



MICROFICHE N°

00678

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F

1

26 JUIL. 1976

RAPPORT D'ACTIVITE

A L'ISSUE DE 2 ANNEES D'ETUDE

A LA SECTION HYDROLOGIE DE L'ORSTOM

--OoO--

JUIN 1976.

A. GHANNOUCHI

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE MER

(O.R.S.T.O.M)

Mission - Tunisie

RAPPORT D'ACTIVITE

A L'ISSUE DE 2 ANNEES D'ETUDE

A LA SECTION HYDROLOGIE DE L'ORSTOM

---000---

JUIN 1975.

A. GHANNOUCHI

تسوية

الدراسة في قسم المياه السطحية بنديوان الابحاث
العلمية والتقنية باقطار ما وراء البحار تمتد الى
سنتين .

— الاولى مسخرة للنظريات وتكون في الادارة المركزية بباريس
— الثانية مسخرة للتطبيق على عين المكان .

والا في هذه المذكرة اعطي تقريرا لكل الاعمال التي
تمت بها في اطار سنتي الدراسة .

A V A N T - P R O P O S

Les études à la Section Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M s'étalent sur deux années. Une première consacrée à la théorie, s'effectue au bureau Central à PARIS et une deuxième, à la pratique sur terrain.

Nous nous proposons dans ce mémoire de resumer les activités que nous avons été amené à entreprendre dans le cadre de ces deux années d'études.-

SOMMAIRE

-/-

1.- PREMIERE ANNEE

1.1.- Activités au bureau central

1.2.- Stages en France

2.- DEUXIEME ANNEE

2.1.- Activités de terrain

2.2.- Activités de bureau

3.- CONCLUSION

4.- ANNEXE

1.- PREMIERE ANNEE :

1.1.- Activités au bureau central

1.1.1.- Programme général d'hydrologie et de climatologie

L'enseignement est donné sous forme d'exercices proposés par les chercheurs du Service. Nous nous documentons à propos du sujet en question que nous traitons par la suite. Les résultats sont commentés en groupe et les applications font l'objet de petits exposés.

Nous donnons les têtes des chapitres du programme général d'hydrologie et de climatologie :

- 1 - Morphologie du bassin versant
- 2 - Etude des précipitations
- 3 - Etablissement des données sur les débits, dites de base
- 4 - Etudes sur les apports (Grands bassins)
- 5 - Etiages et basses eaux
- 6 - Crues des petits bassins
- 7 - Crues des grands bassins.

A la fin de l'année nous avons été affecté auprès de Mr. DUREUIL, Inspecteur Général des recherches à l'ORSTOM, secrétaire permanent du Comité technique d'hydrologie de l'ORSTOM pour la participation à l'étude des crues de l'AVEYRON (FRANCE).

1.1.2.- Programme général d'informatique

Le programme d'informatique a été exécuté sous la seule responsabilité de Mr. J. SIRCOULON Ingénieur Hydrologue de l'ORSTOM.

Ce programme comprend :

- La lecture du cours programmé FORTRAN IV mis au point par I.B.M et la résolution des exercices qui y sont inscrits.
- La lecture de certains programmes exécutés par le Service Hydrologique.
- Des exercices de programmation relatifs à des problèmes d'Hydrologie.

Nous donnons en annexe la liste FORTRAN des deux principaux programmes que nous avons élaborés ainsi qu'un tableau de données traitées par le second. Les cartes utilisées ont été perforées par nous même et les montages d'erreurs déchiffrés avec l'aide du responsable informatique.

.../...

1.2.- Stages en France

Dans le cadre de la formation pratique des élèves, nous avons effectué deux stages : le premier à l'ENSEIT à Toulouse, le second au CEA à Cadarache.

Nous donnons en annexe les compte-rendu de ces deux stages.

2.- DEUXIEME ANNEE :

Dans le cadre de la convention passée entre l'ORSTOM et le Ministère de l'Agriculture de Tunisie nous avons été affecté à la Division des Ressources en Eau et en Sol (DRES) pour l'exécution d'un programme établi par Mr. J. CLAUDE, chargé de recherches à l'ORSTOM, responsable de la Section Hydrologie à la Mission ORETOM en Tunisie.

Ce programme comporte :

- Activités de terrain :

- Mesures sur le terrain
- Travaux d'entretien et d'installation
- Tournées de reconnaissance et de prospection
- Tournées pluviométriques

- Activités de bureau :

- Travaux de dépouillement
- Edition de l'annuaire Hydrologique 1974-75
- Organisation des archives
- Etudes

2.1.- Activités de terrain

2.1.1.- Mesures sur terrain

Nous avons participé à une campagne de jaugeages, minimum, de chacune des 10 zones installées dans le Pays ; ceci nous a permis de connaître tous les points de jaugeages, ou presque, de la Tunisie.

Nous avons pu intervenir pour deux crues survenues toutes les deux le 4.11.75, l'une à l'Oued R'Mel, l'autre à l'Oued Kheirat.

Nous avons jaugeé aux flotteurs à la station de Sidi Abdallah sur l'Oued R'Mell et au saumon et téléphérique à l'Oued Kheirat.

.../...

2.1.2.- Travaux d'entretien et d'installation

Nous avons commencé cette série de travaux sur le Bassin Nord de l'ORSTOM, par la construction de deux baraques sur les stations Argilo-calcaire et Eucalyptus. Mais notre formation s'est faite surtout aux côtés du technicien ORSTOM et de l'équipe D.R.E lors de l'installation des nouvelles stations sur le réseau, à savoir :

- Oued R'Mel à Sidi Abdallah	(CC 31)
- Oued Raraï Supérieur	(MC 44)
- Oued Koutine à la GP 1	(DC 12)
- Oued Mellègue au K13	(MC 2)
- Oued Sidi Aïch à Sidi Aïch	(CC 4)
- Oued Leben à Maknassy	(CC 7)

Pour ce qui est de l'entretien et des réparations il serait fastidieux d'énumérer nos interventions effectives.

Toutefois nous disons qu'en dehors des sorties destinées uniquement à la réparation d'un appareil donné, il n'y a pas eu une seule sortie où nous n'ayons pas "salé" nos mains à remonter tel appareil ou à nettoyer tel autre.

2.1.3.- Tournées de reconnaissance et de prospection

Des tournées de reconnaissance organisées par les Ingénieurs de la D.R.E et les chercheurs de l'ORSTOM nous ont amenés dans presque tout le Pays.

Au cours des tournées de prospection pour l'installation des stations hydrométriques ou d'annonce de crues, nous avons été sur l'Oued Sarrath du côté de Tejerouine et au confluent du Mellègue-Sarrath, sur l'Oued Morchane du côté de Tamerza, sur les deux Oueds Abida et El Oudiane du côté de Monzel Temime et sur l'Oued Zouara au Nord.

2.1.4.- Tournées pluviométriques

Dans le cadre de la réorganisation du réseau pluviométrique de la D.R.E nous avons effectué des tournées pluviométriques pour rendre compte de l'état des pluviomètres, pour corriger, éventuellement leurs coordonnées et pour contrôler leurs observateurs. Cela nous a permis de connaître, jusqu'à rédaction de ce rapport, à peu près la moitié des 400 pluviomètres dépendants de la D.R.E et répartis dans tout le territoire.

.../...

2.2.- Activités de bureau

2.2.1.- Travaux de dépouillement

C'est surtout pour venir en aide aux agents de Tunis qui ont accusé un certain retard que nous sommes intervenus pour ce genre de travaux.

Toutefois nous avons dépouillé les jaugeages de certaines crues et essayé de le faire pour les essais de jaugeages chimiques du chlorure de Lithium effectués sur le bassin Nord (ORSTOM).

