement dans l'axe d'un puits

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU DISPOSITIF DE  
PRELEVEMENT PAR MICROSIPHONNAGE

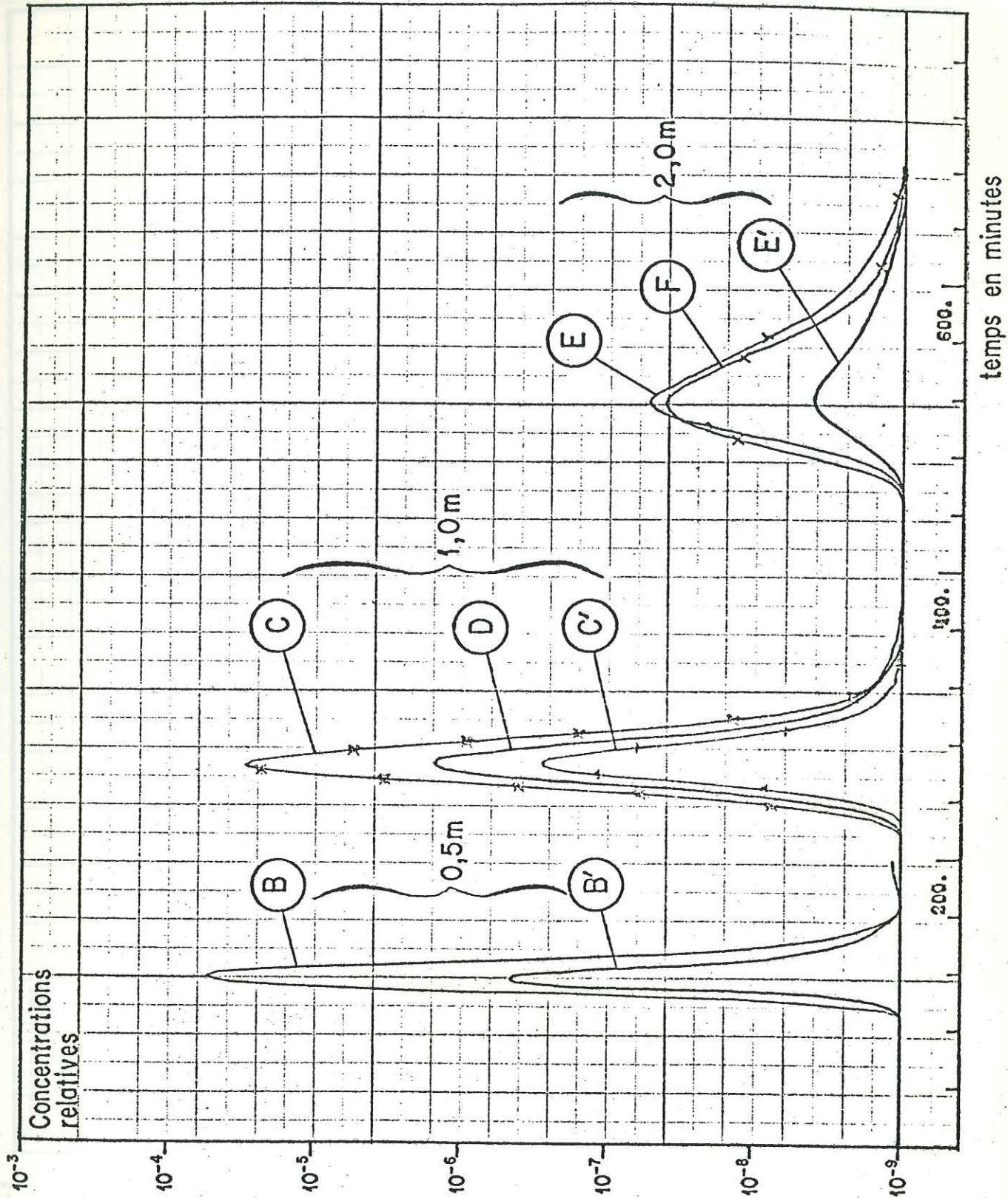


DISPOSITIF DE PRELEVEMENTS SIMULTANES

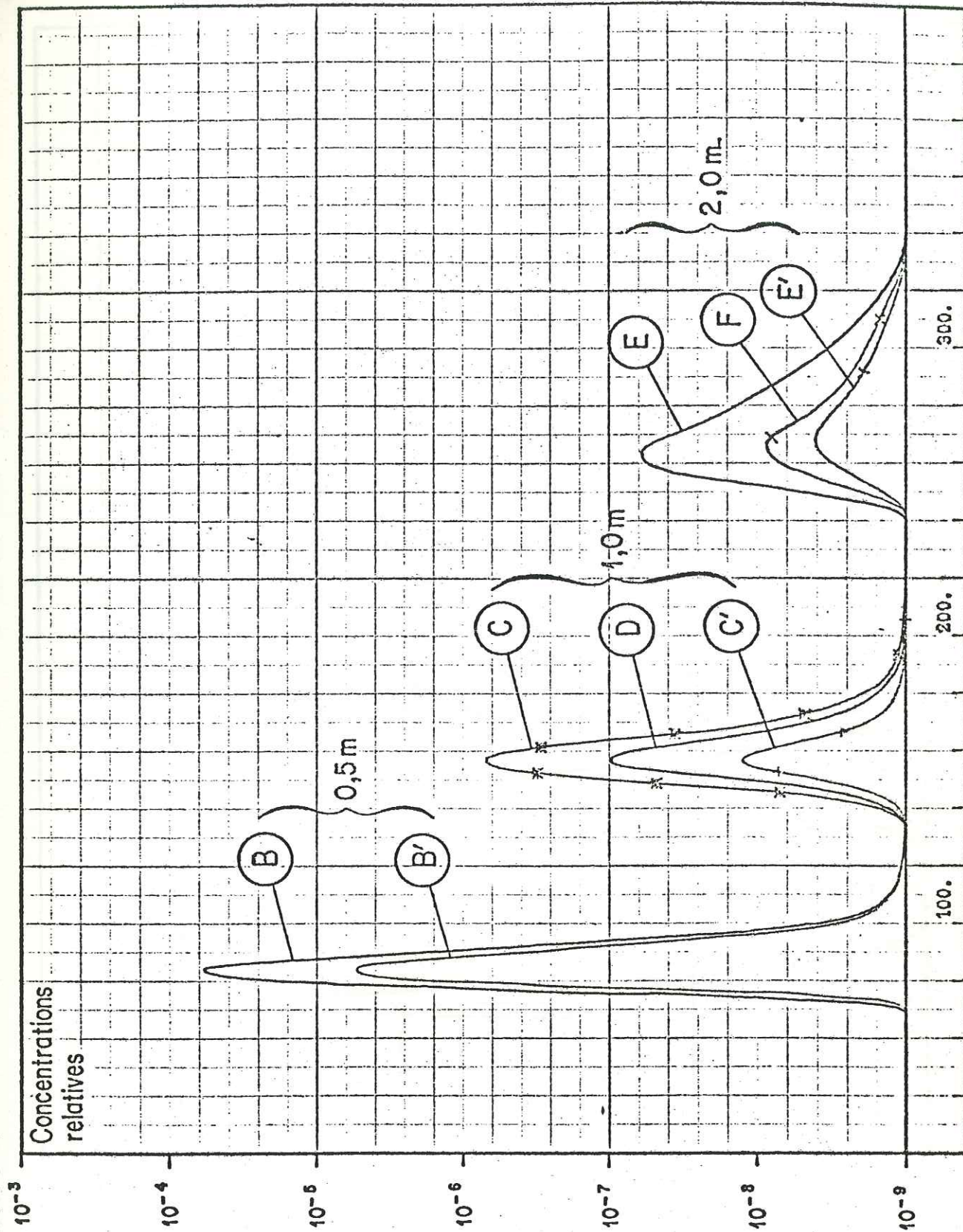
tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013



EVOLUTION DE LA VITESSE DE FILTRATION EN FONCTION DU GRADIENT HYDRAULIQUE



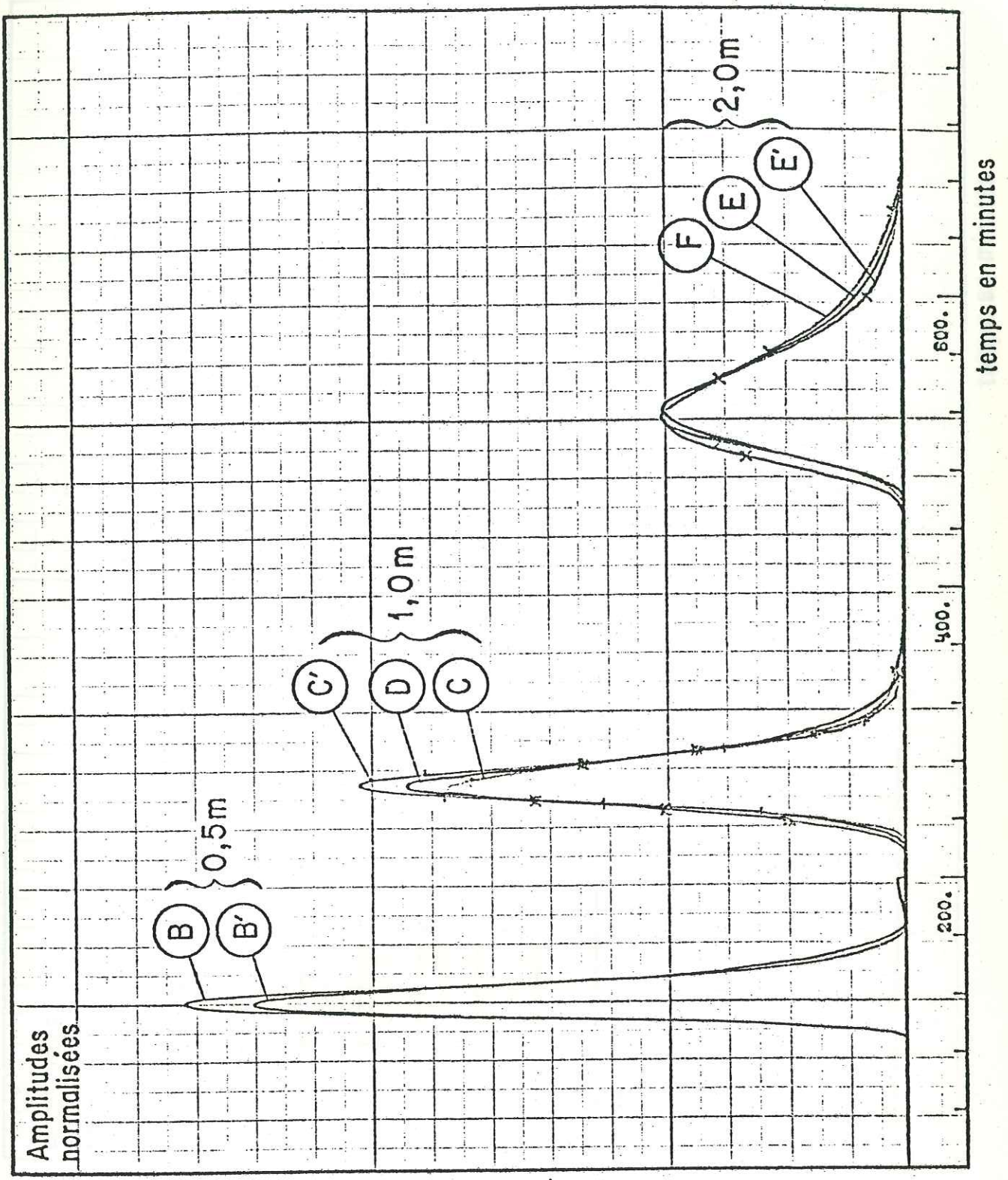
EXEMPLE DE L'ISOCHRONISME DES FONCTIONS  $C(t)$  AUX DIFFERENTES SECTIONS D'OBSERVATION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,0085



temps en minutes

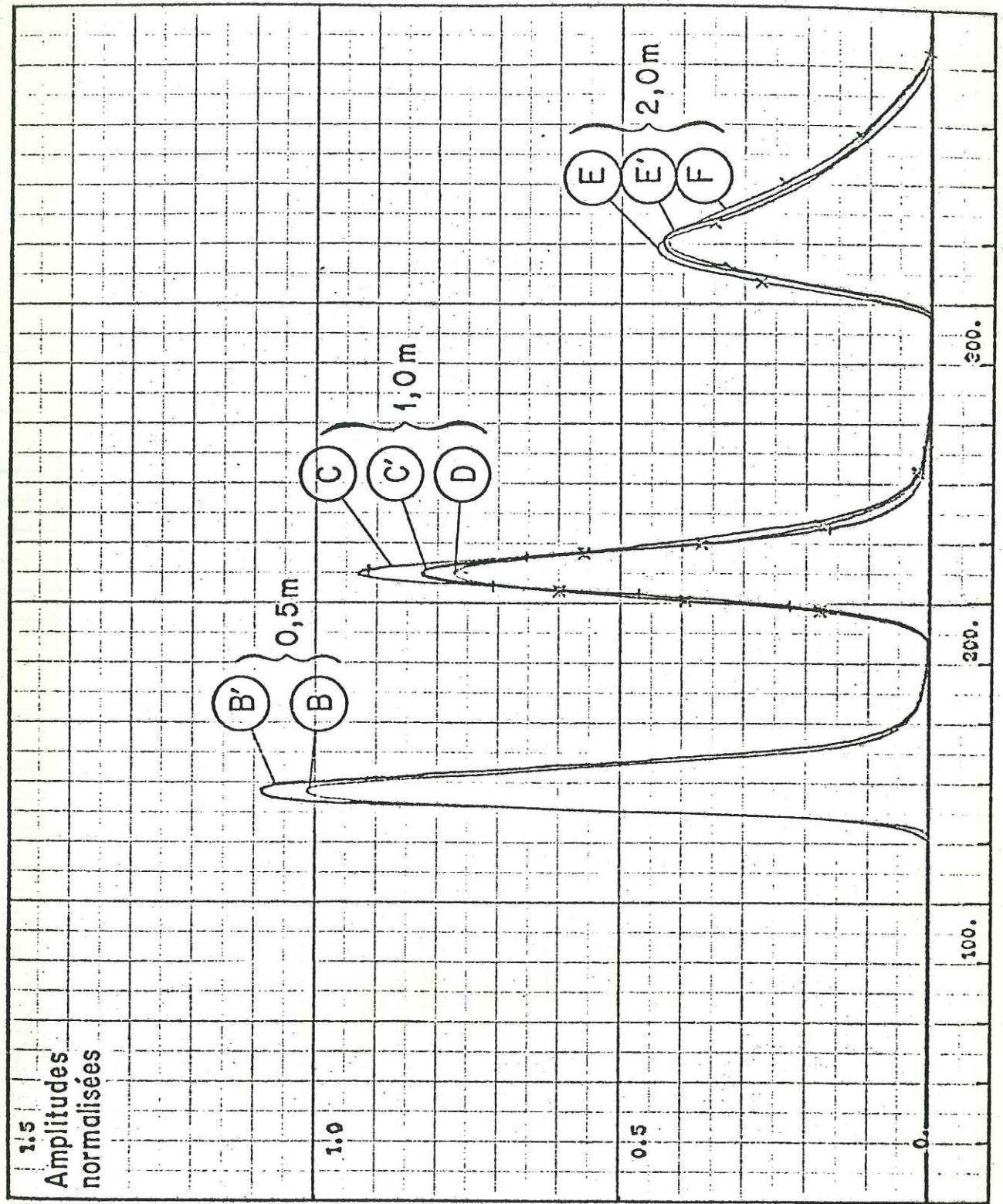
EXEMPLE DE L'ISOCHRONISME DES FONCTIONS  $C(t)$  AUX DIFFERENTES SECTIONS D'OBSERVATION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,015

tel=00783396, version=1 - 1 Feb 2013

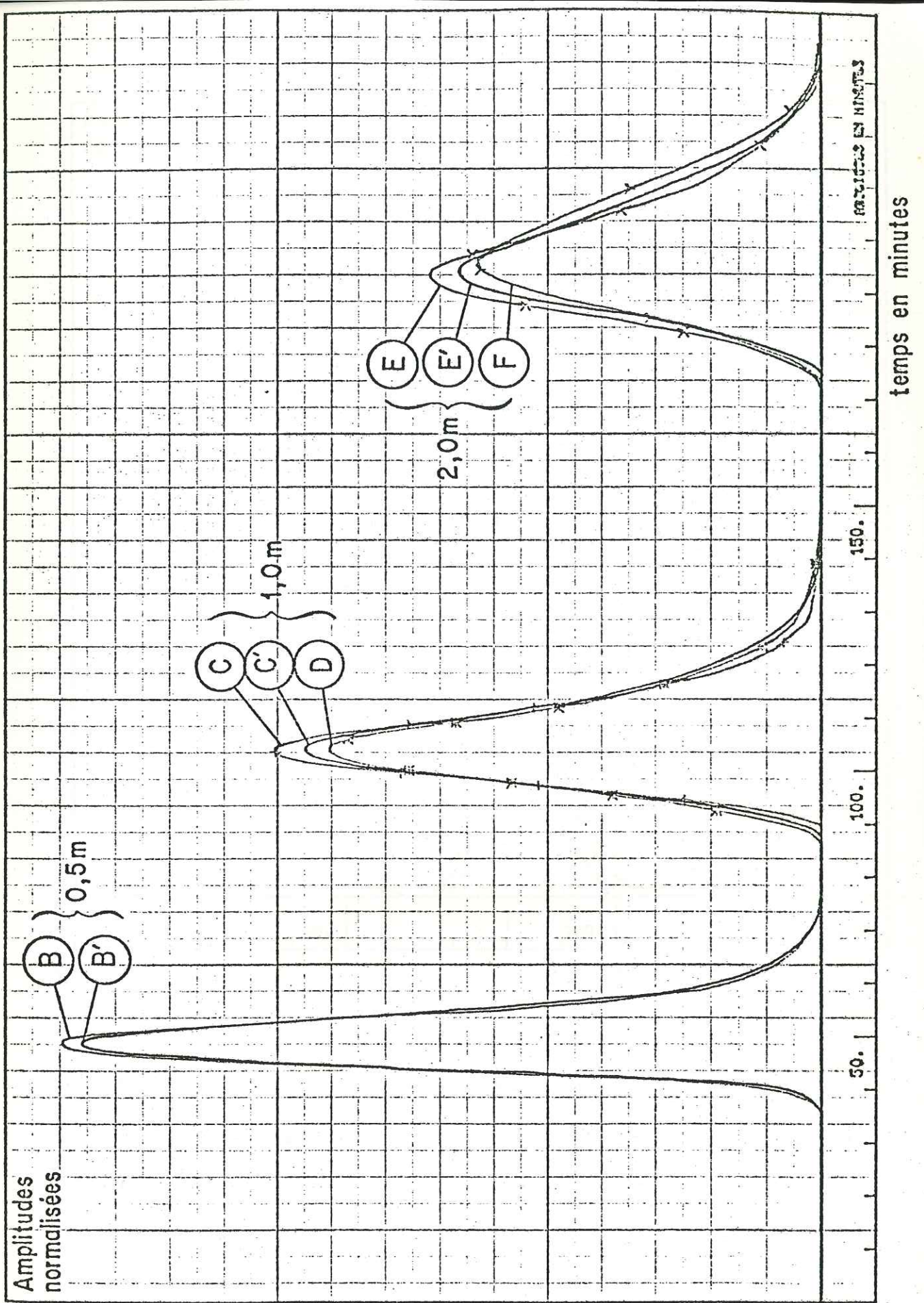


EXEMPLE DE L'IDENTITE DES REPONSES IMPULSIONNELLES AUX DIFFERENTES SECTIONS D'OBSERVATION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,0085