2.2.2.- Edition de l'annuaire hydrologique 1974-75

Nous avons contrôlé certaines étapes pour la réalisation de ce travail. Nous avons rempli les bordereaux de perforation relatifs aux jaugeages effectués dans certaines stations principales et secondaires et contrôlé les listings correspondants.

Mais nous accusons du retard pour la sortie de cet annuaire dû à des pannes de l'ordinateur utilisé par la D.R.E et nous comptons, le moment venu, participer à sa mise "sous presse".

2.2.3.- Organisation des archives

C'est un travail de longue haleine qui a été entamé ; il s'agit de grouper dans une même caisse (carton) les documents concernant une même station et ceci pour toutes les stations.

Nous avons pris à notre charge les stations pluviométriques de la région de Kelibia (Cap-Bon).

2.2.4.- Etudes

C'est dans le domaine de la pluviométrie que notre concours a été sollicité pour l'élaboration de certaines études :

- un dossier pluviométrique de Kelibia-Phare
- participation à l'étude pluviométrique de Gabès demandée par les Ingénieurs Hydrologues installés dans le Sud.

3.- C O N C L U S I O N :

Il faut avouer que ce fût difficile pour nous de nous adapter à l'hydrologie vu notre formation antérieure. Mais, notre encadrement nous a permis de venir à bout de ces difficultés surtout après le stage d'hydrométrie que nous avons effectué à Toulouse.

.../...

En deuxième année ce fût surtout la compréhension, de la part de nos responsables et des responsables et hydrologues D.R.E.S, de notre situation d'élève qui nous a beaucoup aidé à répondre à notre devoir.

Nous saisissons cette occasion pour remercier les chercheurs ORSTOM et les responsables et hydrologues D.R.E.S qui ont contribué à notre formation.-

A N N E X E

C

GANBUCHT ESSAI NO 1

C

C

IMPRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES
CALCUL ET IMPRESSION DES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES

```

DIMENSION IPLUI(12), JPLUI(12,99), KPLUI(12), FRAG(6)
1  FORMAT( 1IMPRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANN
  1UELLES //1X, STATION No. ,16,,2X,6A4//)
2  FORMAT(12X, ANNEE      JANV      FEVR      MARS      AVRI      MAI      JUIN
  1  JUIL      AOÛT      SEPT      OCTO      NOVE      DECE      TOTAL //)
3  FORMAT(/11X, MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES //16X,12(3X,15),5X8I
  16)
5  FORMAT(1X, ERREUR DE STATION )
6  FORMAT(1X, MAUVAISE SEQUENCE )
4  FORMAT(16,16X,6A4,19X,13)
6  FORMAT(16,14,12I5,14)
7  FORMAT(13X,14,12(3X,15),5X,16)
101 READ(5,4)IST,FRAG,IAE
    IF(IST.EQ.0)GOTO999
    WRITE(6,1)IST,FRAG
    WRITE(6,2)
    N=0
108 READ(5,6)JST,JAN,IPLUI,MHAUT
    IF(JST.EQ.0)GOTO109
    N=N+1
    IF(JST-IST)102,110,102
102 WRITE(6,5)
104 READ(5,4)JST
    IF(JST)104,101,104
110 IF(N.EQ.1)GO TO 103
    IF(JAN-1-MILL)111,103,111
111 WRITE(6,8)
    GO TO 104
103 MILL=JAN
    DO105I=1,12
105 JPLUI(I,N)=IPLUI(I)
    IF(MOD((JAN+4),5).EQ.0)WRITE(6,6)
    WRITE(6,7)JAN,IPLUI,MHAUT
    GOTO108
109 KHAUT=0
    DO107I=1,12
    KPLUI(I)=0
    DO 106 J=1,N
106 KPLUI(I)=KPLUI(I)+JPLUI(I,J)
    KPLUI(I)=KPLUI(I)/N
107 KHAUT=KHAUT+KPLUI(I)
    WRITE(6,3)KPLUI,KHAUT
    GOTO101
999 STOP
    END

```


GANOUCHI ESSAI NO 2

IMPRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES
ANNEES HYDROLOGIQUES

DONNEES EVENTUELLEMENT INCONPLETES

CALCUL ET IMPRESSION DES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES

DIMENSION FRAG(6),IPLUI(12),JPLUI(12,99),MPLUI(12),MHAUT(99)

DIMENSION MCODA(12),IAN(99)

DATA MCODA/'JANV','FEVR','MARS','AVRI','MAI','JUIN','JUIL','AOUT',
1'SEPT','OCTO','NOVE','DECE'/

1 FORMAT('1IMPRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANN
1UELLES SUIVANT LES ANNEES HYDROLOGIQUES'//1X,'STATION NO=',I6,2X,6
2A4/)

2 FORMAT(1X,'MAUVAISE SEQUENCE')

3 FORMAT(/11X,'LES RELEVES MANQUANTS SONT NOTES -99')

4 FORMAT(I6,16X,6A4,19X,I3)

5 FORMAT(I2)

6 FORMAT(I6,I4,12I5,I6)

8 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION')

10 FORMAT(5X,'ANNEE-HYDRO',12(4X,A4),6X,'TOTAL')

11 FORMAT(6X,I4,'-',I4,1X,12(3X,I5),5X,I6)

12 FORMAT(/11X,'MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES'//16X,12(3X,I5),5X,I
16)

100 READ(5,4)IST,FRAG,IAE

IF(IST.EQ.0)GO TO 999

DO 130 J=1,99

DO 130 I=1,12

130 JPLUI(I,J)=-99

READ(5,5)MODEB

MODEB=MODEB-1

K=12-MODEB

WRITE(6,1)IST,FRAG

N=1

101 READ(5,6)JST,JAN,IPLUI

IF(JST.EQ.0)GO TO 107

N=N+1

IAN(N)=JAN

IF(JST-IST)102,104,102

102 WRITE(6,8)

103 READ(5,6)JST

IF(JST)103,100,103

104 IF(N-2)118,120,118

118 IF(IAN(N)-IAN(N-1)-1)119,120,119

119 WRITE(6,2)

GO TO 103

120 J=K

DO 105 I=1,MODEB

J=J+1

105 JPLUI(J,N)=IPLUI(I)

DO 106 I=1,K

106 JPLUI(I,N+1)=IPLUI(MODEB+I)

GO TO 101

107 IAN(1)=IAN(2)-1

IAN(N+1)=IAN(N)+1

```

      L=N+1
      DO 110 J=2,L
      MHAUT(J)=0
      DO 109 I=1,12
      IF (JPLUI(I,J)+99)108,108,109
108  MHAUT(J)=-99
      GO TO 110
109  MHAUT(J)=MHAUT(J)+JPLUI(I,J)
110  CONTINUE
      DO 113 I=1,12
      MPLUI(I)=0
      M=0
      DO 112 J=2,L
      IF ((JPLUI(I,J)+99).EQ.0)GO TO 112
      MPLUI(I)=MPLUI(I)+JPLUI(I,J)
      M=M+1
112  CONTINUE
      IF (MPLUI(I))111,111,128
111  MPLUI(I)=-99
      GO TO 113
128  MPLUI(I)=MPLUI(I)/M
113  CONTINUE
      KHAUT=0
      DO 115 I=1,12
      IF (MPLUI(I)+99)114,114,115
114  KHAUT=-99
      GO TO 116
115  KHAUT=KHAUT+MPLUI(I)
116  WRITE(6,10) (MCODA(I),I=MODEB,12), (MCODA(I),I=1,NODEB)
      DO 117 I=1,N
      IF (MOD((IAN(I)+4),5).EQ.0)WRITE(6,5)
117  WRITE(6,11) IAN(I), IAN(I+1), (JPLUI(J,I+1),J=1,12), MHAUT(I+1)
      WRITE(6,12) MPLUI, KHAUT
      WRITE(6,3)
      GO TO 100
999  STOP
      END

```


PRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES SUIVANT LES ANNEES HYDROLOGIQUES

STATION NO=110001 COTONOU AERO

ANNEE-HYDRO	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	TOTAL
1951-1952	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	388	39	-99
1952-1953	1042	1044	1678	213	0	358	650	758	1766	3593	228	34	11364
1953-1954	1064	2272	174	248	128	331	1885	953	2613	4347	102	34	14151
1954-1955	807	2219	499	88	609	233	557	453	1744	3353	327	328	11217
1955-1956	1708	3098	306	0	0	138	2781	852	1023	3304	459	10	13679
1956-1957	748	1467	755	231	1057	0	617	1122	2475	1927	3124	722	14245
1957-1958	1393	1686	965	553	368	1303	257	1384	2622	3699	38	36	14304
1958-1959	794	1634	313	38	0	722	660	1828	2165	3487	2381	34	14056
1959-1960	219	1236	650	0	372	368	906	1497	1770	4490	12	304	11424
1960-1961	960	2197	713	104	49	1	1013	1663	2263	5930	672	6	15571
1961-1962	529	978	763	0	22	500	1693	1641	1922	8359	2174	1021	19602
1962-1963	60	1698	1502	103	1	686	427	1545	3071	3276	4288	2080	18737
1963-1964	1833	1429	927	44	184	43	1211	2197	1595	4246	416	27	14152
1964-1965	384	1126	0	175	63	565	714	1812	2024	4137	3471	207	14678
1965-1966	739	789	193	80	15	25	541	1638	1765	3681	858	182	10506
1966-1967	187	668	156	540	0	0	1560	1614	2446	4110	2143	38	13462
1967-1968	200	1645	443	320	0	692	384	1464	2257	4968	6646	3648	22667
1968-1969	2483	1780	235	145	199	84	1146	1422	1648	3890	1747	576	15355
1969-1970	292	2266	268	0	504	112	221	906	2710	1604	478	200	9561
1970-1971	735	1706	347	0	388	396	502	669	1219	3701	1793	189	11645
1971-1972	921	364	435	326	111	953	783	2405	1337	4234	1007	109	12985
1972-1973	838	1413	567	247	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99

MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES

854 1557 566 164 203 375 925 1391 2021 4016 1559 467 14098

LES RELEVES MANQUANTS SONT NOTES -99

PRESSION DES HAUTEURS PLUVIOMETRIQUES MENSUELLES ET ANNUELLES SUIVANT LES ANNEES HYDROLOGIQUES

STATION NO=110001 COTONOU AERD

ANNEE-HYDRO	SEPT	OCTO	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	ACUT	TOTAL
1951-1952	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	388	39	-99
1952-1953	1042	1044	1678	213	0	358	650	758	1766	3593	228	34	11364
1953-1954	1064	2272	174	248	128	331	1885	953	2613	4347	102	34	14151
1954-1955	807	2219	499	88	609	233	557	453	1744	3353	327	328	11217
1955-1956	1708	3098	306	0	0	138	2781	852	1023	3304	459	10	13679
1956-1957	748	1467	755	231	1057	0	617	1122	2475	1927	3124	722	14245
1957-1958	1393	1686	965	553	368	1303	257	1384	2622	3699	38	36	14304
1958-1959	794	1634	313	38	0	722	660	1828	2165	3487	2381	34	14056
1959-1960	219	1236	650	0	372	368	906	1497	1770	4490	12	304	11824
1960-1961	960	2197	713	104	49	1	1013	1663	2263	5930	672	6	15571
1961-1962	529	978	763	0	22	500	1693	1641	1922	8359	2174	1021	19602
1962-1963	60	1698	1502	103	1	686	427	1545	3071	3276	4288	2080	18737
1963-1964	1833	1429	927	44	184	43	1211	2197	1595	4246	416	27	14152
1964-1965	384	1126	0	175	63	565	714	1812	2024	4137	3471	207	14678
1965-1966	739	789	193	80	15	25	541	1638	1765	3681	858	182	10506
1966-1967	187	668	156	540	0	0	1560	1614	2446	4110	2143	38	13462
1967-1968	200	1645	443	320	0	692	384	1464	2257	4968	6646	3648	22667
1968-1969	2483	1780	235	145	199	84	1146	1422	1648	3890	1747	576	15355
1969-1970	292	2266	268	0	504	112	221	906	2710	1604	478	200	9561
1970-1971	735	1706	347	0	388	396	502	669	1219	3701	1793	189	11645
1971-1972	921	364	435	326	111	953	783	2405	1337	4234	1007	109	12985
1972-1973	838	1413	567	247	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99	-99
MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES	854	1557	566	164	203	375	925	1391	2021	4016	1559	467	14098

LES RELEVES MANQUANTS SONT NOTES -99

COMPT. - RENDU DU STAGE DE FORMATION
PRATIQUE D'HYDROMETRIE A L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE
DE TOULOUSE - CENTRE DE FORMATION CONTINUE

=====

Direction du Stage : Jean GRUAT, Professeur à l'ENSHEIT.
Animateurs du Stage : ALDEGHERI, Directeur de recherches à l'ORSTOM
DUBEE, Hydrologue à l'ORSTOM.
Participants : GANOUCHI et NAAH : Elèves-chercheurs ORSTOM.
CHARLES, MAAH et TOMBOJI : Stagiaires ORSTOM.

Dans le cadre de la formation pratique des stagiaires et élèves ORSTOM, un stage d'initiation aux techniques modernes de mesures et de manipulation de différents appareils hydrométriques nous a été proposé du 3 au 21 mars 1975 à Toulouse et ses environs. Le programme du stage sommairement exposé ci-après est traité dans ses grandes lignes et constitue en fait, le présent compte-rendu. Il comprend :

- Une présentation du matériel.
- Des sorties sur le terrain avec des mesures directes.
- Des dépouillements de jaugeages et analyses en Laboratoire.
- Des exposés sur les traceurs et transports solides en hydrologie.

I - PRESENTATION DU MATERIEL.

=====

La première journée a été consacrée à la présentation du matériel de jaugeage suivant : les moulinets C31 (OTT), l'ARKANSAS, le Nerflux, les micro-moulinets, perches et différents saumons, les compteurs : CJR 1 (deux modèles), CJR 100, les treuils, câbles et le canot pneumatique ZODIAC MARK II, utilisé pour des mesures sur de grands cours d'eau.

La description de ces appareils étant largement faite dans la note technique n° 36 (ORSTOM) et autres livres traitant d'hydrologie, nous avons jugé qu'il n'était pas indispensable d'y revenir.

II - MESURES SUR LE TERRAIN.

=====

Les sorties pour des mesures directes sur le terrain, ont été effectuées respectivement sur la Garonne à PORTET, l'AVEYRON à LOUBEJAC, le GIROU à CEPET, l'ARIEGE à LACROIX-FALGARDE, la LEZE à ARTIGAT, l'AUGE à RIEUX. Une sortie sur la LEZE à LABARTHE a été consacrée aux mesures de nivellement du zéro de l'échelle de cette station par rapport au nivellement général de la France, la borne d'attache étant celle de la S.N.C.F. située à 1,5 km de l'échelle.