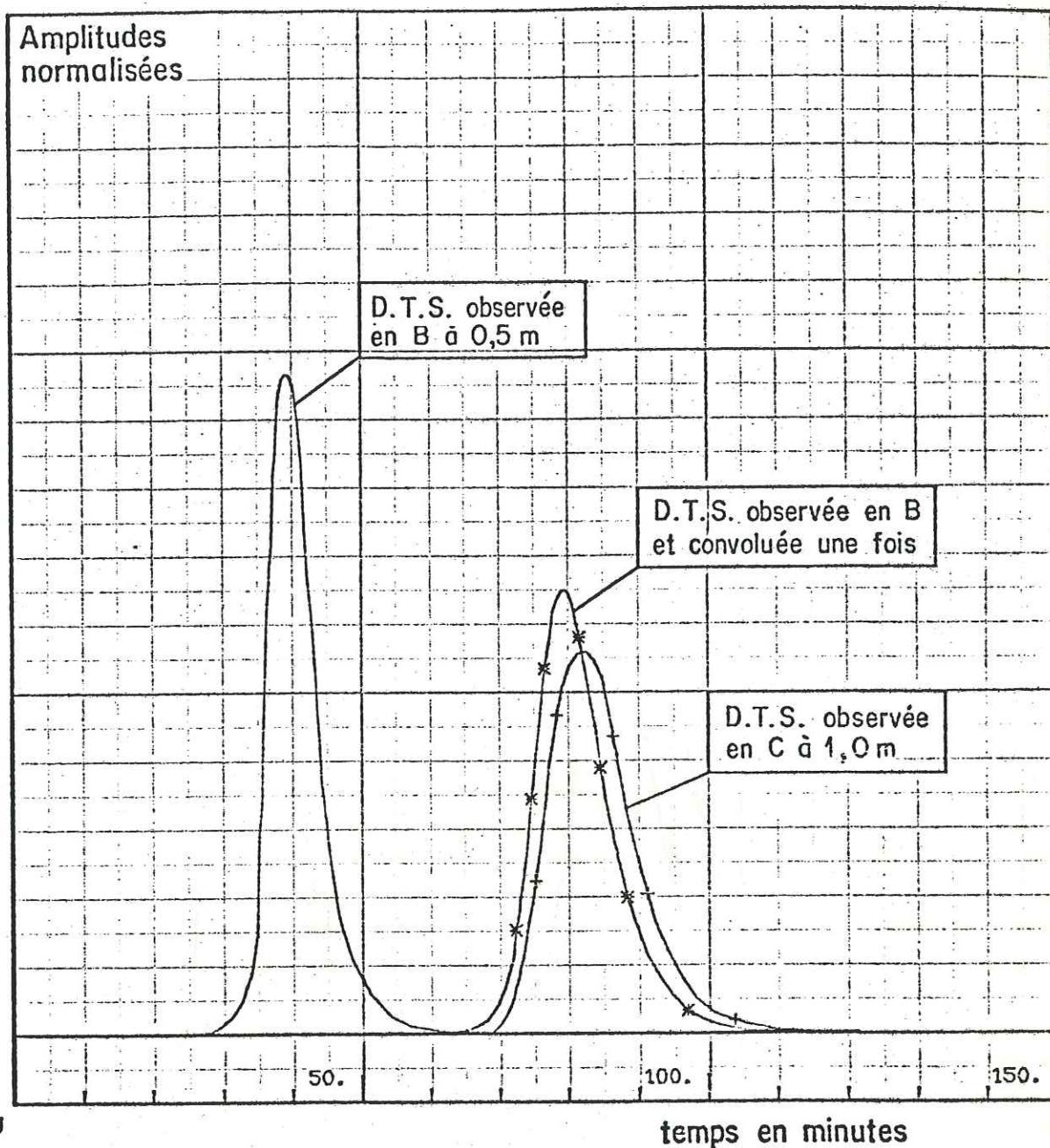




EXEMPLE DE L'IDENTITE DES REPONSES IMPULSIONNELLES AUX DIFFERENTES SECTIONS D'OBSERVATION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,015

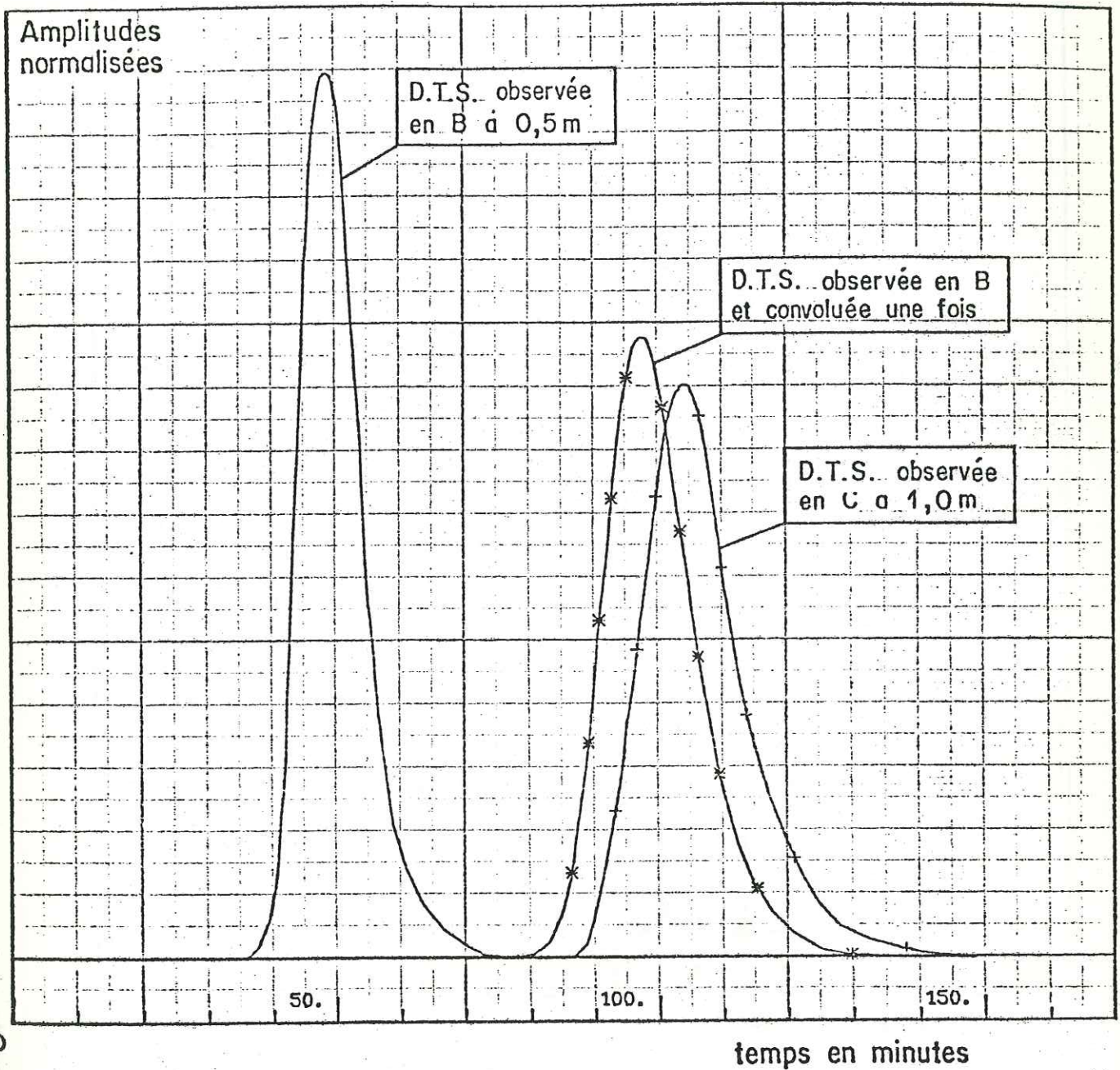


EXEMPLE DE L'IDENTITE DES REPONSES IMPULSIONNELLES AUX DIFFERENTES SECTIONS D'OBSERVATION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,021

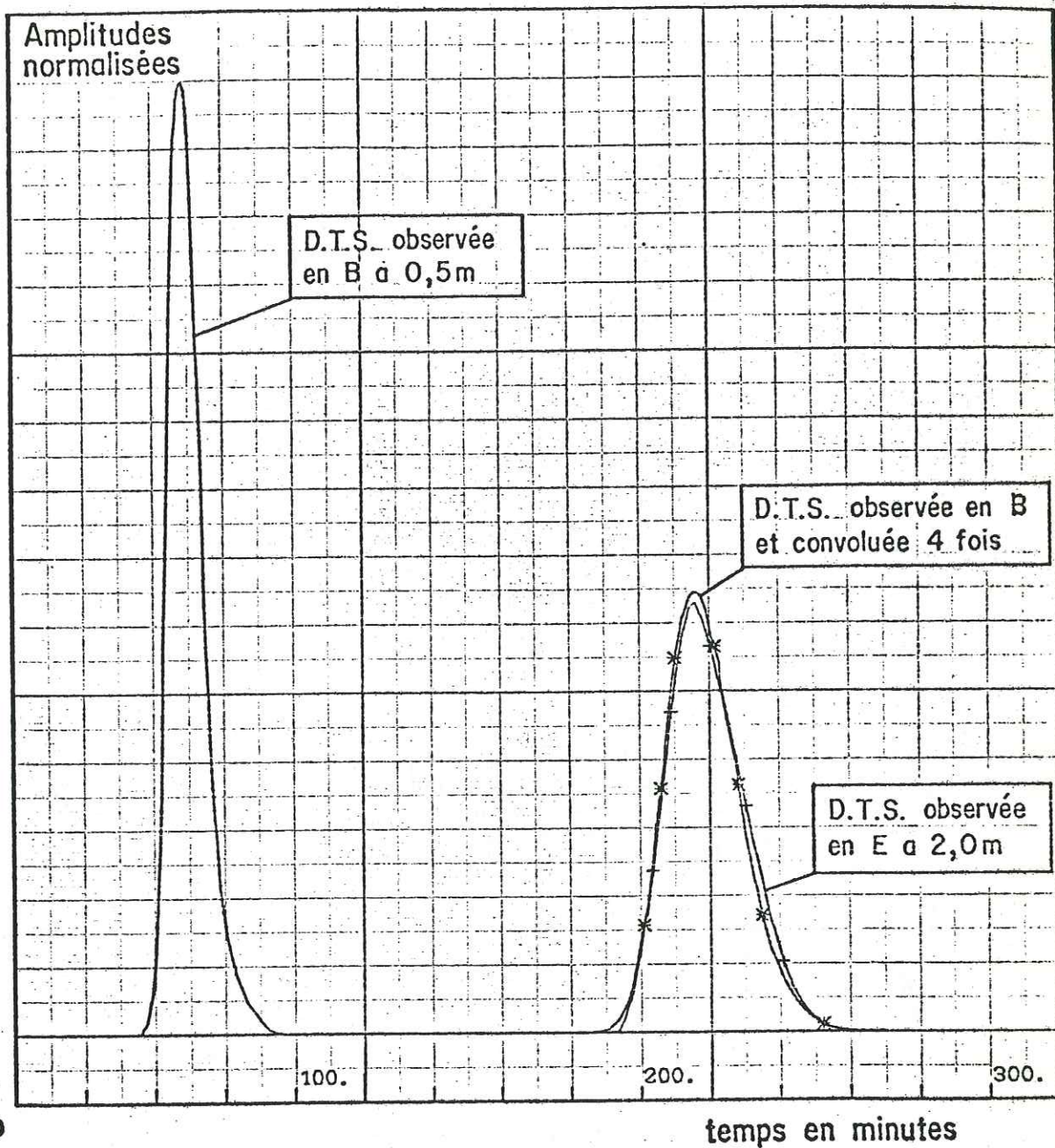


EXEMPLE DE VERIFICATION PAR CONVOLUTION DE LA REPRESENTATIVITE DU PAS D'EXPERIENCE A-B (0,5m) POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,026

Amplitudes normalisées

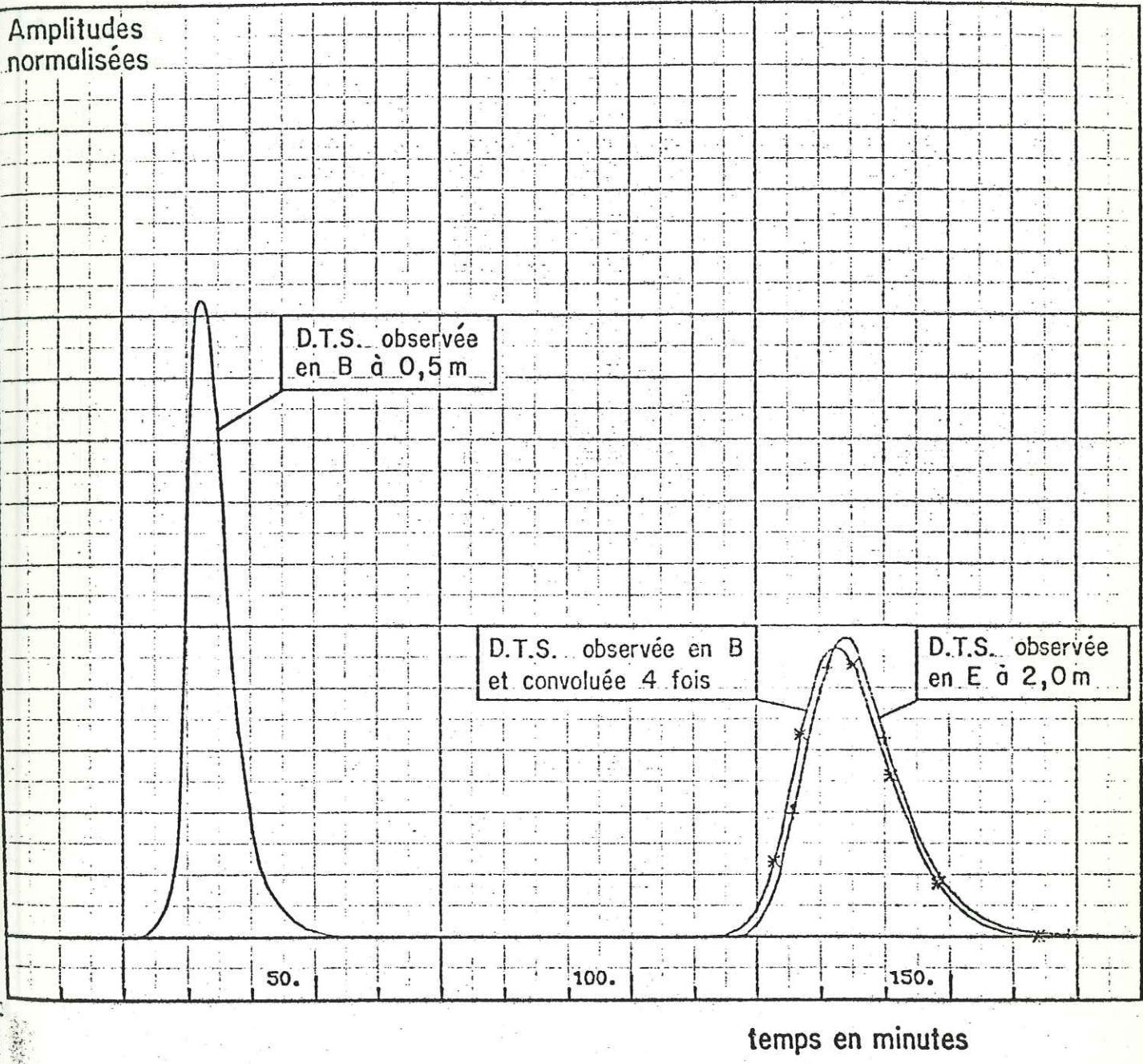


EXEMPLE DE VERIFICATION PAR CONVOLUTION DE LA REPRESENTATIVITE DU PAS D'EXPERIENCE A-B (0,5m) POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,021



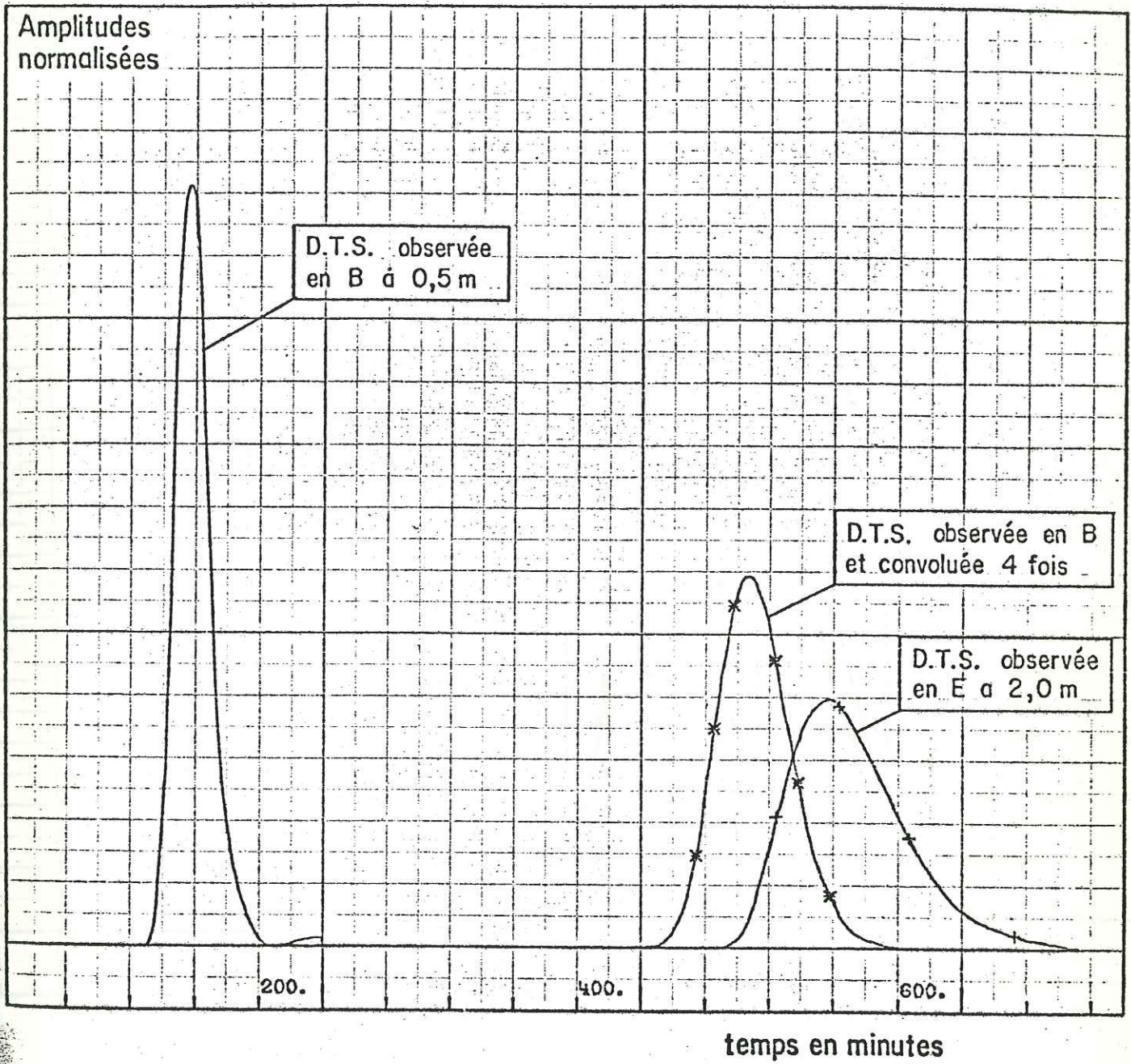
EXEMPLE D'EXTRAPOLATION PAR LA METHODE DES  
 FONCTIONS DE TRANSFERT POUR UN GRADIENT  
 HYDRAULIQUE DE 0,021

Amplitudes normalisées



EXEMPLE D'EXTRAPOLATION PAR LA METHODE DES FONCTIONS DE TRANSFERT POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,031

tel:00783396, version 1 - 1 Feb 2013



EXEMPLE D'EXTRAPOLATION PAR LA METHODE DES  
FONCTIONS DE TRANSFERT POUR UN GRADIENT  
HYDRAULIQUE DE 0,0085

Amplitudes  
normalisées

D.T.S. observée  
en B à 0,5m

D.T.S. résultat de  
l'ajustement au  
modèle P.D.

20.

40.

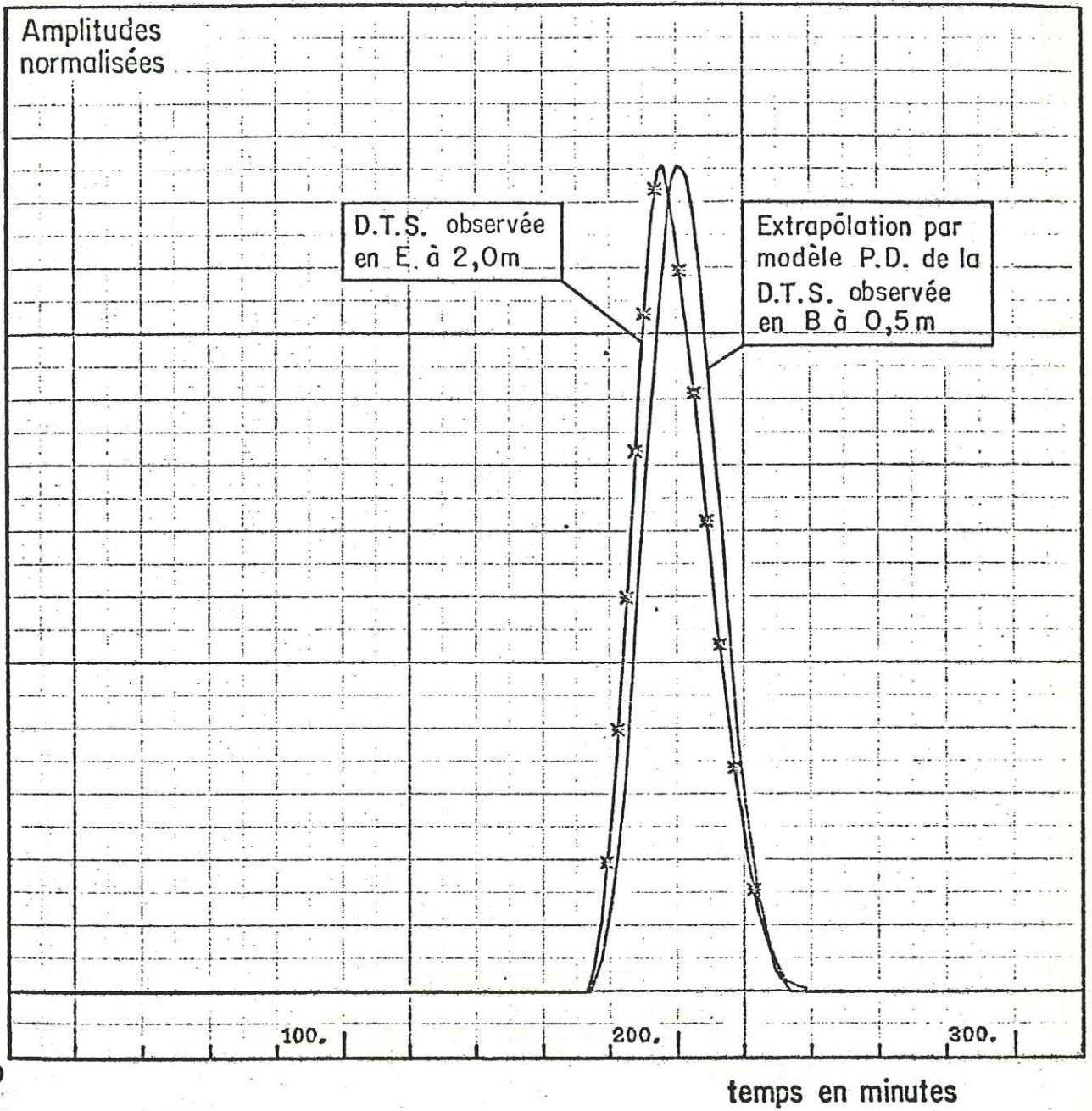
60.

temps en minutes

EXEMPLE D'AJUSTEMENT AU MODELE PISTON-DISPERSION POUR  
UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,021

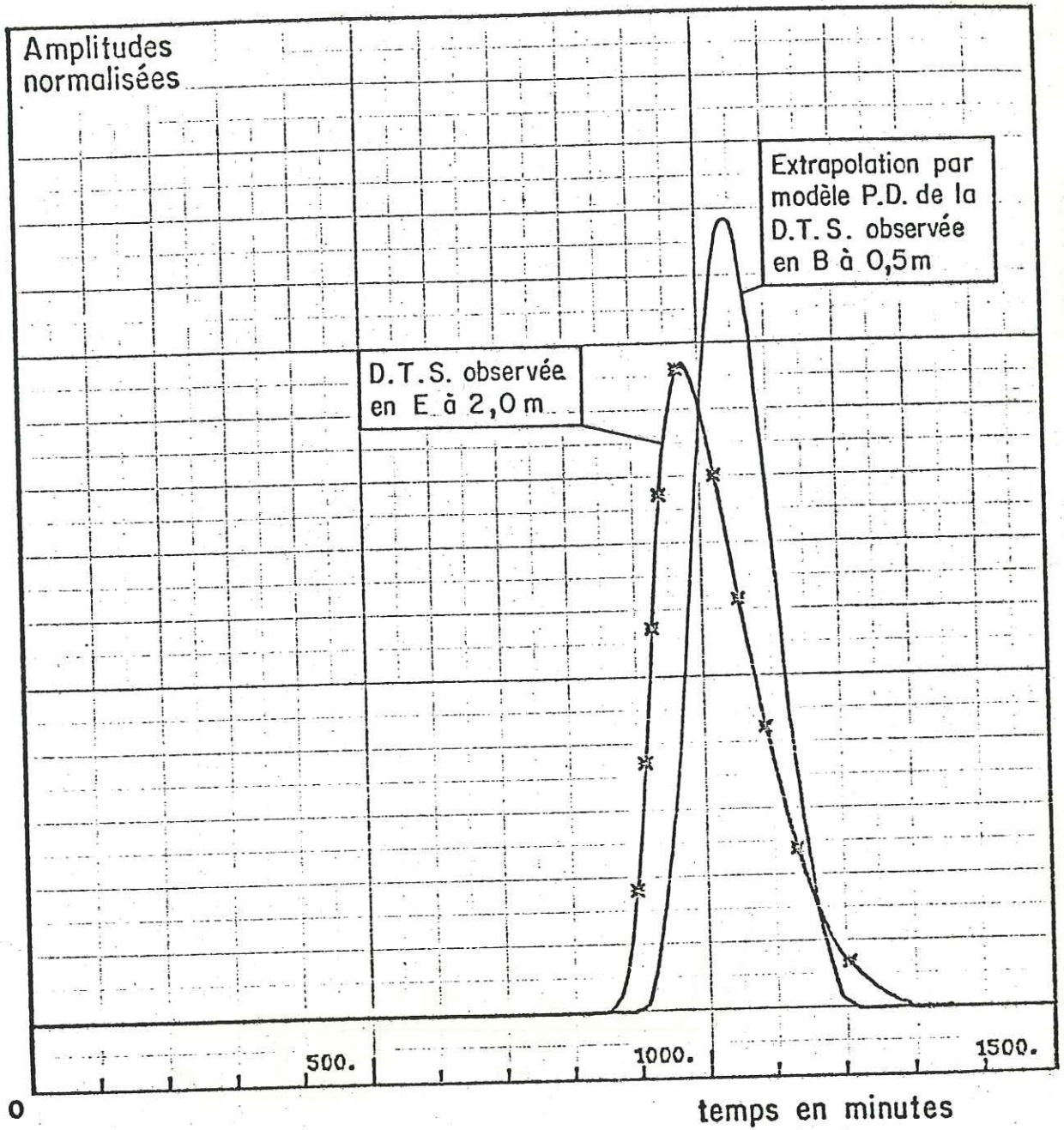
tel:00783396, version 1 - 1 Feb 2013





EXEMPLE D'EXTRAPOLATION DES D.T.S. PAR MODELE PISTON-DISPERSION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,021

tel:00783396, version 1 - 1 Feb 2013



EXEMPLE D'EXTRAPOLATION DES D.T.S. PAR MODELE PISTON-DISPERSION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,005

tel=00781396, version 1 - 1 Feb 2013

Amplitudes normalisées

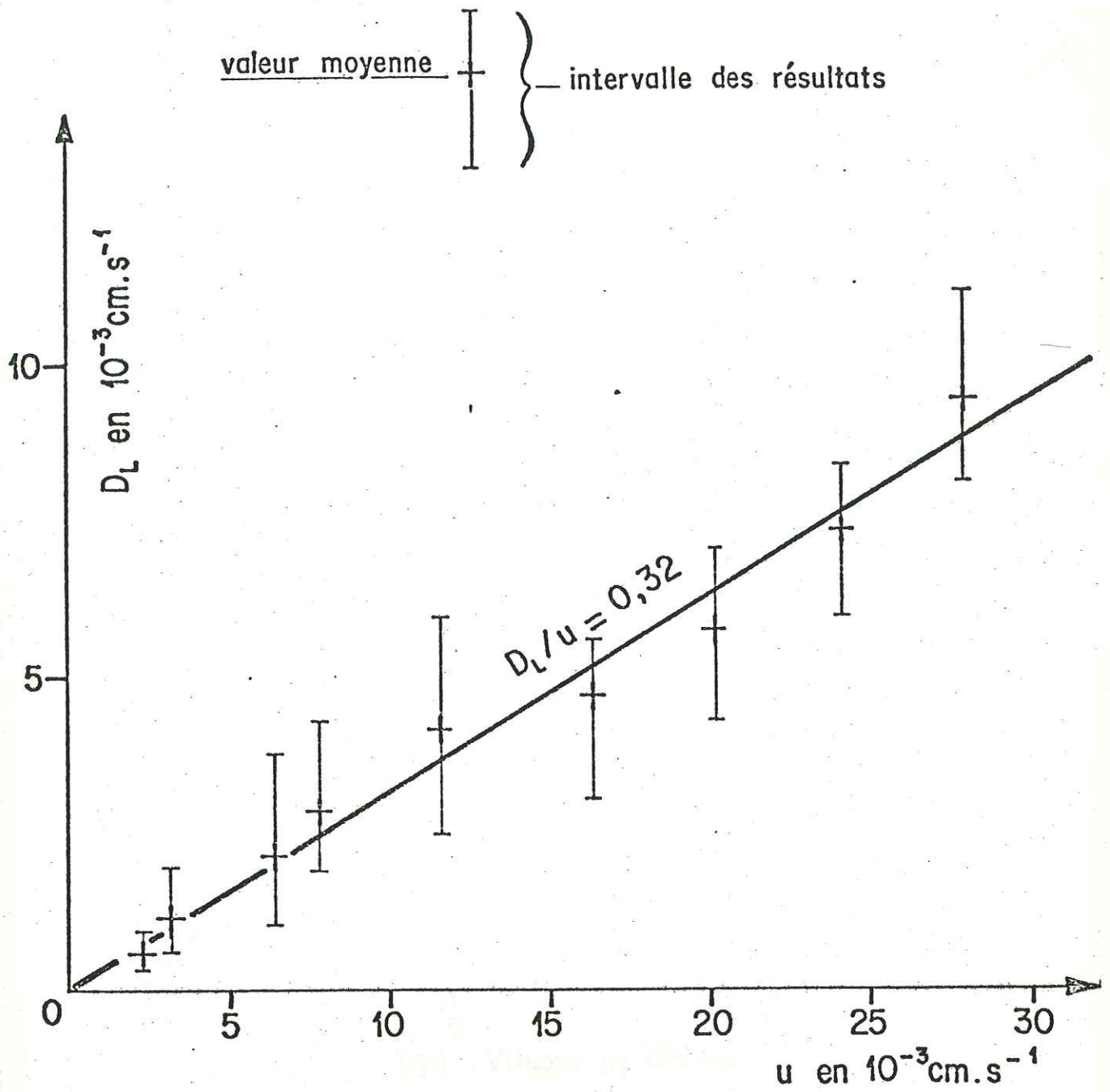
Extrapolation par modèle P.D. de la D.T.S. observée en B. à 0,5 m

D.T.S. observée en E. à 2,0 m

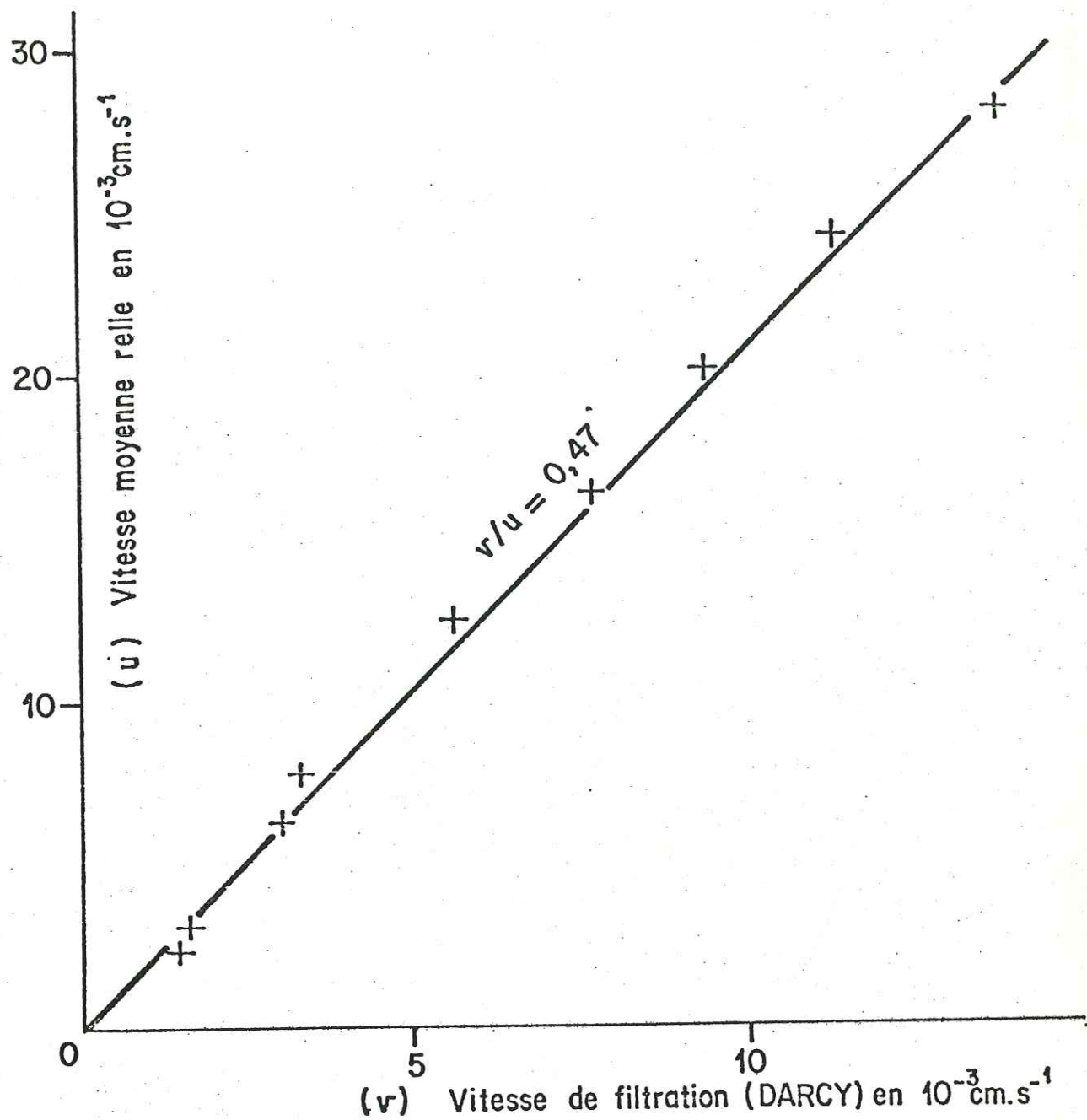
temps en minutes

EXEMPLE D'EXTRAPOLATION DES D.T.S. PAR MODELE PISTON-DISPERSION POUR UN GRADIENT HYDRAULIQUE DE 0,031

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013

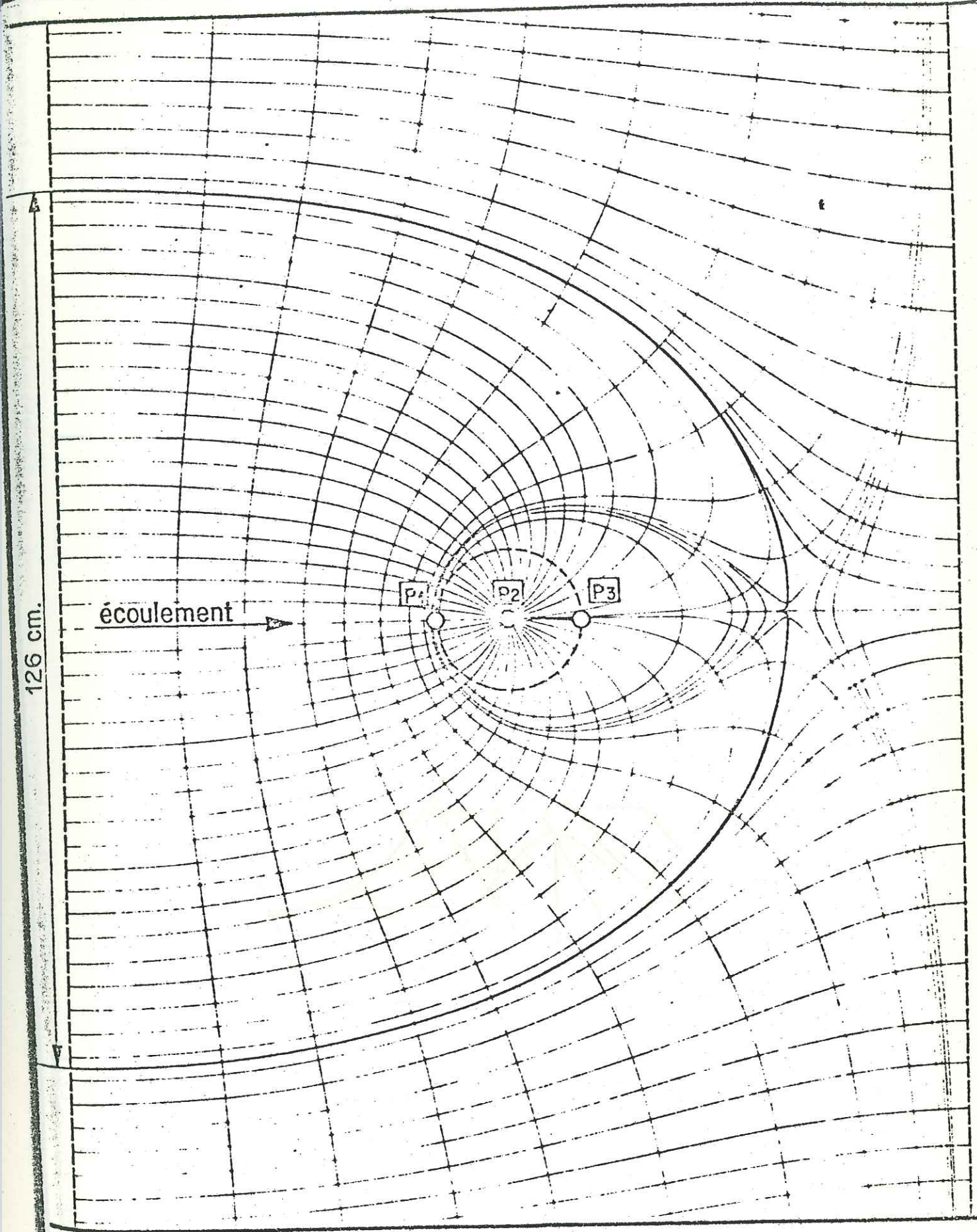


EVOLUTION DU COEFFICIENT DE DISPERSION LONGITUDINALE  
 EN FONCTION DE LA VITESSE MOYENNE REELLE



EVOLUTION DE LA VITESSE MOYENNE REELLE EN FONCTION  
DE LA VITESSE DE FILTRATION

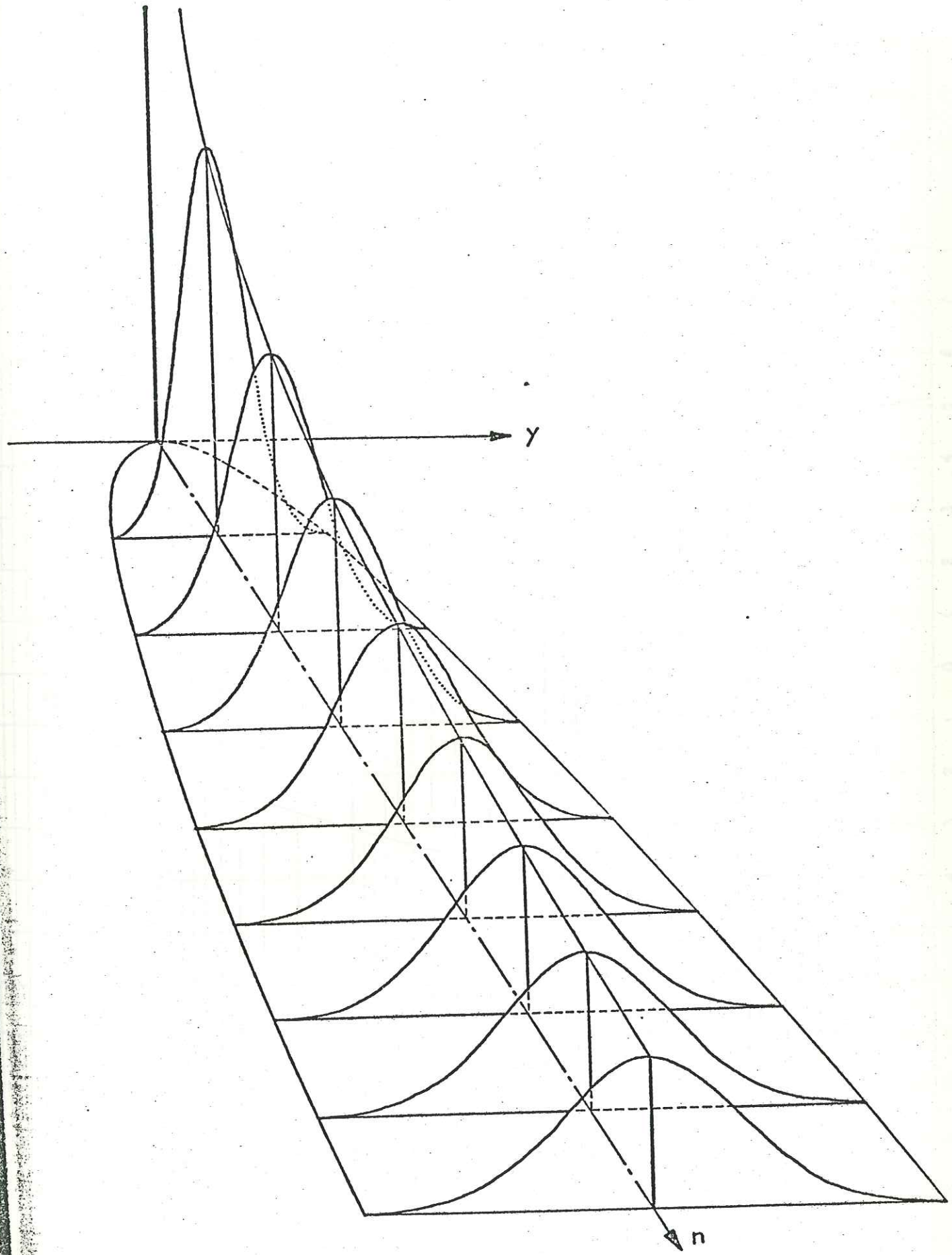
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