2.1. GARONNE - STATION PORTET.

Station naturelle, située à 12 km de Toulouse

Superficie du bassin versant : 9 980 km²

Altitude du zéro de l'échelle : 139,20 m N.G.F.

Equipement : Limnigraphe à bulle NEYRPIC 1/10 et échelles.

En cette station, nous avons à comparer les mesures de débits effectués avec différents appareils hydrométriques recommandés par l'OMM. Quatre équipes avaient été constituées avec chacune l'équipement suivant :

- a) - Equipe ORSTOM : un moulinet OTT C31, deux compteurs CJR1, un saumon de 20 kg (hélice du moulinet en plastique avec un pas de 0,25 m).
- b) - Equipe S.R.A.E. (aménagement des eaux) : un moulinet OTT C31 et un compteur OTT F6, un saumon de 23 kg (hélice en acier).
- c) - Equipe E.D.F. : un moulinet OTT C31 à hélice métallique un compteur neyrpic, un saumon de 23 kg.
- d) - Equipe B.E.N. : un courantomètre portatif CMO1 utilisant un capteur électromagnétique à surface plane du type BEN S48.

Comme matériel complémentaire, on avait 3 canots pneumatiques Zodiac Mark II, un câble de définition de la section en acier de 2 mm de diamètre, un treuil IVALO, des barres à mine et des masses.

Une première traversée permit à Mr DUBEE de poser le câble de définition de la section auquel ont été amarrés les 3 canots. Les mesures, effectuées à tour de rôle de la rive droite distante de la rive gauche de 120 m, ont été faites points par points sur onze verticales.

2.2. L'AVEYRON - STATION LOUBEJAC.

Station naturelle située à 10 km de MONTAUBAN.

Superficie du bassin versant : 5 170 km².

Altitude du zéro de l'échelle : 75,00 m N.G.F.

Equipement : limnigraphe type SEME C.E. 1/10 et échelles. Largeur de la section : 50 m.

La manipulation, semblable à celle effectuée sur la GARONNE avec les mêmes équipes, portait sur 9 verticales.

Dans l'après-midi, nous avons assisté à un essai de jaugeage par la méthode radioactive, effectué du pont de Loube Jac sur la nationale 659 par les agents des Ponts-et-Chaussées. Le matériel suivant avait été utilisé :

- Un moteur d'injection à débit constant.
- Une échelle de comptage.
- Une "vache" à radioéléments.

Principe de la manipulation : le mélange, dans la "vache" à radioéléments de l'étain SN 113 (durée de vie 115 jours) avec l'acide chlorhydrique HCL, donne l'Indium 113 dont la durée de vie est de 100 minutes. Cet Indium, préalablement complexé par le Fer-EDTA, constitue le produit d'injection ; (la complexation empêche l'absorption de l'Indium par les corps en suspension dans l'eau). Le temps d'injection a été de 10 minutes. D'après la formule théorique de Gardner, le prélèvement devait se faire à 700 m en aval du lieu d'injection pour garantir le bon mélange. A 1,5 km, en aval du pont était installé une échelle de comptage qui enregistrait les variations de la concentration de la radioactivité en fonction du temps. Cette variation se traduisait sur un diagramme par une courbe à 4 parties :

- Le bruit de fond correspondant à la radioactivité naturelle.
- Le temps de montée.
- Le palier (concentration maximale de radioactivité).
- Le temps de descente.

La surface totale de cette courbe correspond à l'activité totale de la radioactivité.

Notons que la radioactivité du produit injecté ne doit pas dépasser 1m curie/m³ et que la méthode est habituellement utilisée dans les égouts.

2.3. GIROU - STATION CEPET.

Station naturelle, située à une cinquantaine de km de Toulouse.

Equipement : limnigraphe type OTT 1/10.

Largeur de la section : 5,70 m.

Les jaugeages ont été effectués à la perche et à gué par les quatre équipes avec leurs moulinets respectifs, sur 8 verticales.

A signaler également l'utilisation d'un micromoulinet et de l'Arkansas C1 ainsi que le moulinet Nerflux.

2.4. L'ARIEGE à LACROIX - FALGARDE.

Nous avons eu à travailler avec le cyclo-potence à partir d'un pont. Le cyclo-potence peut être assimilé à une grue monte-charge munie d'un compteur repérant le long de la verticale, la position du saumon accroché au câble. Le compteur intégrateur CJR 100, affichant le rapport du nombre de tours par le temps (N/T) a été spécialement utilisé. Nous avons connu d'énormes difficultés à cause de la déficience du système étanche de la résistance qui devait différencier le contact de l'hélice de celui du fond,

entraînant ainsi des interruptions régulières du courant dans le mécanisme.

2.5. LA LEZE à ARTIGAT.

Sur ce cours d'eau, nous avons effectué deux jaugeages : le jaugeage chimique et le jaugeage par intégration à la perche au micro-moulinet.

2.5.1. Le jaugeage chimique : procédé par injection à débit constant.

Le principe est d'injecter à débit constant (q) une solution de sel à la concentration (c_1) pendant un temps suffisamment long pour ~~se~~ tenir dans toute la section (s) de prélèvement située suffisamment loin en aval, une concentration homogène (c_2) pendant un certain intervalle de temps. Si on suppose :

- Que la rivière a un régime permanent.
- Que la quantité de sel qui passe par unité de temps dans la section de prélèvement pendant le palier de concentration, est égale à la quantité de sel passant par unité de temps dans la section d'injection, pendant l'injection à débit constant.
- Que la concentration (c_2) est la même en tout point de la section de prélèvement pendant la durée du palier.

On peut donc écrire : $qc_1 = (Q + q) c_2$.
du fait que (q) est négligeable devant (Q) débit de la rivière, la relation devient :

$$qc_1 = Qc_2 \text{ d'où } Q = q \frac{c_1}{c_2}$$

Nous avons utilisé pour ce jaugeage :

- Une cuve d'injection et un vase à niveau constant.
- Un tuyau en caoutchouc.
- Un seau, un jerrican servant au prélèvement d'eau avant l'injection.
- Deux caissettes de 18 flacons en plastique chacune
- 4 kg de bichromate de soude.
- La fluoresceine.

Enchaînement de la manipulation :

- Détermination d'une zone de 2 à 3 méandres pour éviter les zones mortes et permettre un bon mélange, et recherche du lieu de prélèvement en aval.
- Evaluation rapide du débit au point d'injection déterminé initialement.
- Prélèvement de 10 litres d'eau de la rivière pour les manipulations au laboratoire.
- Détermination par la fluoresceine du temps (T) de passage du nuage du produit injecté au point de prélèvement et du temps de début de prélèvement (Q) :
 $Q : T + 15'$ (15' équivalent au temps estimé de la durée du palier de concentration)
- Calcul du poids du sel à utiliser.
- Dilution du bichromate dans la cuve à injection et prélèvement de solution "mère" qui servira à établir la gamme de dilution au laboratoire.
- Injection de la solution au milieu du cours d'eau
- Connaissant Q, prélèvement en aval, toutes les 5 minutes en 3 points de la rivière : rive droite - milieu rive gauche dans 3 flacons différents.

2.5.2. Jaugeage au moulinet par intégration :

Matériel utilisé :

- Perche AGAR III série E12.
- Micro-moulinet OTT.
- Le compteur intégrateur CJR 100 à enregistrement électromagnétique, télécommandant la montée et la descente du moulinet et affichant directement le rapport N/T.

2.6. AUGE - STATION RIEUX.

Station naturelle.

Equipement : un téléphérique, un limnigraphe et échelles.