IMPLANTATION DES PUIITS DANS LE MODELE PHYSIQUE POUR LA MESURE DE POROSITE AVEC ECOULEMENT DE LA NAPPE

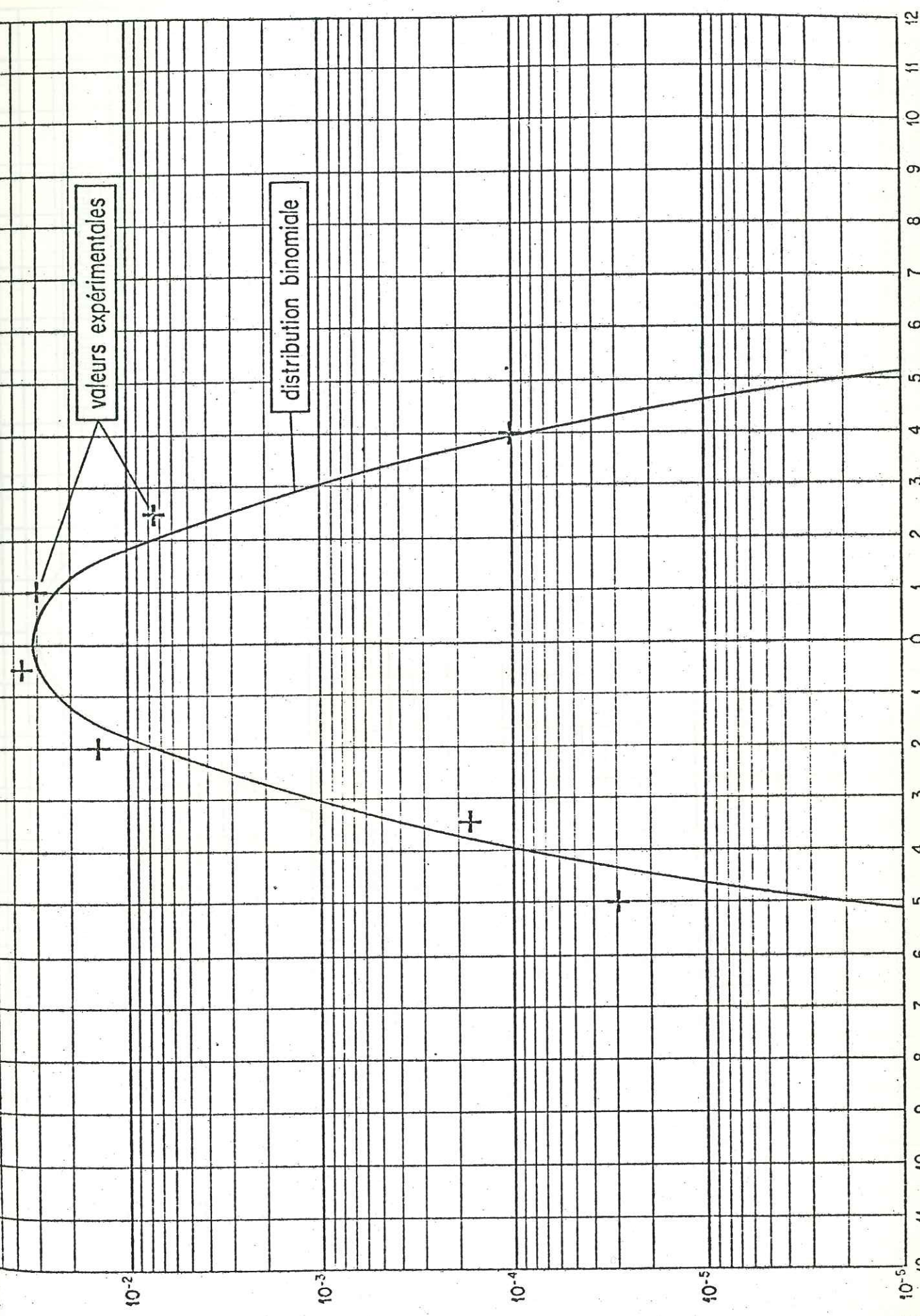
Figure 54

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013



EVOLUTION DANS L'ESPACE DES FONCTIONS DE REPARTITION DE LA LOI BINOMIALE POUR  $p = 0,5$

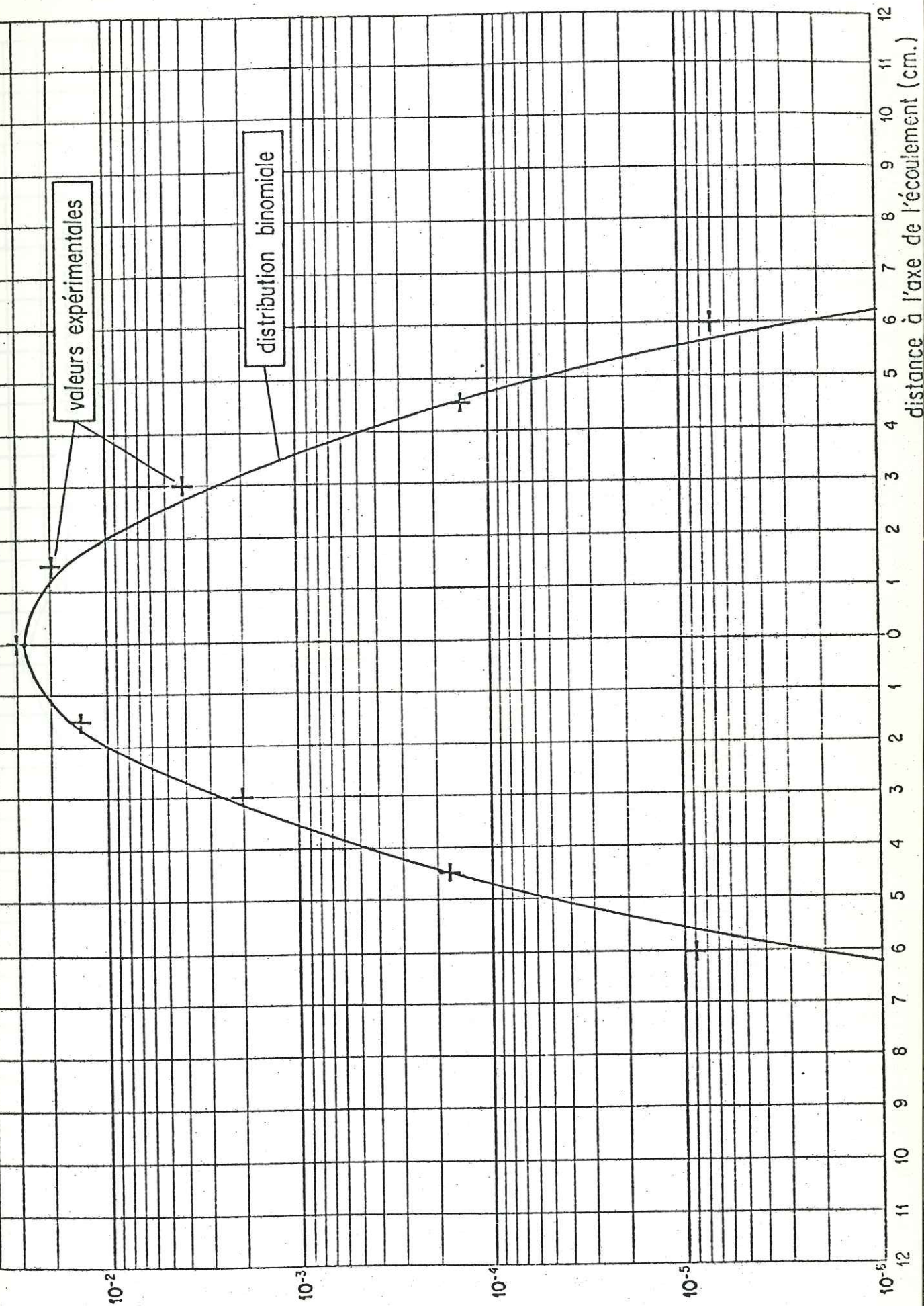
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE  
DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES  
DANS UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 0,5 METRE DU  
POINT D'INJECTION



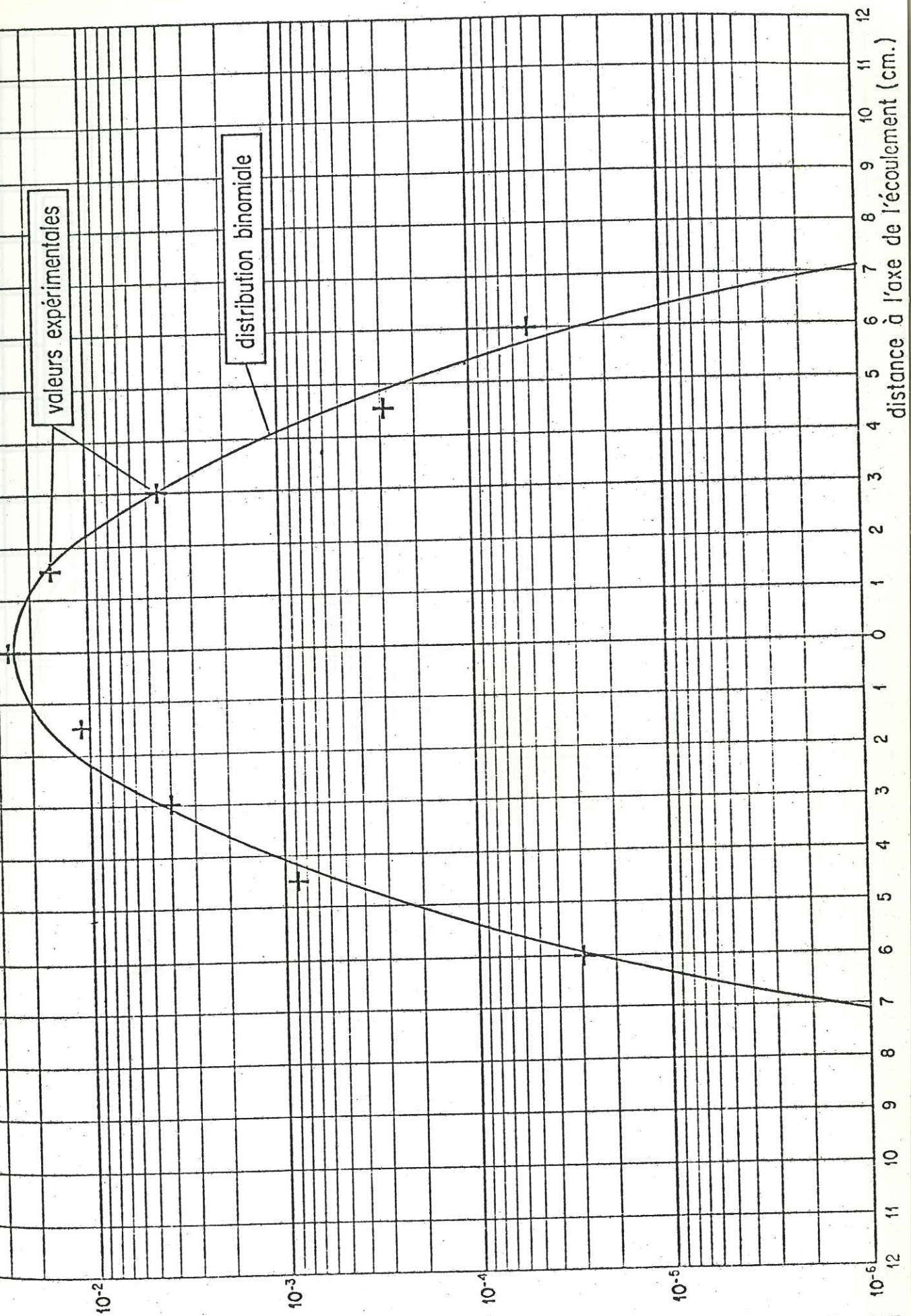
tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE DISTRIBU-TION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES SUR UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 0,75 METRE DU POINT D'INJECTION

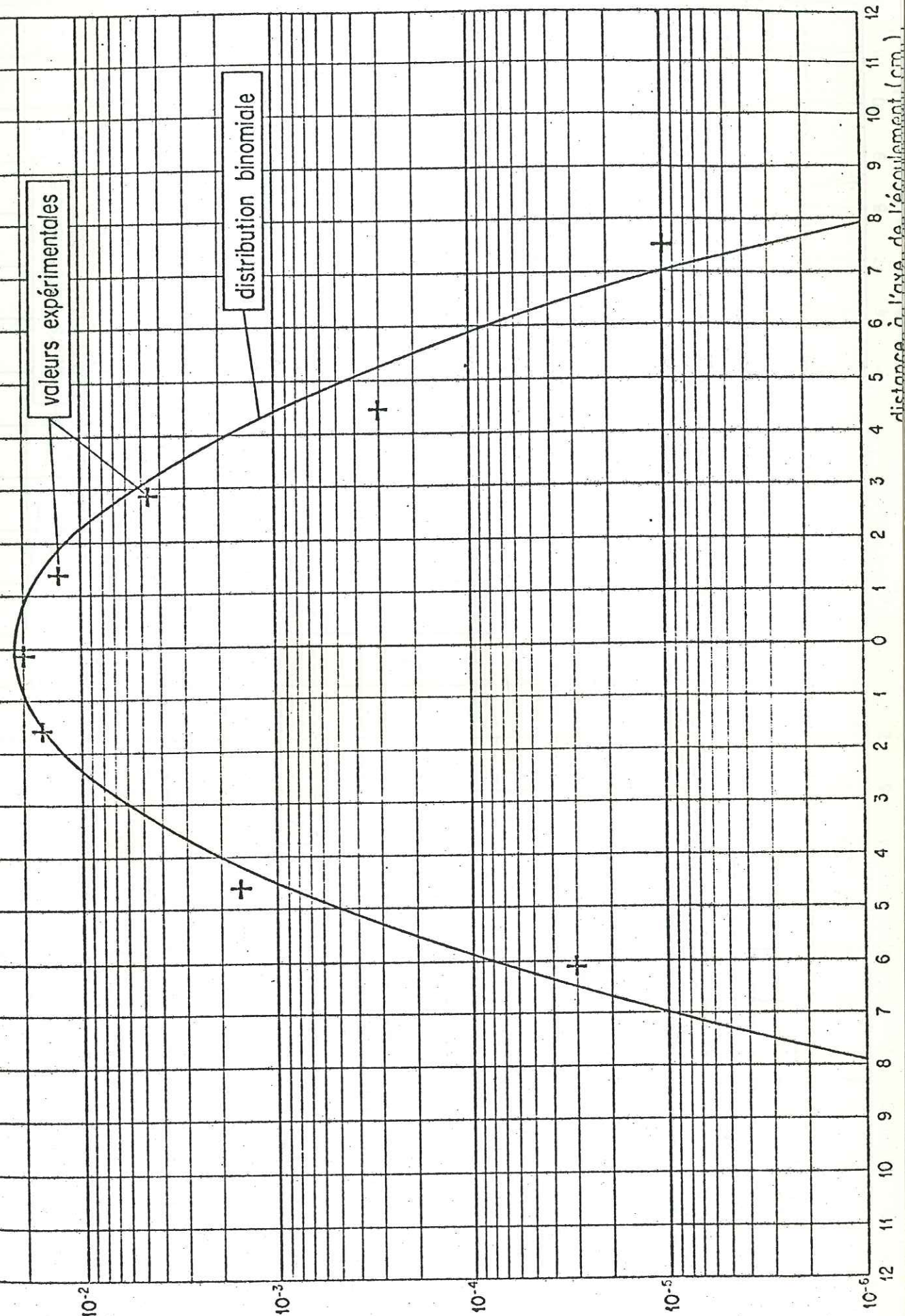
Figure 57

tel=00783396, version 1 1 Feb 2013



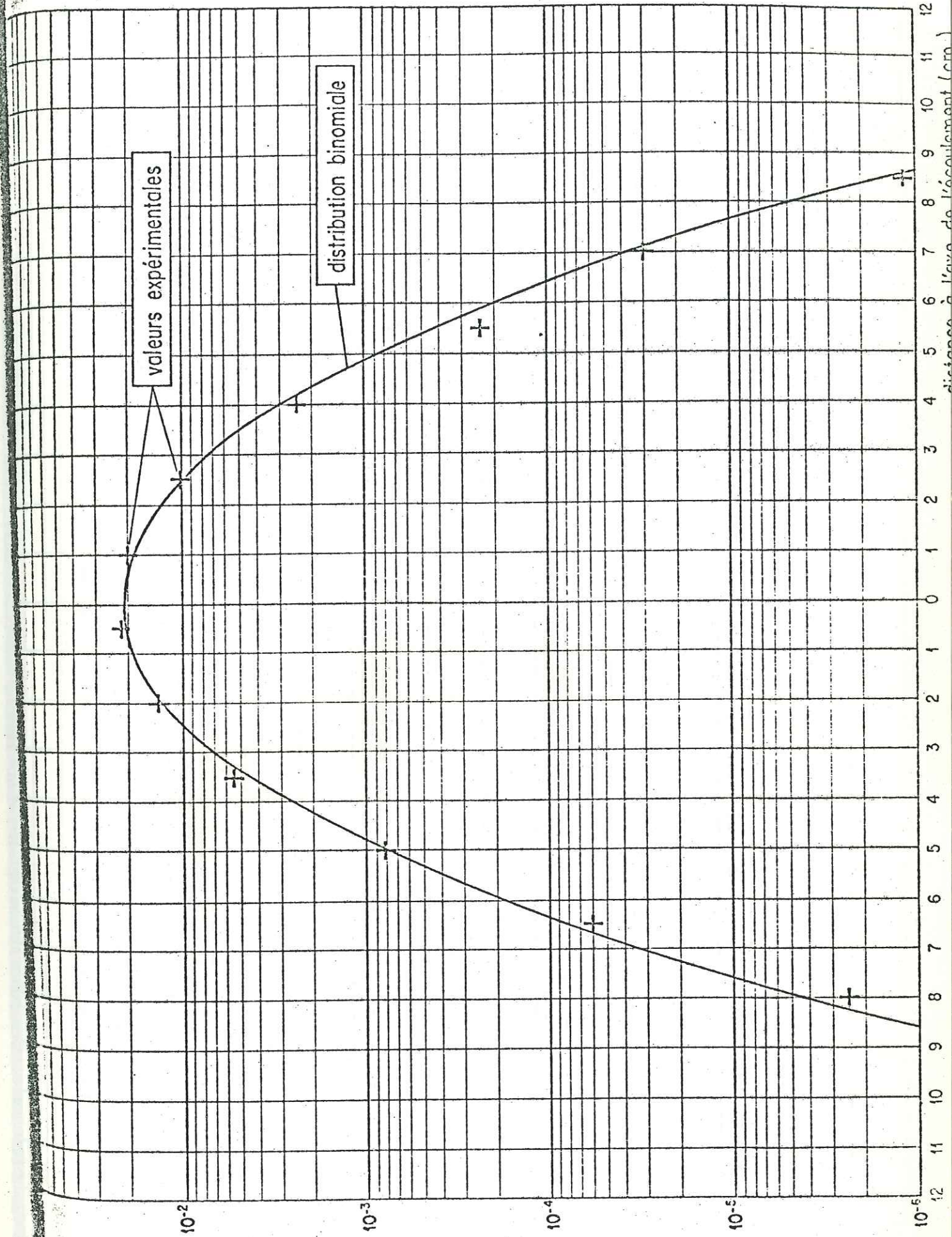
COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES A UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 1,00 METRE DU POINT D'INJECTION

tel=00783396, version 1 - 1 Feb 2013



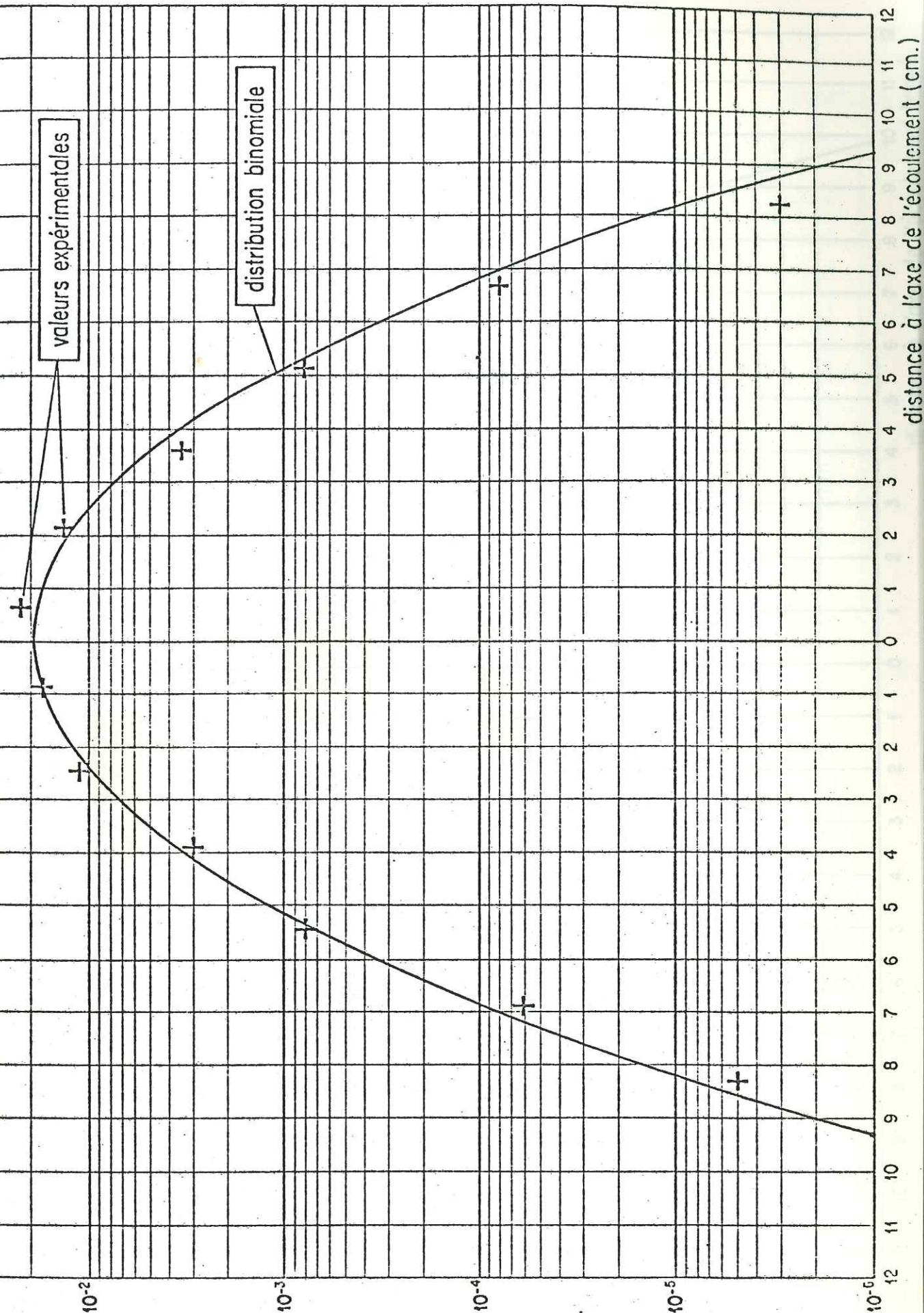
COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES DANS UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 1,25 METRES DU POINT D'INJECTION

tel:00783396, version 11-1 Feb 2013



COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES A UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 1,50 METRES DU POINT D'INJECTION

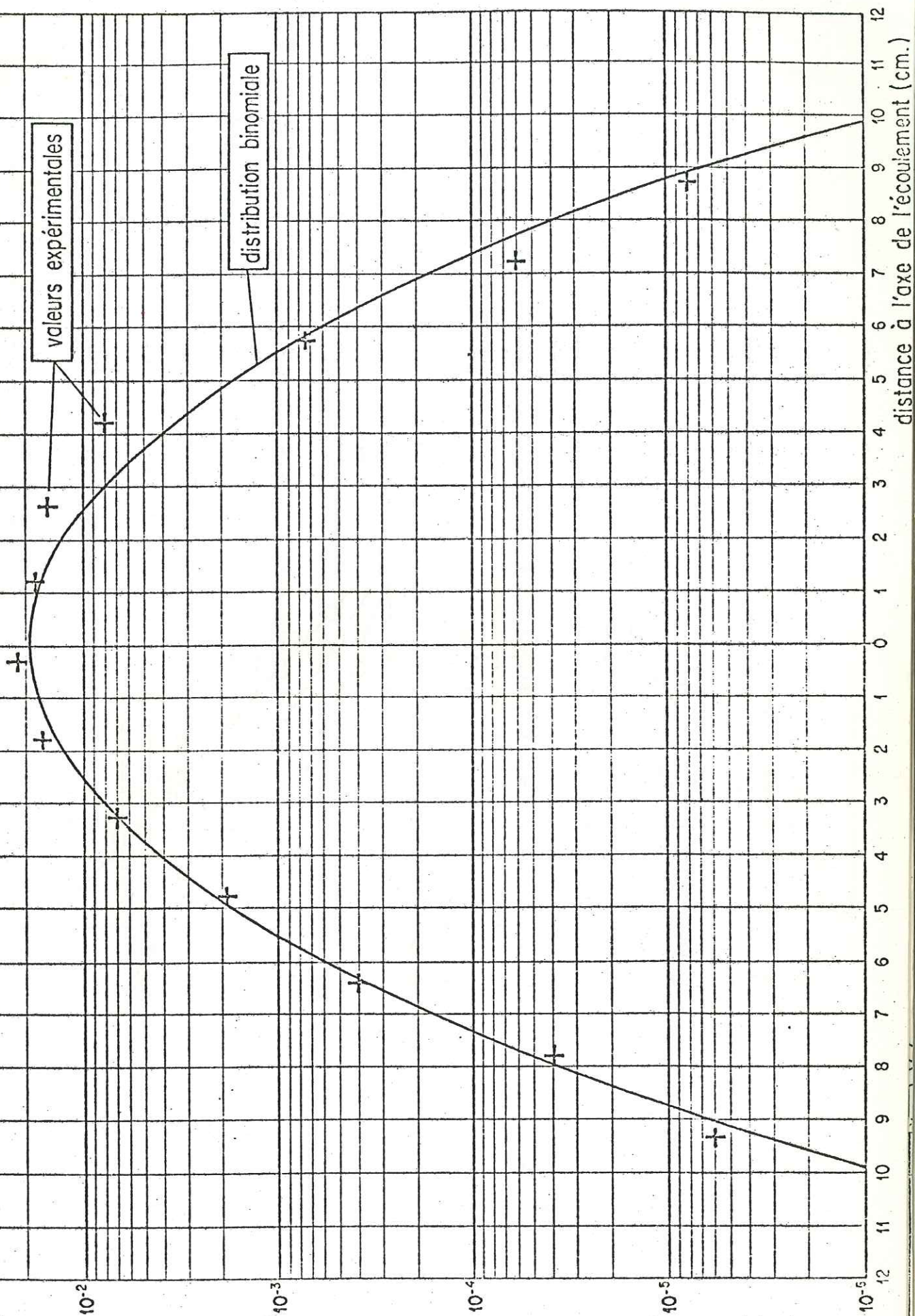
tel=00783396, version 1.1 Feb 2013



COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE  
DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES  
SUR UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 1,75 METRES DU  
POINT D'INJECTION

Figure 61

tel:00783366, version 1 14 Feb 2013



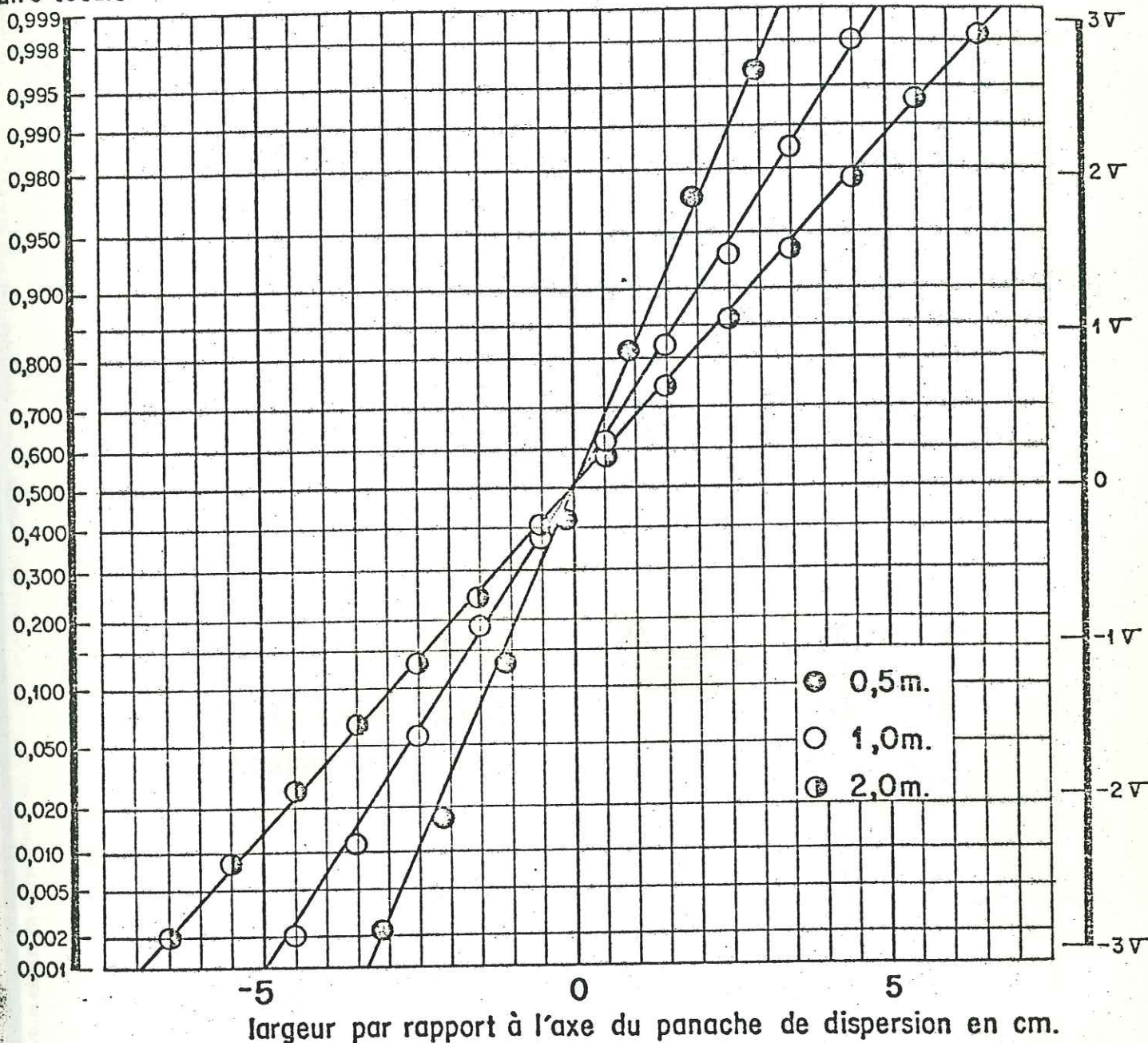
COMPARAISON ENTRE LES DENSITES DE PROBABILITE CALCULEES SUIVANT UNE DISTRIBUTION BINOMIALE ET LES CONCENTRATIONS RELATIVES EN TRACEUR OBSERVEES SUR UNE SECTION PERPENDICULAIRE A L'ECOULEMENT A 2,00 METRES DU POINT D'INJECTION

Figure 62

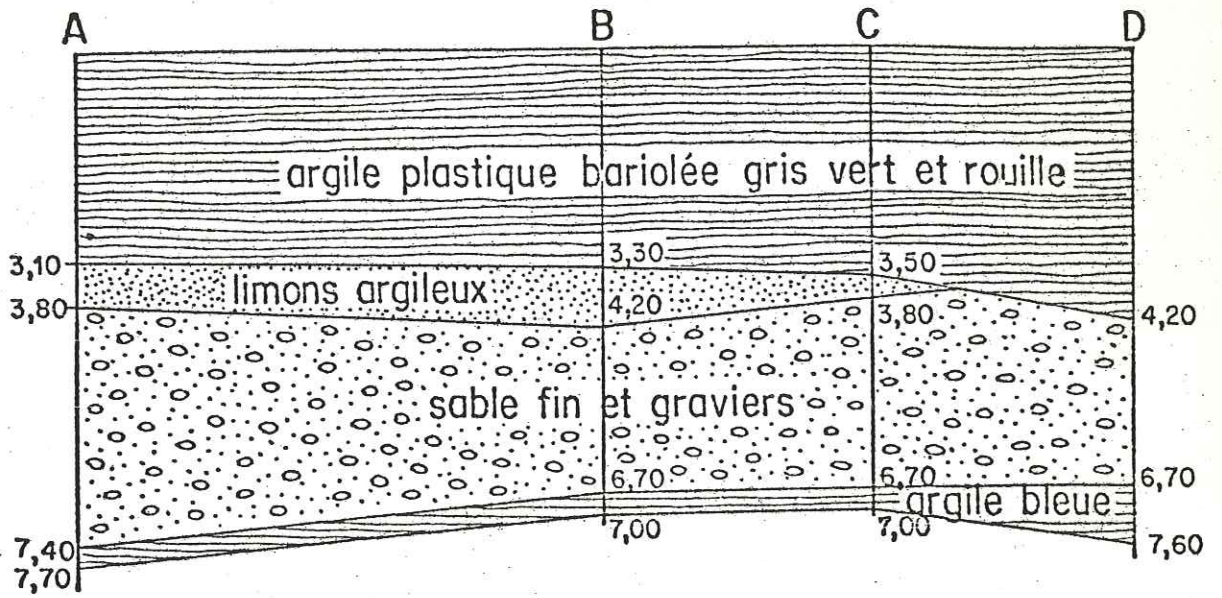
aires cumulées

écart\_type

aire totale



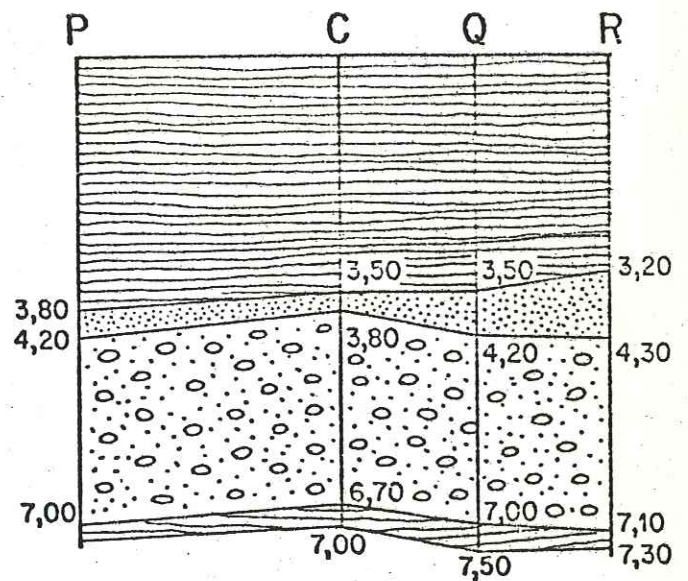
TEST DE NORMALITE (DROITE DE HENRY) DE LA DISPERSION TRANSVERSALE A DIFFERENTES DISTANCES DU PUIT D'INJECTION



Echelle :