Le téléphérique permettait de commander à partir de la rive droite, le déplacement horizontal et vertical du chariot portant le saumon et le moulinet. Le jaugeage était par points mais nous n'avons pas

pu travailler convenablement, à la suite de la défectuosité du système électrique du téléphérique.

2.7. GARONNE - STATION BANLEVE :

Nous devons nous exercer individuellement à démonter et monter le système horlogerie du limnigraphe et à changer les feuilles.
Type d'appareil : OTT X à tambour horizontal et à flotteur.

III - DEPOUILLEMENT DES MESURES.

=====

La partie dépouillement est l'une des plus importantes opérations à faire par l'hydrométriste après une campagne de mesures en différentes stations hydrométriques. De ce fait, elle mérite d'être faite avec beaucoup d'attention pour parvenir à de meilleurs résultats de débits.

L'attention sera particulièrement portée aux opérations de planimétrage pour les jaugeages au moulinet et aux proportions de mélange des solutions pour le jaugeage chimique.

a) Jaugeage au moulinet : (Par point)

En considérant les relevés portés sur le carnet de jaugeage, nous avons effectué à chaque verticale X_i des mesures de vitesse V_i suivant différentes profondeurs. Le report des couples de points (V_i , H_i), (H_i étant la position de l'axe du moulinet le long de la verticale et V_i la vitesse correspondante) sur un papier millimétrique permet de tracer une courbe appelée improprement "parabole de vitesse". Le planimétrage de la surface comprise entre la parabole de vitesse de l'axe des ordonnées donne le débit par unité de largeur au droit de la verticale considérée. On l'appelle PU exprimé en (m^2/s). Ensuite on trace la courbe de variation du PU suivant la largeur de la section. Le planimétrage de cette courbe donne le débit moyen instantané. Q (m^3/s).

On peut aussi porter sur le même graphique, la coupe de la section mouillée, donc la valeur S (m^2) est donnée par planimétrage. La vitesse moyenne dans la section s'obtient par le rapport :

$$U = \frac{Q}{S} \quad (m/s).$$

D'autres renseignements accompagnent le débit-:

- la vitesse moyenne superficielle, V (M.S.)
- la largeur de la section
- la profondeur moyenne
- le rapport $K = \frac{U}{V}$ (utile pour les jaugeages aux flotteurs).

b) Jaugeage par intégration :

Le dépouillement de ce type de jaugeage, se fait de la même manière que le précédent avec l'avantage de nous donner directement la vitesse moyenne pour chaque verticale.

c) Jaugeage chimique :

La méthode employée pour ce type de dépouillement est la méthode colorimétrique. En effet, le colorimètre permet de comparer les échantillons prélevés dans la rivière et une gamme de dilutions témoins préparées au laboratoire avec la solution injectée et l'eau pure de la rivière.

Avec l'eau pure de la rivière prélevée avant l'injection nous avons préparé à partir de la solution mère un certain nombre d'échantillons dont les concentrations encadrent celle de la solution finale. Celle-ci est déterminée de façon approximative au vue des débits q et Q respectivement débit d'injection et débit estimé de la rivière tel que :

$$\frac{Q}{q} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1) \text{ soit } X \text{ ce rapport. Il correspond à la dilution de la solution mère. Son titre approximatif est } \frac{1}{X}$$

On améliore sa connaissance en l'encadrant par les titres connus $\frac{1}{X_1}$ $\frac{1}{X_2}$ $\frac{1}{X_3}$... Calculables à partir de la solution mère (le tableau de dilution donne le mode opératoire).

Comme ces solutions sont en général incolores, on se sert d'un réactif du chrome le diphtényle carbazide qui leur donne une couleur rose violet.

On dispose les échantillons témoins et ceux prélevés dans la rivière par ordre de prélèvement. On prend avec une pipette 20 cc de chaque échantillon que l'on met dans le bêcher correspondant (à chaque bêcher son échantillon) auquel on ajoute 1 cc. de H_2SO_4 et 1 cc de réactif. La mise du réactif et de l'acide varie de 5 mm dans un échantillon et d'un échantillon à un autre. Dans le même ordre de prélèvement et dans le même intervalle de temps, on passe chaque échantillon au colorimètre.

On trace la courbe de réponse du colorimètre (lecture du colorimètre en fonction des concentrations relatives des échantillons témoins). A un certain moment, la lecture du colorimètre se stabilise, cette stabilisation correspond à un palier, dont la lecture, reportée sur la courbe de réponse donne le rapport $\frac{c_2}{c_1}$ de la rivière.

Pour trouver le débit cherchée on remplace cette valeur dans la formule (1) il vient :

$$Q = q \frac{c_1}{c_2}$$

Cette méthode, bien qu'étant approximative aboutit dans la plupart des cas à des résultats acceptables. Ces résultats étant d'autant ~~plus~~ meilleurs que les opérations faites au laboratoire et sur le terrain ont été minutieuses. Il faut bien rincer le matériel mise à disposition, pipeter correctement les quantités exigées.

En général, on peut dire que quelque soit le type de jaugeage, la qualité des résultats des dépouillements sont une fonction croissante de la méticulosité apportée à leur élaboration.

IV - UTILISATION DES TRACEURS EN HYDROLOGIQUE

=====

Vu les formations différentes des élèves et stagiaires, et l'importance surtout qualitative des transports des matériaux qui intéresse l'hydrologue, Mr GRUAT a été obligé de traiter le sujet d'une façon assez générale en se basant très souvent sur des exemples.

Pour le cours sur les méthodes de traçage, on donne, pour mémoire, ses traits généraux car la partie sur les traceurs chimiques

- partie qui nous intéresse le plus a déjà été traitée dans les chapitres précédents.

4.1. Principes généraux

4.1.1. Définition d'un traceur

C'est le fait de distinguer des particules de l'écoulement sans modifier ses caractéristiques physiques.

Ce traçage peut se faire par :

- Coloration
- Radioactivité
- Composition chimique
- Conductivité
- Permittivité.

4.1.2. Exemples :

On a les traceurs naturels et artificiels

- Carbone 14 : datation
- Marquage des galets par radioactivité.

4.1.3. Définition du bon mélange

On se place dans un régime permanent et on appelle.

(T) : ensemble des paramètres caractéristiques du déplacement du traceur

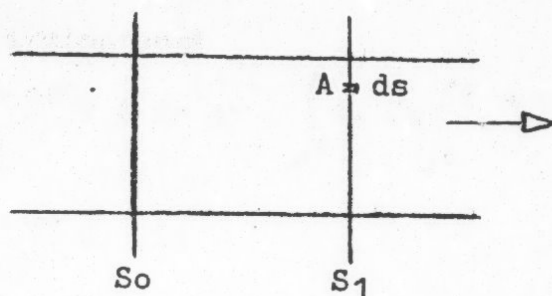
(H) : ensemble des paramètres caractéristiques de l'écoulement (sauf le débit)

(I) : ensemble des paramètres caractéristiques des conditions initiales d'injection

On a $Q = f ((T), (H), (I))$

la fonction f évolue avec le temps vers une fonction $g ((T), (H))$ indépendante des conditions initiales d'injection et c'est à ce moment qu'on dit qu'on a un bon mélange (position d'équilibre) .