Longueur = 1/300

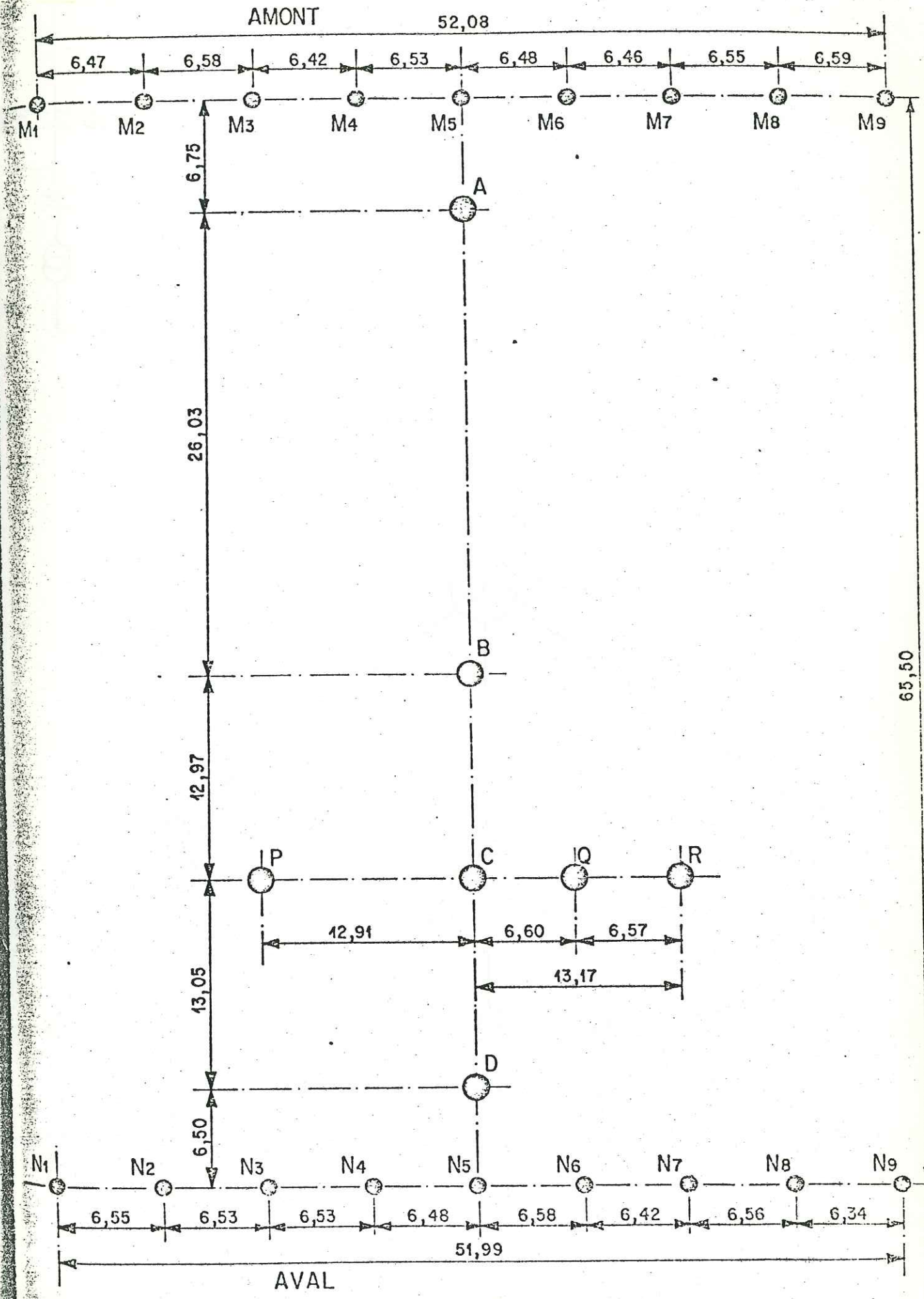
hauteur = 1/100



PROFILS LONGITUDINAL ET TRANSVERSAL DANS LA PARTIE EXPERIMENTALE

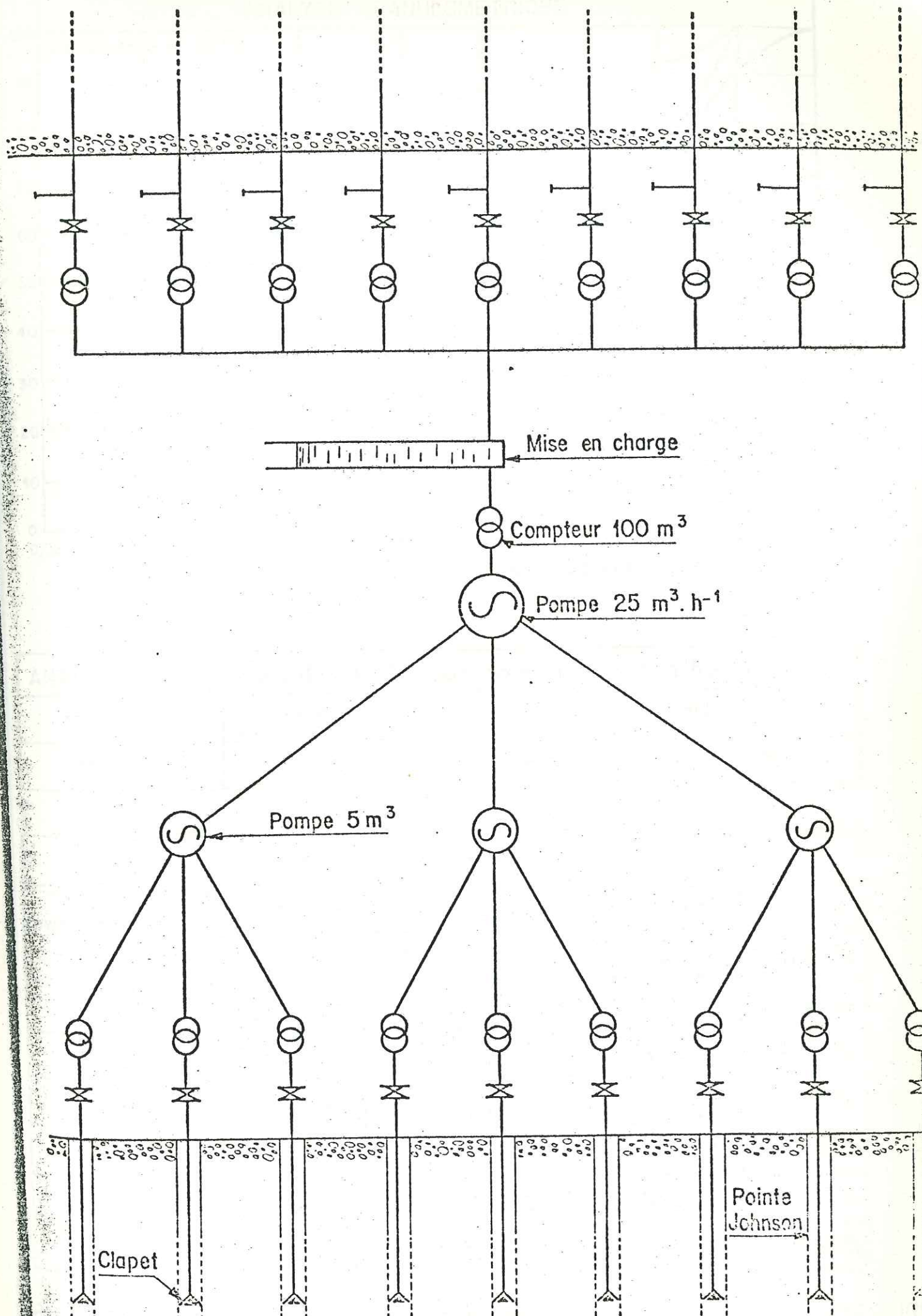


tel:00783336, version 1 1 Feb 2013



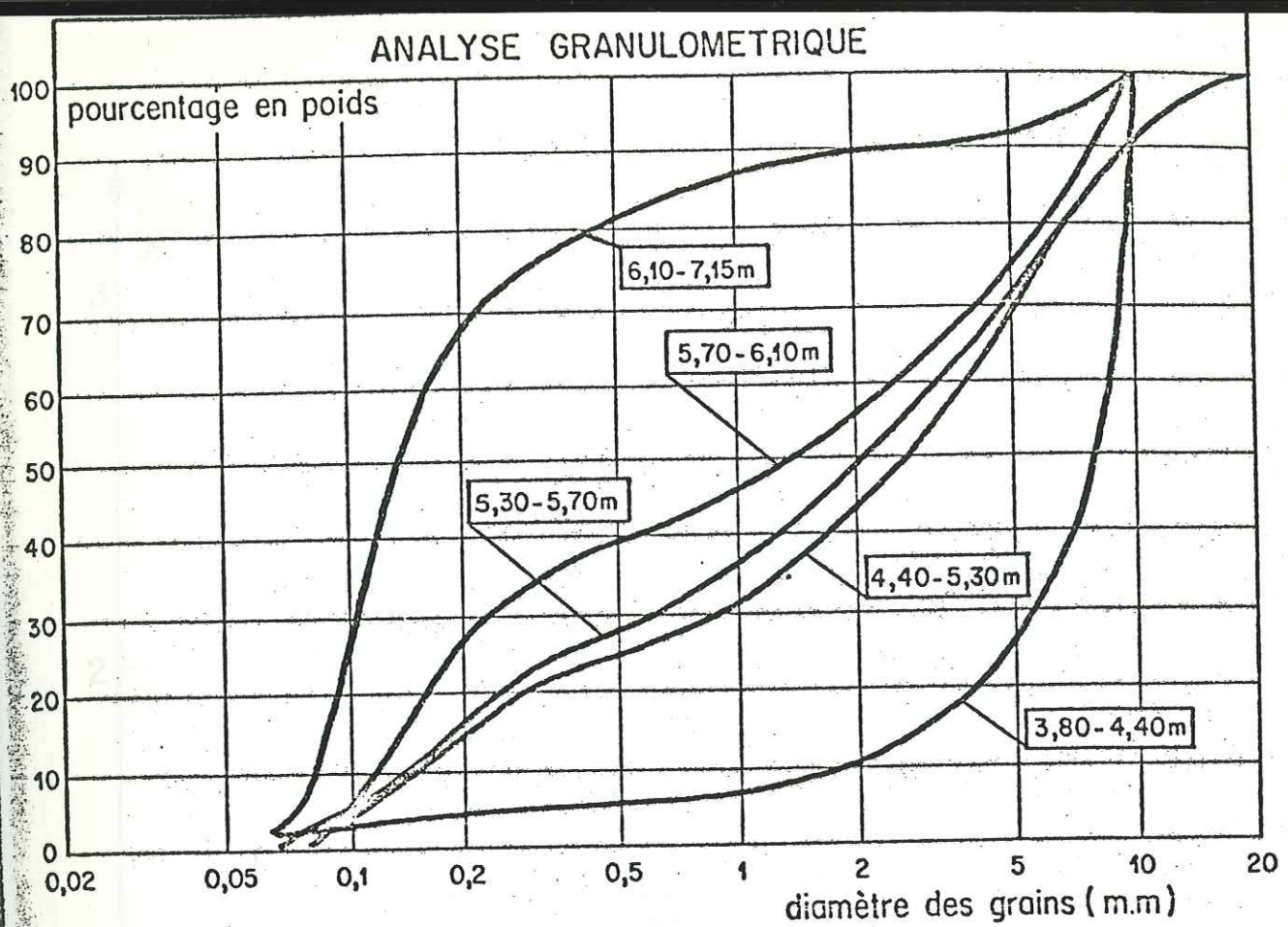
IMPLANTATION DES PUIITS SUR LE SITE DE BONNAUD

tel:00783396, version 1 1 Feb 2013



SCHEMA DU CIRCUIT HYDRAULIQUE DE RECIRCULATION

Figure 66



### ANALYSE MINERALOGIQUE (échantillon moyen sur toute la hauteur)

quartz	calcite	feldspaths	minéraux argileux
75 %	10 %	8 %	7 %

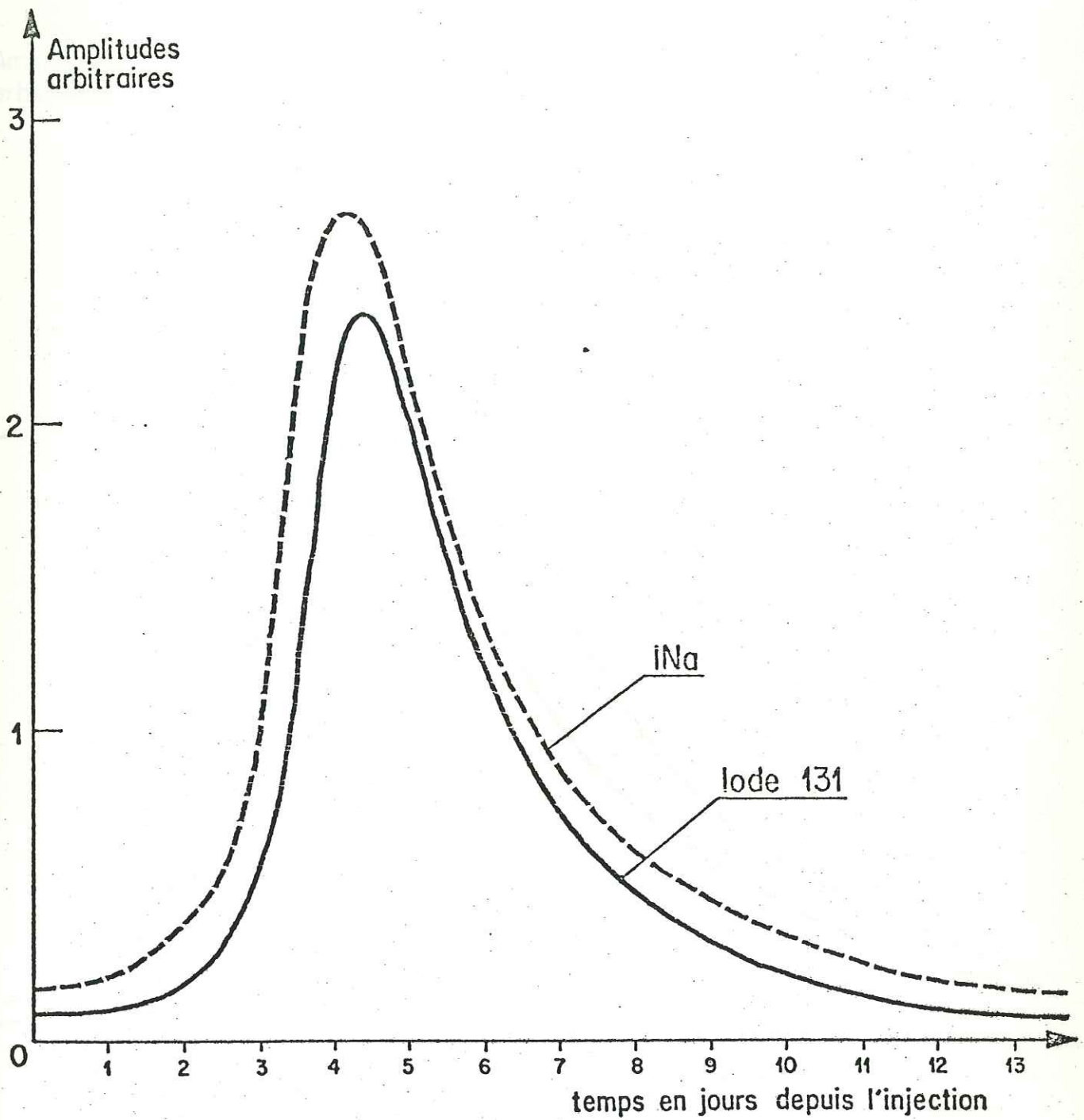
### ANALYSE CHIMIQUE

PROFONDEUR	3,80-4,40m	4,40-5,30m	5,30-5,70m	5,70-6,10m	6,10-7,15m
CONSTITUANTS					
SiO <sub>2</sub>	22,25 %	47,40 %	55,00 %	57,80 %	63,40 %
CaO	40,75 %	26,05 %	21,55 %	18,70 %	14,05 %
MgO	0,80 %	0,60 %	0,80 %	0,60 %	0,95 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90 %	1,20 %	1,25 %	2,55 %	4,40 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,88 %	2,11 %	2,32 %	2,32 %	1,85 %
CO <sub>2</sub>	30,60 %	19,53 %	16,15 %	12,85 %	10,45 %
S	0,038 %	0,028 %	0,024 %	0,022 %	0,050 %

ACTERISTIQUES DU MATERIAU AQUIFERE A DIFFERENTES PROFONDEURS

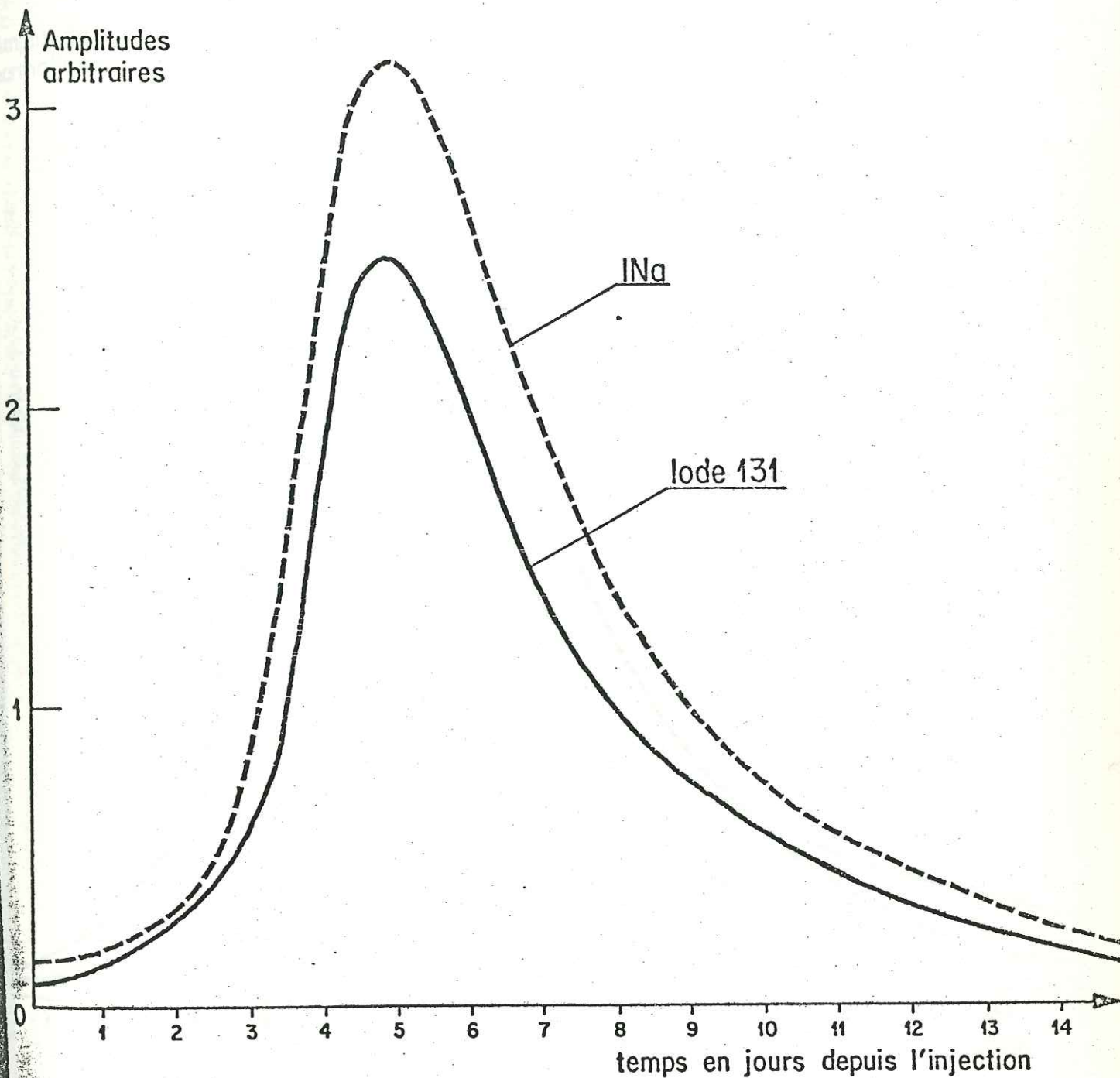
Figure 67

tel:00783336, version 1 - 11 Feb 2013



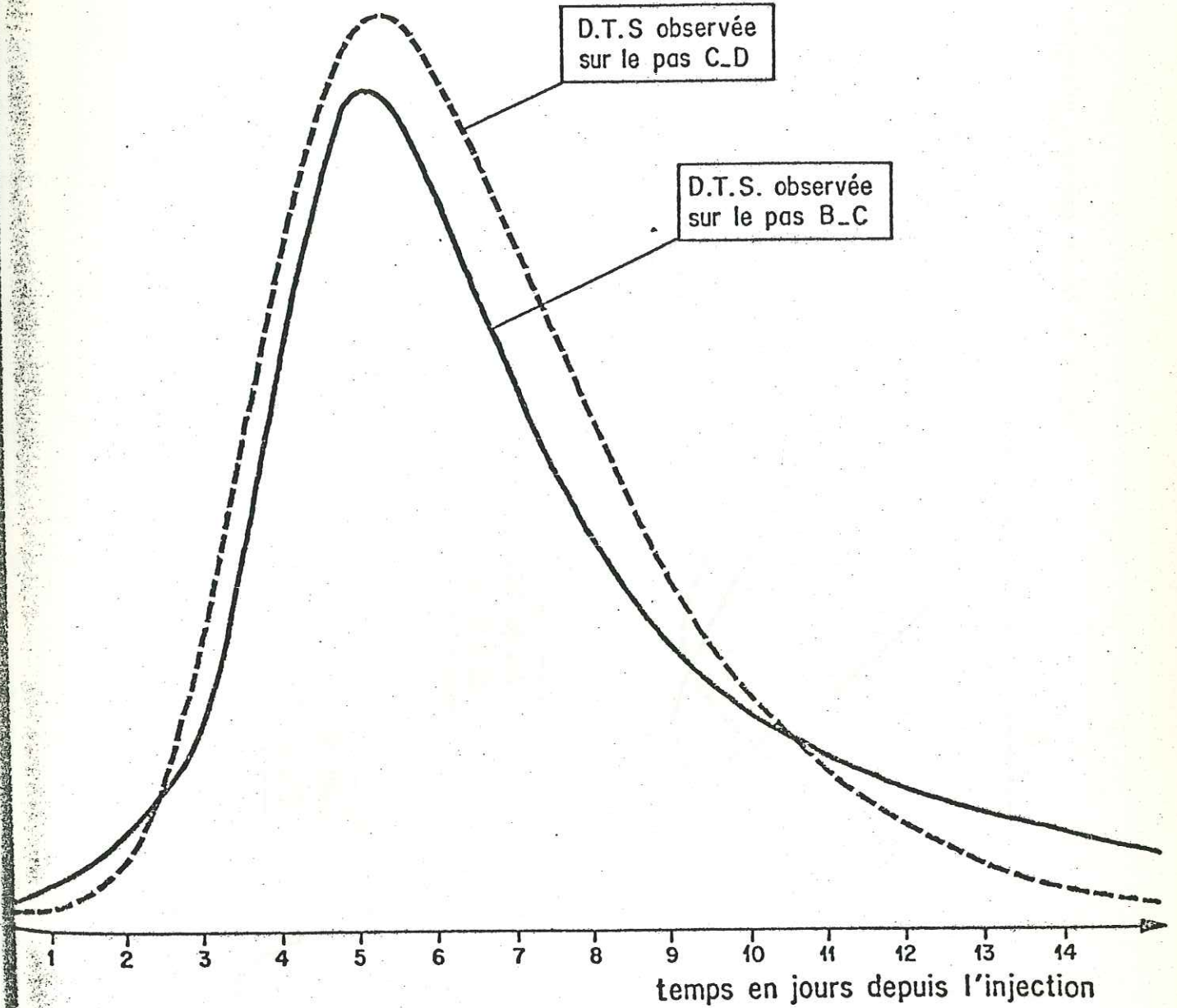
TRANSFERTS COMPARES DE L'IODURE POUR DES MASSES INJECTEES NOTABLEMENT DIFFERENTES ( campagne 1974 )

tel-00783336, version 1 - 1 Feb 2013



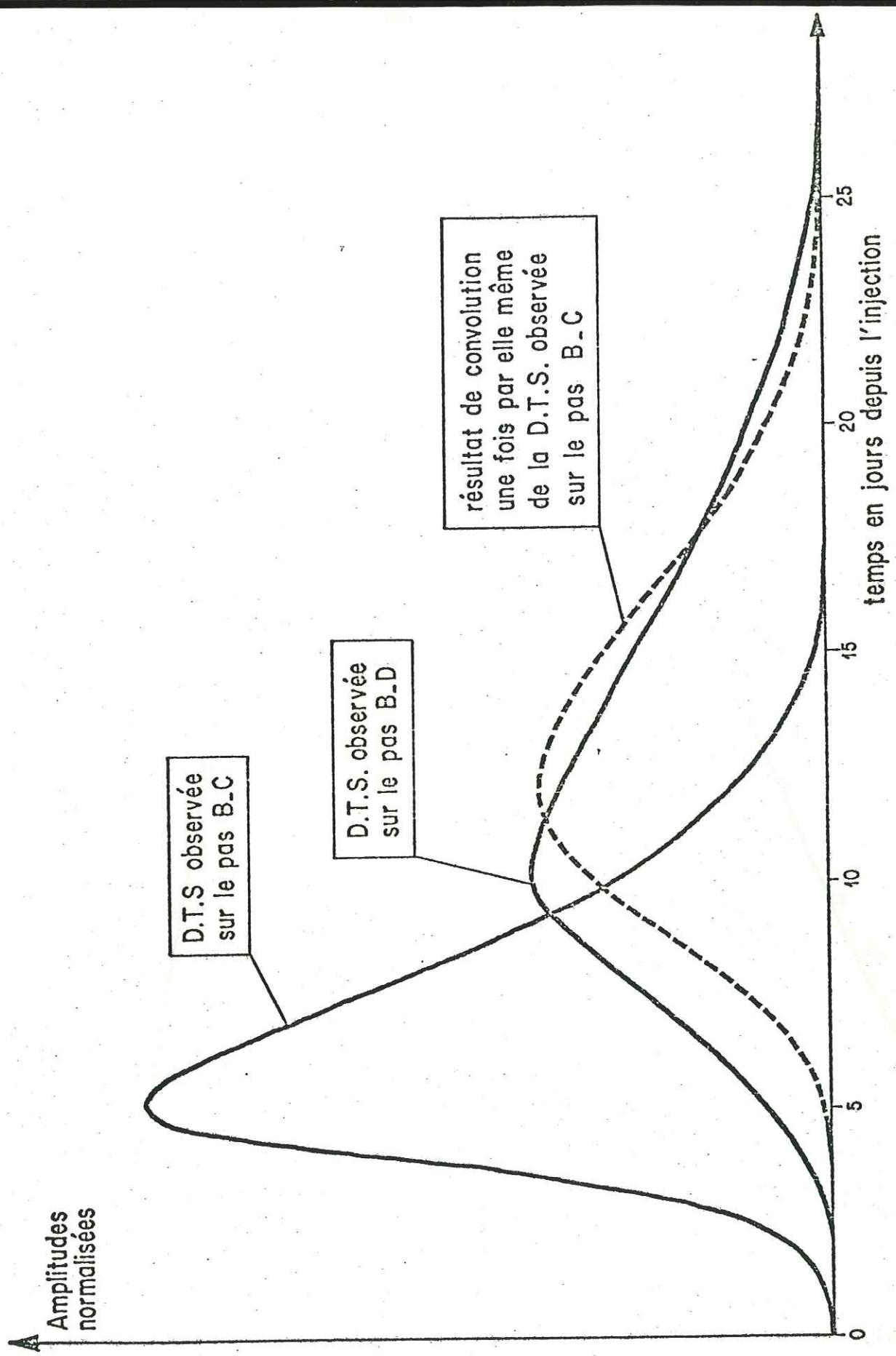
TRANSFERTS COMPARES DE L'IODURE POUR DES MASSES INJECTEES NOTABLEMENT DIFFERENTES (campagne 1975)