4.1.4. Condition de bon mélange



On suppose qu'à la section S1 on a le bon mélange soit $\delta_{part}^{(A)}$ la probabilité pour qu'un élément traverse ds en A
 C : la concentration.

$$\delta_{part}^{(A)} = \frac{V - ds}{Q}$$

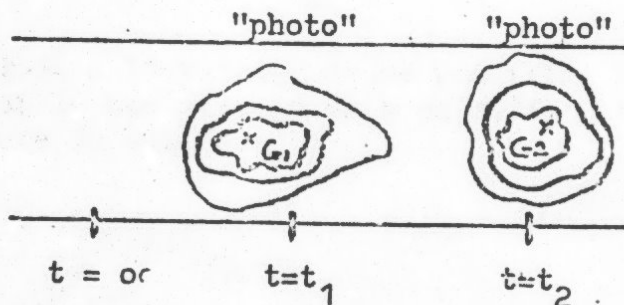
$$= \int_0^{T \rightarrow \infty} \frac{C(t) V(A) ds \cdot dt}{M} = \frac{V \cdot ds}{M} \int_0^{T \rightarrow \infty} C(t) dt$$

d'où $\int_0^{T \rightarrow \infty} C(t) \cdot dt = \frac{M}{Q}$

cette condition est aussi suffisante pour un bon mélange.

4.2. DIFFERENTES METHODES DE MESURES.

4.2.1. Méthode d'intégration dans l'espace.



G : centre de gravité

$$V_G = \frac{G_2 - G_1}{T_2 - T_1}$$

$$V_M = d. V_G \text{ avec } d = \frac{\frac{1}{S} \int_S V^2 ds}{\left[\frac{1}{S} \int_S V ds \right]^2}$$

4.2.2. Méthode d'intégration dans le temps

a) méthode basée sur l'équation de conservation de la masse du traceur

- injection instantanée

$$M = \int_S \int_0^{T \rightarrow \infty} V.C ds dt = \int_S V. ds \int_0^{T \rightarrow \infty} C dt$$

$$= Q. \int_0^{T \rightarrow \infty} C. dt$$

- injection continue de débit q et de concentration C

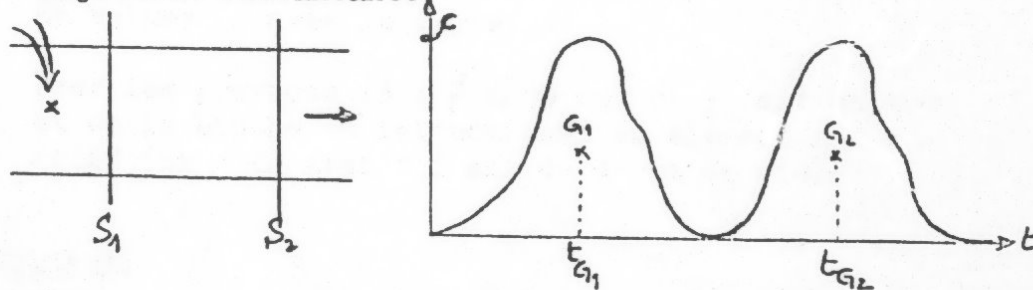
$$\int_0^{T \rightarrow \infty} C dt = C^{te} \Rightarrow C = C^{te}$$

$$(Q + q) C = q. C \Rightarrow Q = q. \frac{C}{c}$$

(en négligeant q devant Q)

b) méthode de la mesure du temps moyen de transit

- injection instantanée



$$Q = \frac{\text{Volume compris entre les sections } S_2 \text{ et } S_1}{t_{G2} - t_{G1}}$$

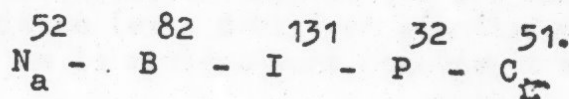
Cette méthode a l'avantage de ne pas faire intervenir directement le bon mélange mais sa difficulté réside en la mesure du volume.

4.3. TECHNOLOGIE DES TRACEURS.

4.3.1. Hydrologie.

Sont utilisés :

- Traceurs colorés : fluoresceine - permanganate de potassium - Rhodamine.
- Traceurs salés : chlorure de sodium (on mesure sa conductivité)
- Traceurs radioactifs



vache à radioéléments.

Schématiquement, c'est une boîte en plomb contenant du ${}^{137}_{\text{Cs}}$ au solution chimique de durée de vie 3 ans qui permet d'obtenir du ${}^{137}_{\text{Ba}}$ de durée de vie 2,6 minutes en y introduisant de l'acide.

4.3.2. Sédimentologie.

Pour les sables ($\frac{1}{10} \leq \phi \leq 10$ mm) deux procédés sont utilisés

En surface : le placage en or

En volume : avec le verre

Pour les gravices ($3 \leq \phi \leq 10$ cm) on y fait un trou et on le bouche en introduisant un élément radio-actif (ex : Ta avec 1,5 ans de durée de vie).

V - TRANSPORT DES MATERIAUX.

5.1. CLASSIFICATION - PRINCIPE DE L'EQUILIBRE DYNAMIQUE.

Le transport des matériaux est du au mouvement des matériaux existant dans les rivières et dans la mer. On convient de classer en trois catégories l'ensemble du problème.

5.1.1. Problème à grande échelle de temps et d'espace.

Cette catégorie intéresse tout un bassin versant à l'échelle géologique et on laisse le soin au géologue

4.3. TECHNOLOGIE DES TRACEURS.

4.3.1. Hydrologie.

Sont utilisés :

- Traceurs colorés : fluoresceine - permanganate de potassium - Rhodamine.
- Traceurs salés : chlorure de sodium (on mesure sa conductivité)
- Traceurs radioactifs

52 82 131 32 51.
N_a - B - I - P - C₁₂

vache à radioéléments.

Schématiquement, c'est une boîte en plomb contenant du C₁₃₇ au solution chimique de durée de vie 3 ans qui permet d'obtenir du B_a¹³⁷ de durée de vie 2,6 minutes en y introduisant de l'acide.

4.3.2. Sédimentologie.

Pour les sables ($\frac{1}{10} \leq \phi \leq 10$ mm) deux procédés sont utilisés

En surface : le placage en or

En volume : avec le verre

Pour les graviers ($3 \leq \phi \leq 10$ cm) on y fait un trou et on le bouche en introduisant un élément radio-actif (ex : Ta avec 1,5 ans de durée de vie).

V - TRANSPORT DES MATERIAUX.

5.1. CLASSIFICATION - PRINCIPE DE L'EQUILIBRE DYNAMIQUE.

Le transport des matériaux est du au mouvement des matériaux existant dans les rivières et dans la mer. On convient de classer en trois catégories l'ensemble du problème.

5.1.1. Problème à grande échelle de temps et d'espace.

Cette catégorie intéresse tout un bassin versant à l'échelle géologique et on laisse le soin au géologue

de l'étudier.

Ex : La GARONNE depuis son début.

5.1.2. Problème à moyenne échelle de temps et d'espace.

- Echelle de temps : durée d'un ouvrage (10 à 100 ans)
- Echelle d'espace : distance où se manifeste l'influence d'un ouvrage sur une

Ex : Un pont.

Pour cette classe, on suppose que les caractéristiques hydrologiques (ex : débit) et géométriques (ex : pente moyenne) de la rivière sont connues et mesurables.

5.1.3. Problème à petite échelle de temps et d'espace.

Le temps est de l'ordre de durée d'une crue c'est-à-dire quelques heures.

Ex : Voisinage d'un obstacle.

Ex : Dépôt de matériaux au niveau d'une pile d'un

Ce problème ne peut pas être étudié théoriquement, l'écoulement est très compliqué au voisinage des obstacles, à moins d'utiliser un modèle réduit.

Après cette classification nous sommes donc amenés à classer dans la deuxième catégorie et à poser le principe de l'équilibre dynamique :

Principe : soit une rivière stable (conservant les caractéristiques). Les débits solides s'écoulent à travers toutes ses sections.