Amplitudes  
normalisées



COMPARAISON DES REPONSES IMPULSIONNELLES (D.T.S.) OBSERVEES  
SUR DEUX PAS D'EXPERIENCE DISTINCTS

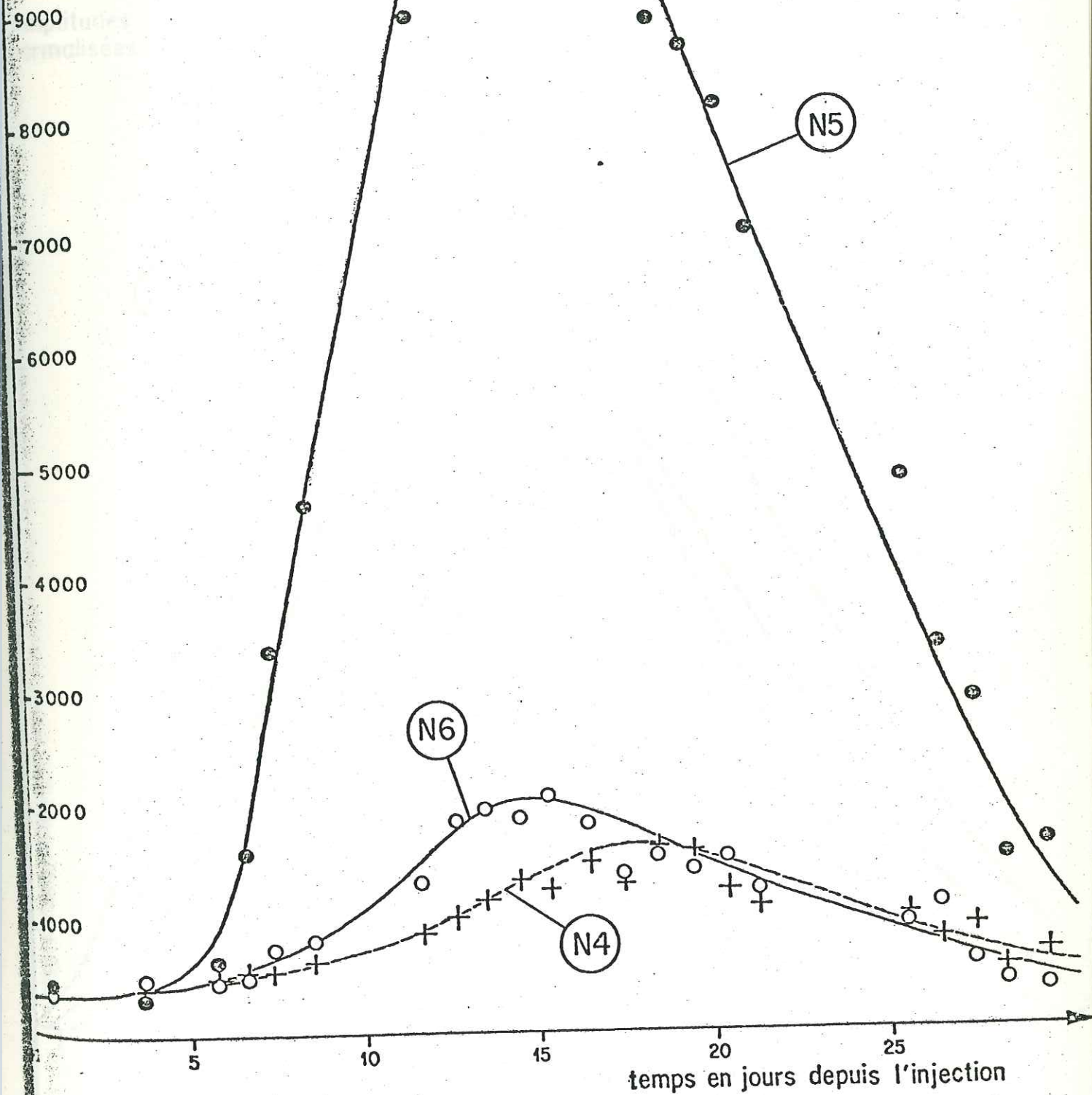
tel=00783396, version 1 Feb 2013



VERIFICATION PAR CONVOLUTION DE LA STATIONNARITE DE LA REponse IMPULSIONNELLE (D.T.S) OBSERVEE SUR LE PLUS PETIT PAS D'EXPERIENCE B\_C (13 mètres)

Figure 71

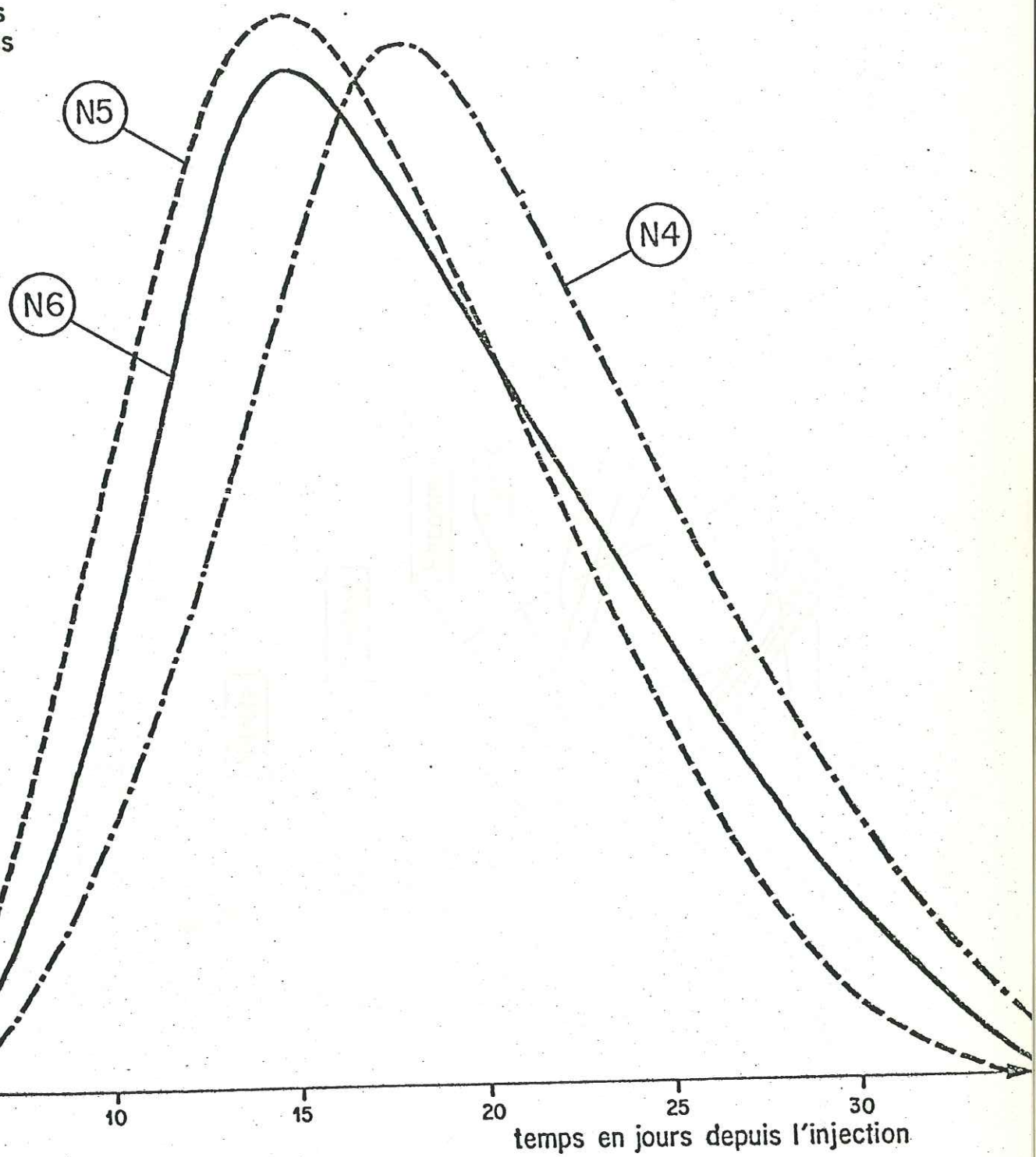
Taux de comptage  
en 5 minutes après  
correction de la  
décroissance



COURBES DE RESTITUTION DANS LES POINTES DE POMPAGE  
N4, N5, N6, DE L'IODE 131 INJECTE DANS LE PUIS B

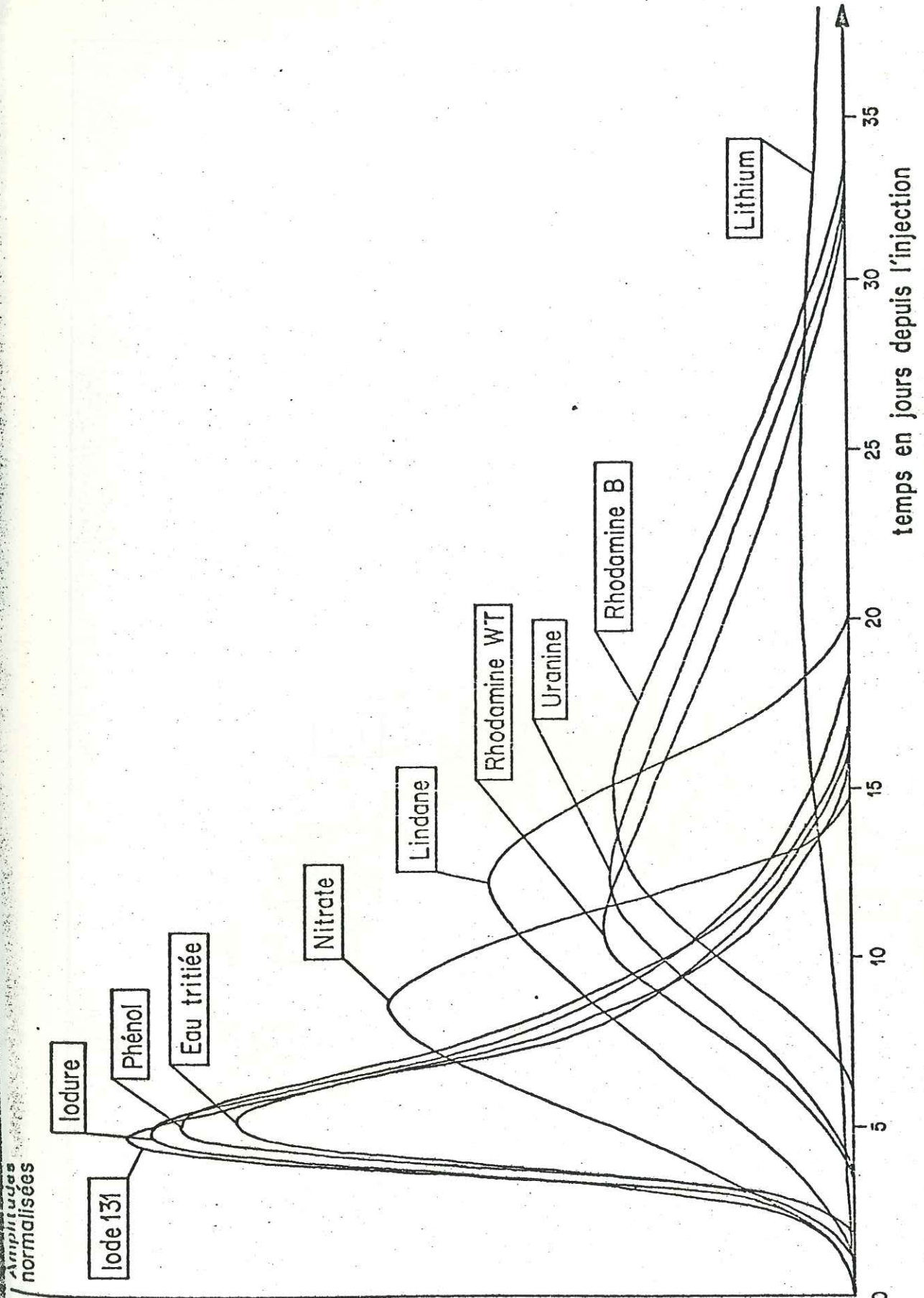


Amplitudes normalisées



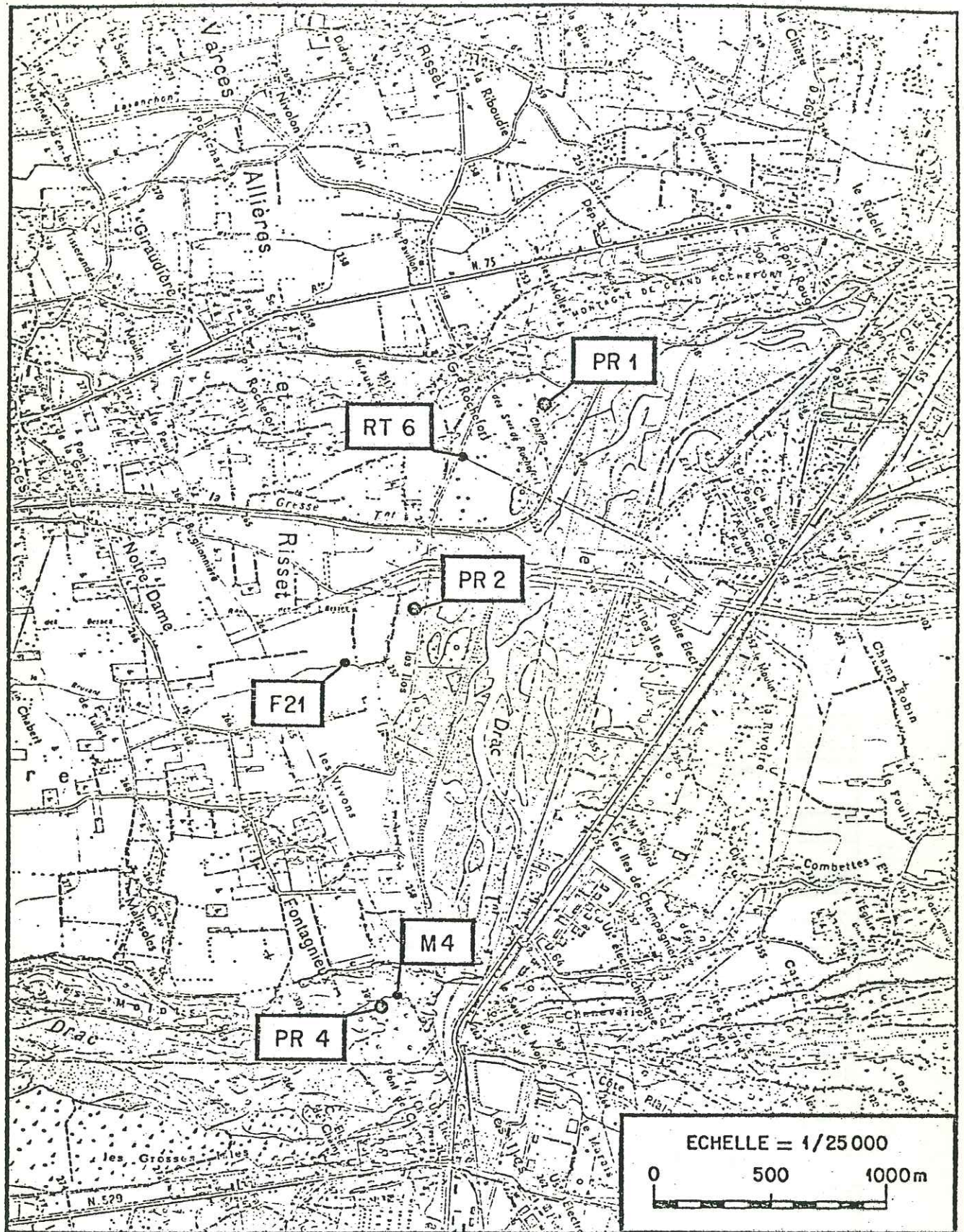
REPONSES IMPULSIONNELLES (D.T.S) DEDUITES DES COURBES DE RESTITUTION PRESENTEES A LA FIGURE 72

tel-00783336, version 1 - 1 Feb 2013

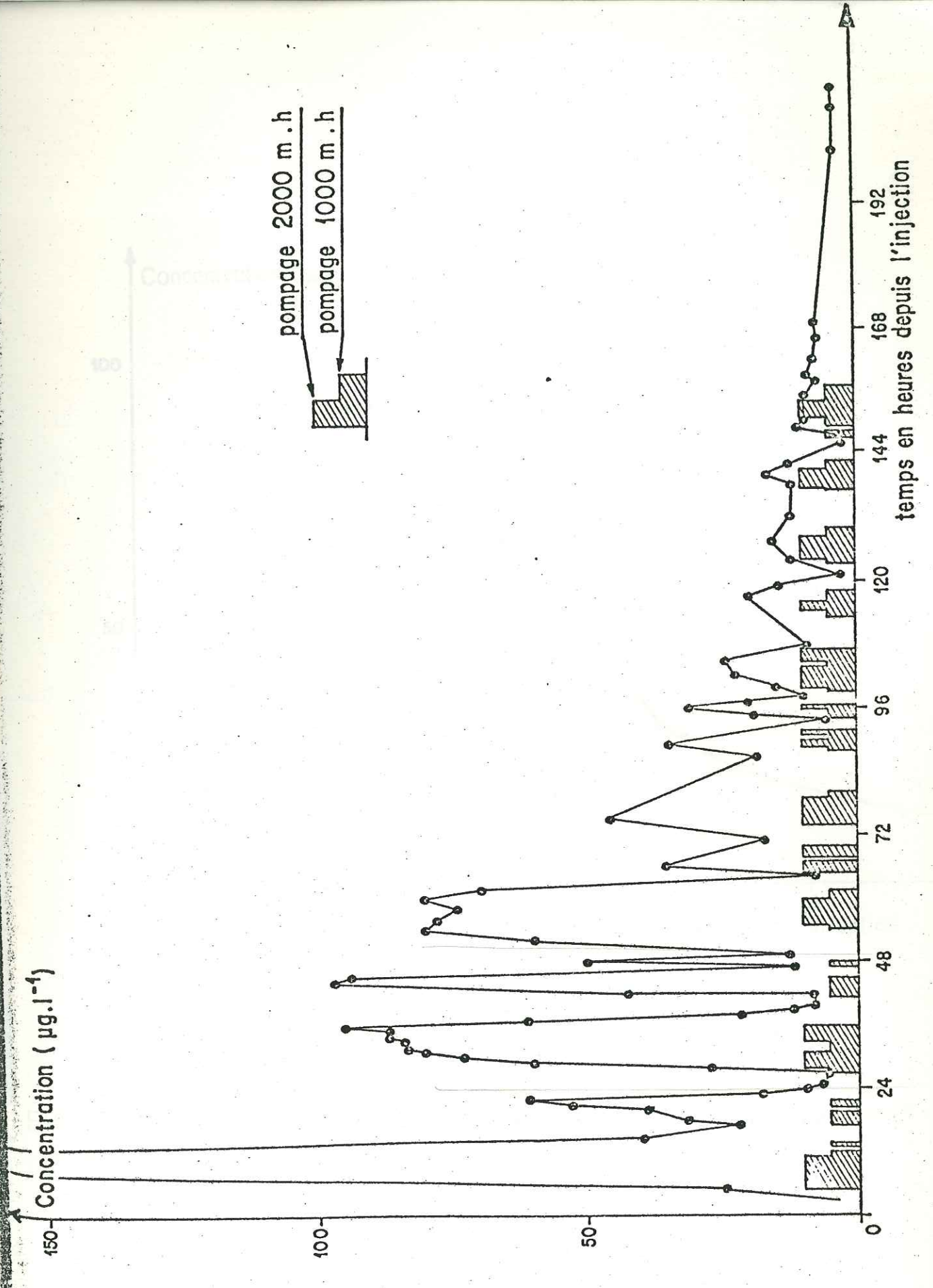


RESTITUTION DANS LE PUIS D DES DIFFERENTES SUBSTANCES INJECTEES DANS LE PUIS C DISTANT DE 13 METRES

Figure 74

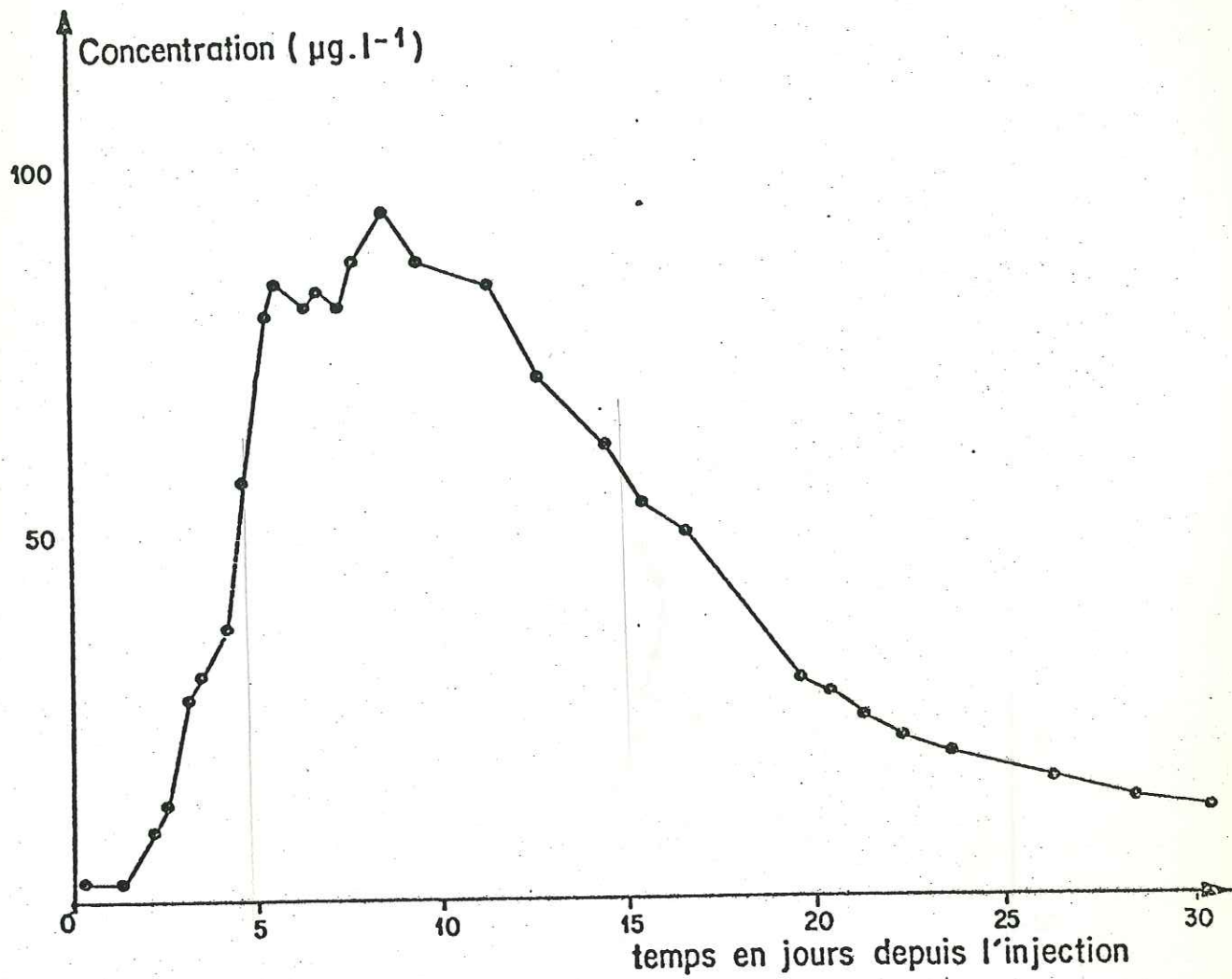


SITUATION DES ESSAIS SUR L'ARE DES CAPTAGES DE LA VILLE DE GRENOBLE

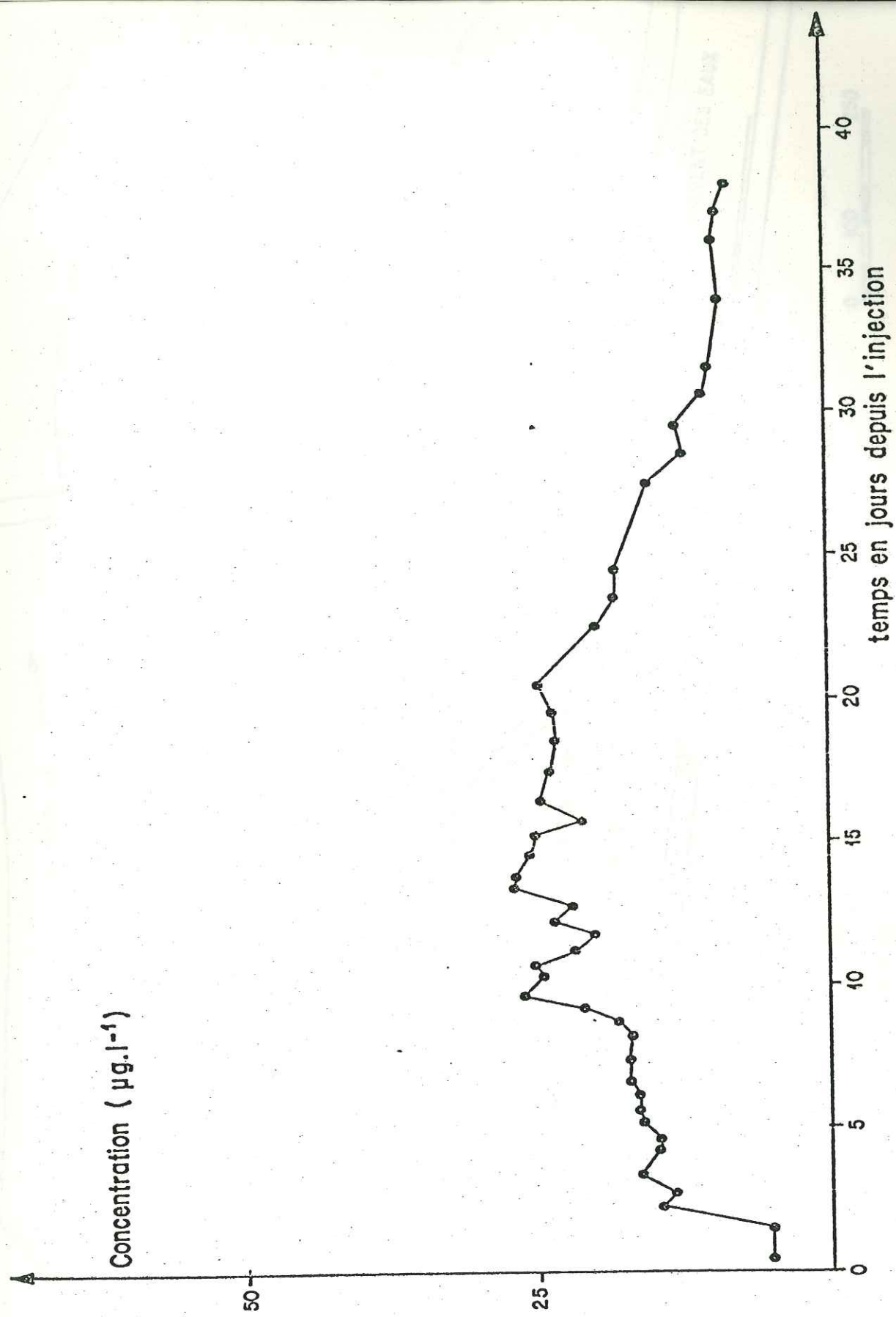


EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN IODURE DANS LES EAUX DU Puits PR4

Figure 76



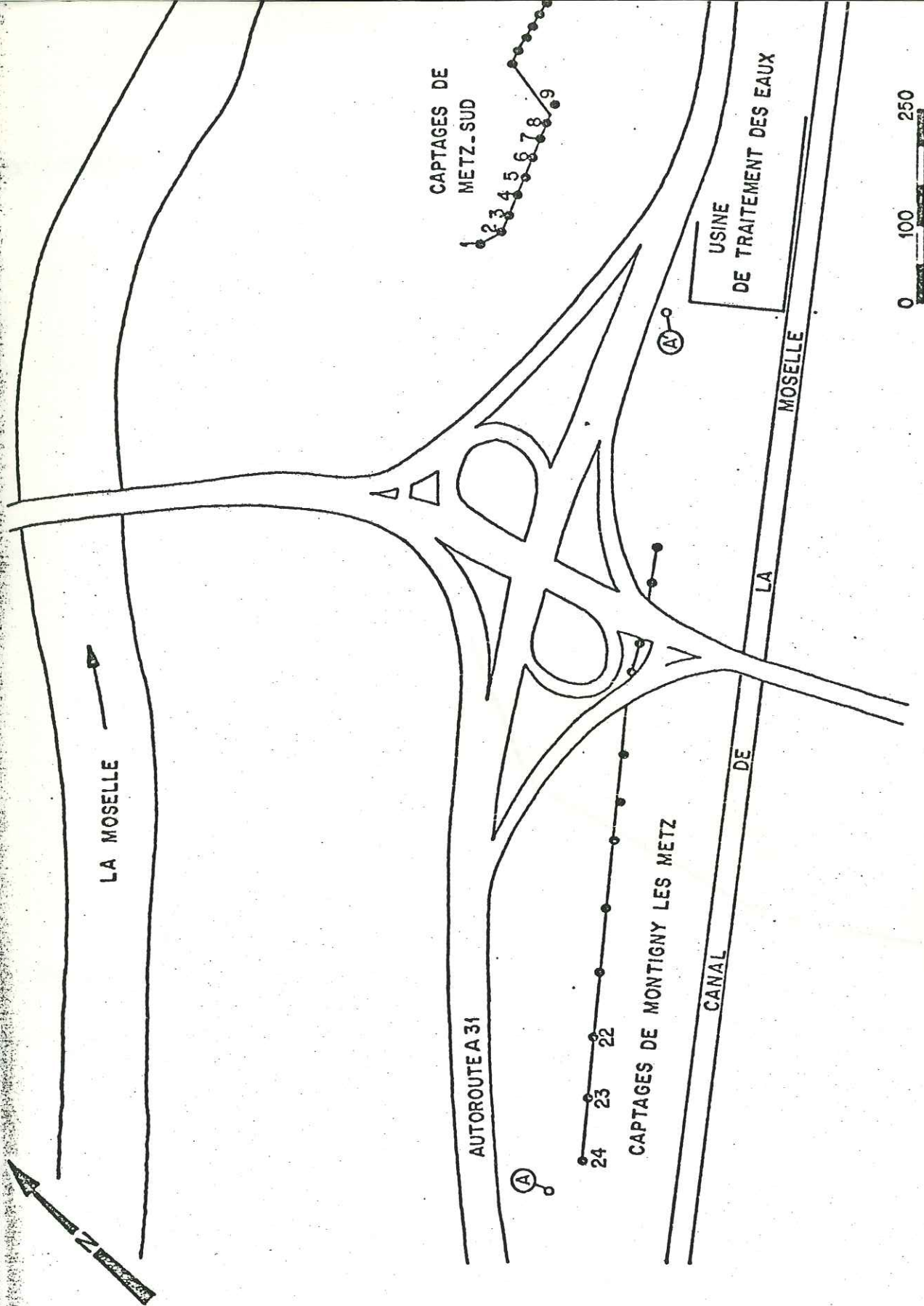
EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN IODURE DANS LES EAUX  
DU PUIS PR2



EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN IODURE DANS LES EAUX DU PUIS PR1

Figure 78

tel:00783336, version 1, Feb 2013

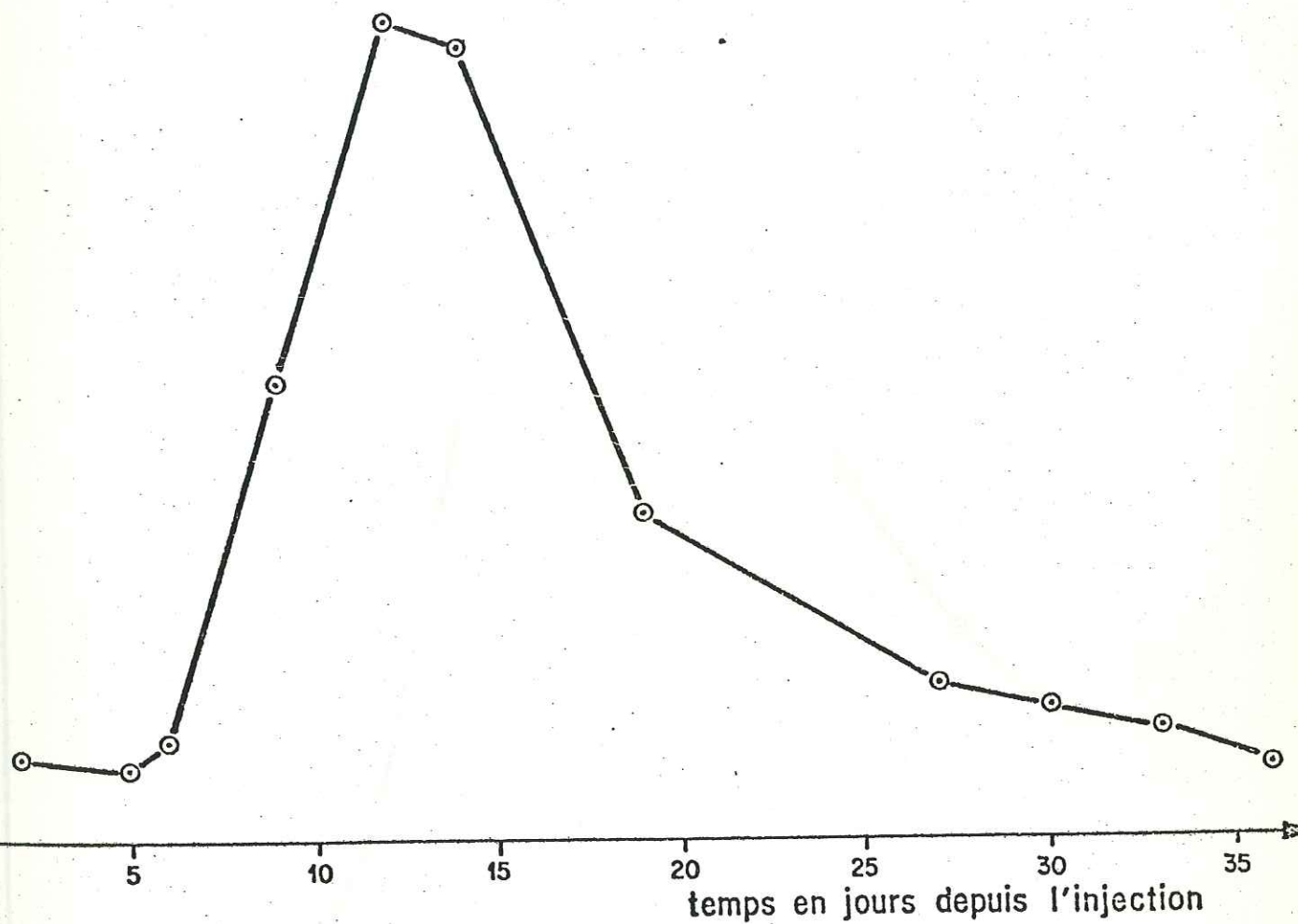


SITUATION DES ESSAIS SUR LES AIRES DES CAPTAGES DES VILLES DE MONTIGNY LES METZ ET METZ-SUD

Figure 79

Concentration ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )

Distance entre le puits A' et le puits 23 = 118m

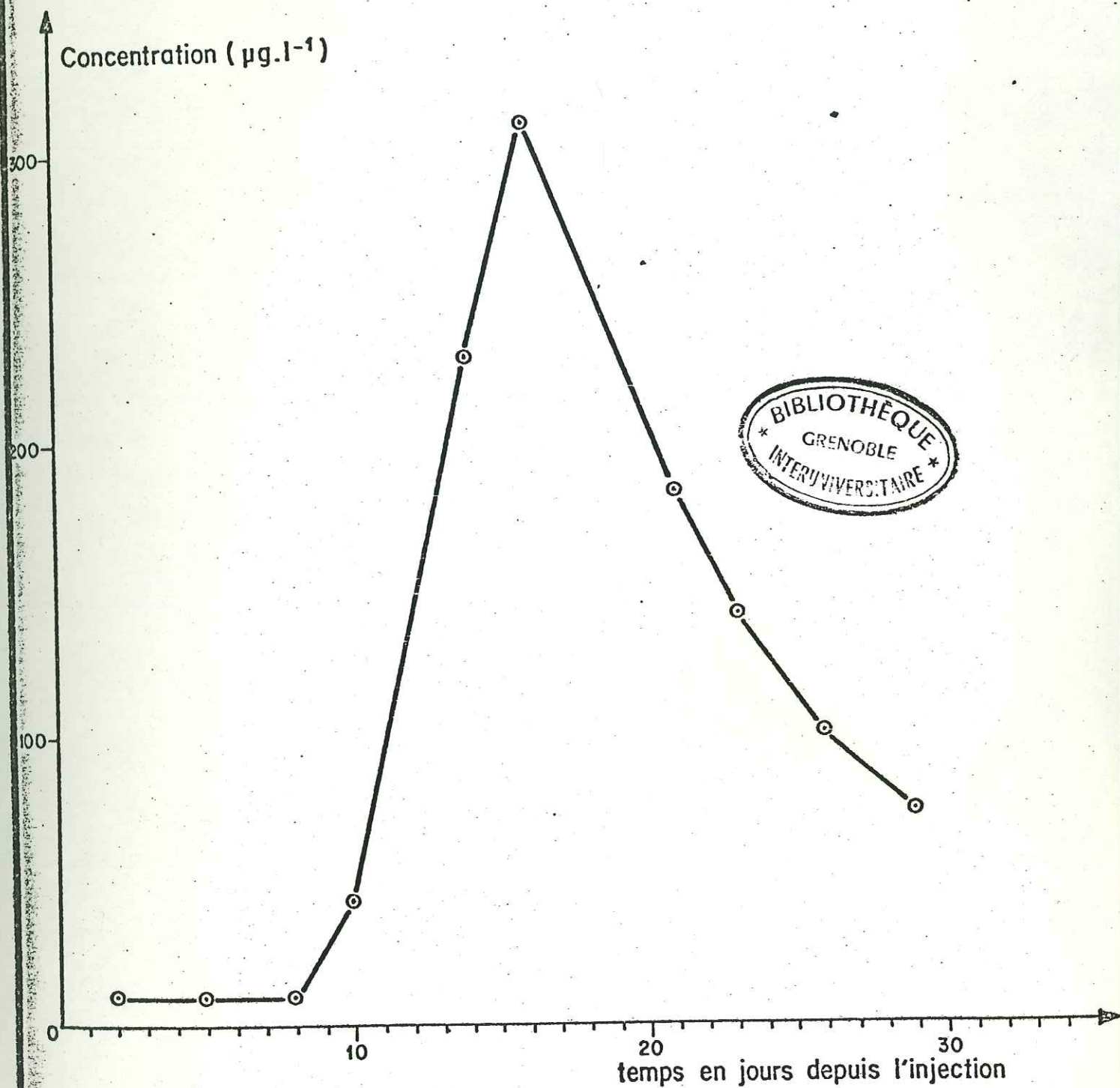


EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN IODURE DANS LES EAUX DU PUIT 23

tel-00783396, version 1 - 1 Feb 2013



Distance entre le puits A et le puits 5 = 234m



EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN IODURE DANS LES EAUX DU PUIITS 5