Ici, on va développer un exemple qui a été cité en France par Mr GRUAT et que nous trouvons très parlant : c'est l'exemple du VAR qui débouche dans la Méditerranée de Nice : les autorités locales ont voulu abaisser le niveau du lit de cette rivière et ont chargé des entrepreneurs d'y prélever des graviers, alors, le débit solide au niveau de l'exutoire se trouve diminué et le principe de l'équilibre dynamique la mer s'est attaquée à la cote pour combler ce manque et la plage s'est trouvée rongée. Le niveau a baissé dans la nappe et elle s'est trouvée salée par l'eau de la mer.

5.2. PROCEDES DE MISE EN MOUVEMENT DES MATERIAUX.

On peut distinguer deux catégories de transport soit le transport naturel et le transport extérieur.

Le transport naturel se fait de trois manières : chenalisation (bond) et en suspension alors que le transport extérieur ne se fait qu'en suspension.

Le débit extérieur en suspension est mesurable mais le transport naturel se mesure par traçage actif ou en utilisant des fosses ou des nasses, mais aussi des formules empiriques de mesure. Donnons l'exemple de celle de MEYER-PETER.

$$q_g R_h J \left(\frac{K_S}{K_T} \right)^{3/2} \frac{Q_S}{Q} = A (q_S - q) g d + B_q^{1/3} (g_S - g)$$

où

R_h : Rayon hydraulique.

J : Pente

$Z_o = q_g R_h J$ force de frottement par unité de

K_S : coefficient de Stricler ($K_S = \frac{1}{n}$ avec n coef de Manning)

$K_T = \frac{26}{d^{1/6}}$ M.K.S.A. coefficient comme si le fond plat et si les berges étaient dépourvues de végétation

$\frac{K_S}{K_T}$ est une correction.

$\frac{Q_S}{Q_T}$ correction pour ne considérer que le lit mineur

$Z_{oc} = A (q_S - q) g d$ force de frottement critique (pour le déplacement des matériaux)

g_S : débit solide

$B = 0.25$

$0.02 \leq A \leq 0.06$

$V = K R_h^{2/3} J^{1/2}$ formule de Stricler

on aura simplement :

$$q \cdot g \cdot L \cdot J = Z_{oc} L \cdot P$$

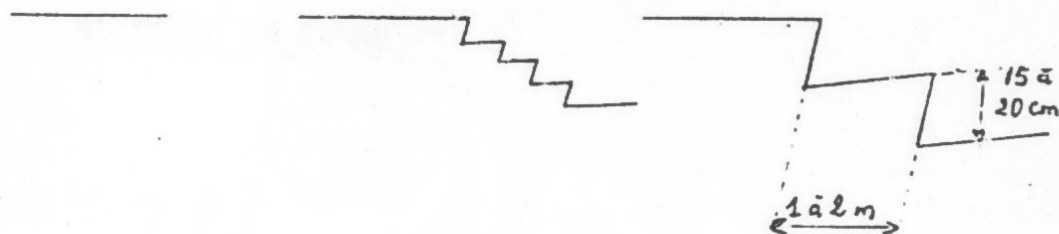
ou bien

$$\begin{aligned} g_s &= f (\tau_o - \tau_{oc})^{2/3} \\ &= K (\tau_o - \tau_{oc}) \end{aligned}$$

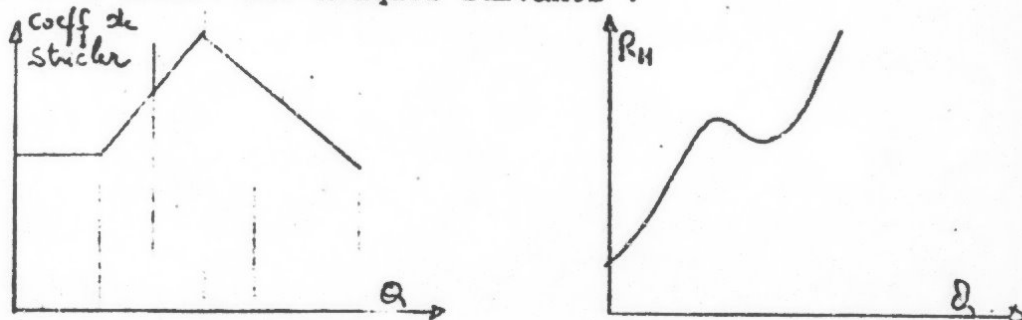
Evoquons à la fin une expérience qui montre l'instabilité du fond d'une rivière, surtout en période de crue. Cette expérience est réalisée dans un canal de fond sablonneux, à pente et débit variable.

Au fur et à mesure que le débit augmente le fond se transforme comme suit :

- au début il était plat puis apparaissent des rides, puis des dunes, puis des ~~bonds~~ ^{baule} de sables et enfin il redevient plat.



et on a dressé les abaques suivants :



le phénomène (point d'inflexion) est expliqué par le fait que le fond devenant lisse, les vitesses augmentent et donc on a une diminution du tirant d'eau R_h pour une augmentation du débit.

C O M T E - R E N D U

D U S T A G E D E C A D A R A C H E

COMPTE - RENDU DU STAGE DE CADARACHE

Le stage que nous avons effectué à CADARACHE du 9 au 11 juin 1975 était essentiellement destiné à nous présenter un outil nucléaire : la radioactivité dont les applications sont de plus en plus nombreuses en hydrologie, en sédimentologie, en agronomie etc ...

Deux méthodes nous ont été présentées : la méthode de rayonnement celle des traceurs radioactifs.

I - Le rayonnement.

Le rayonnement a des effets multiples. Citons :

- effets physiques : photoélectrique
- effets biologiques : radio-conservation des denrées alimentaires
- effets génétiques : mutation sur les êtres vivants.

I - 1. Caractérisation du rayonnement.

- Source : un curie (Ci) délivre à une distance de 10 cm, une dose de 140 (Rh⁻¹) Roetgen par heure.

- Rayonnement émis :

Un Roetgen délivre 88 ergs/g et $2,4 \cdot 10^{-6}$ cal/g.

Remarquons une faible calorifique contre une énergie importante qui permet une forte pénétration.

- Rayonnement reçu :

1 Rad = 100 ergs/g.

I - 2. Propriétés.

La pénétration de l'élément radioactif détruit la molécule par vibration, ainsi on a une action sur un constituant ou sur un parasite et c'est la recherche d'un compromis. Citons des exemples :

	500 Rads suffisent pour tuer un homme	↑ + complexe
5 000 à	1 500 Rads suffisent pour tuer un insecte	
100 000 à	400 000 Rads suffisent pour tuer un microbe	
2 M à	4 M. Rads suffisent pour tuer un virus	
5 M à	6 M. Rads suffisent pour tuer un Enzyme.	

I - 3. Utilisation :

- Stérilisation des insectes nuisibles (exemple des mouches des fruits)
- Désinsectisation des silos.
- Recherche des colorations dans l'horticulture.

II - Traceurs radioactifs.

II - 1. Application des traceurs en hydrologie.

La méthode des traceurs consiste à superposer d'un homothétique l'écoulement par une autre détectable au niveau trace.

II - 1.1. Méthode :

- a) identification
- b) bon traceur : conditions hydrodynamiques de l'eau.
- c) injection locale : injection du traceur proportionnelle au débit local (homothétique).
- d) détection idéale : détection par point sur toute la de la section la concentration en fonction du temps

$$c(t) = \frac{\sum q_i c_i(t)}{\sum q_i} \quad (\text{pondération par le débit})$$

- e) convolution - déconvolution - fonction de transfert. Les donnant les concentrations en fonction du temps deux sections A et B de la rivière sont liées par un qu'on appelle convolution.

$$C_B(t) = (C_A * h)(t) = \int_0^t C_A(u) \times h(t-u) du$$

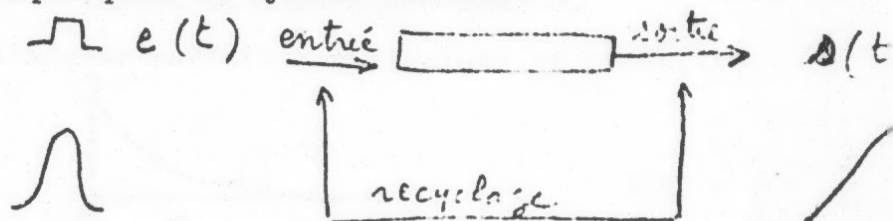
où la fonction h représente la réponse impulsionnelle con AB.

Si $C_A(u) = \delta(u)$ (fonction de Dirac) alors $C_B(t)$ et c'est la déconvolution.

La transformée de la place de h est $\overline{h}(p) = \int_0^\infty h(t) e^{-pt} dt$

et on a $\overline{C_B}(p) = \overline{C_A}(p) \times \overline{h}(p)$

exemple pour un système linéaire :



$$s(t) = \frac{A}{Q} h(t) + \alpha (e * h)(t)$$

ou A est le débit injecté

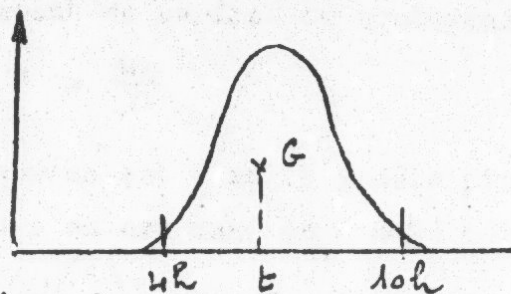
Q est le débit total et α le taux de recyclage

la quantité $\frac{A}{Q} h(t)$ est celle qui sort directement.

- f) condition de bon mélange.

Elle est réalisée quand l'intégrale $\int C_p(t) dt$ est indépendante du point de détection P. La réponse impulsionnelle ou du temps de séjour est dans ces conditions.

$$h(t) = \frac{c(t)}{\int_0^\infty c(u) du}$$



l'abscisse du centre de gravité du temps de séjour est égal au volume divisé par le débit. $\bar{t} = \frac{V}{Q}$

le centre de gravité est défini par son abscisse

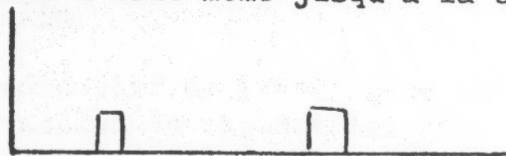
$$\bar{t} = \frac{\int_0^\infty t c(t) dt}{\int_0^\infty c(t) dt} = \frac{\int_0^\infty t h(t) dt}{\int_0^\infty h(t) dt}$$

Ces formules s'appliquent pour la mesure de la porosité efficace.

g) réponse impulsionnelle - modèles.

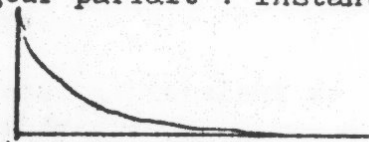
Le but est de déterminer le coefficient de dispersion. Les modèles étudiés sont :

- piston : injection instantanée à l'entrée se propageant identiquement à elle même jusqu'à la sortie.



$$h(t) = \delta(t - \bar{t})$$

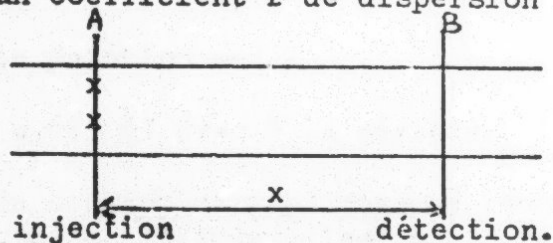
- mélangeur parfait : instantané et parfait.



$$h(t) = \frac{1}{\bar{t}} e^{-\frac{t}{\bar{t}}}$$

avec $\frac{t}{\bar{t}} = \theta$ appelé temps réduit.

- piston diffusion : entre les deux modèles précédents et fait intervenir un coefficient D de dispersion longitudinale



en B on obtient une concentration :

$$C(t) = \frac{C_0}{\sqrt{4 \pi D t}} \exp \left(-\frac{(x - vt)^2}{4 D t} \right)$$

solution de l'équation différentielle

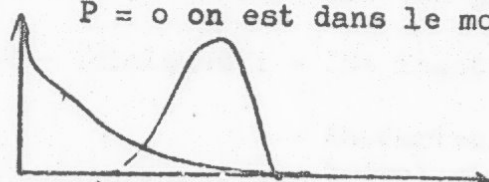
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} \quad \text{avec } u = \frac{x}{t}$$

ce modèle permet d'obtenir un coefficient de dispersion dans un écoulement de surface ou souterrain.

On pose $P = \frac{ux}{D}$

Pour $P = \infty$ on est dans le modèle piston (D petit)

$P = 0$ on est dans le modèle mélange parfait (D très grand).



la courbe est d'autant plus symétrique que P est plus grand.

- piston - diffusion avec échange :

ce modèle a fait intervenir les coefficients P, ξ fraction de volume stagnant sur le volume total est k coefficient d'échange.

II - 1.2. Choix des traceurs.

a) traceurs naturels

H³ : tritium

C¹⁴ : carbone 14

D : déterium.

H³ : isotope radioactif de l'hydrogène qu'on trouve dans les pluies avant 1954 par action du rayonnement cosmique sur l'azote de l'air et après 1954 s'est greffé à cette action l'effet des explosions atomiques. Le tritium a une période de 12 ans et émet un rayonnement de 18 kev.

Avant 54, les eaux contenaient de 0,9 à 10 uT avec 300 uT (unité tritium) = 1 MC/m³.

Aujourd'hui, les eaux de pluie de France contiennent 50 à 100 uT. Ceci nous permet de différencier les eaux de pluie d'avant 54 et d'après.

La formule donnant la datation est :

$$A(t) = A_0 \exp\left(-0,693 \frac{t}{T}\right) \text{ avec } T \text{ la période.}$$

Les concentrations en tritium varient dans le temps et dans l'espace : l'injection d'H³ se fait dans les pôles avec un maximum de concentration en mai-juin et un minimum en décembre - Cette concentration décroît depuis les pôles jusqu'à l'équateur.

C¹⁴ : utilisé essentiellement pour la datation des eaux et produit par le rayonnement cosmique sur l'azote de l'air. Sa période est de 5 700 ans.

b) traceurs artificiels :

b1 - radioactifs : B82 (36 heures)

I131 (8 jours)

Cr - EDTA (28 jours).

b2 - chimiques : - INA inactif (hydrologie souterraine)

- Rhodamine B : anodique (plus utilisé en hydrologie de surface)

- Rhodamine WT : cathodique.

- Bichromate de sodium : 10^{-6} gr/m/ utilisé par EDF.

II - 2. Mesure de l'humidité des sols.

La méthode neutronique de l'humidité du sol date depuis 1950 et repose sur le principe de ralentissement des neutrons par les atomes d'eau.

Lorsqu'un neutron animé d'une énergie E_1 , rencontre un atome de masse M , il bondit et repart avec une énergie E_2 : c'est la diffusion élastique.

$$\frac{E_1}{E_2} \neq \frac{M^2 + 1}{(M + 1)^2}$$

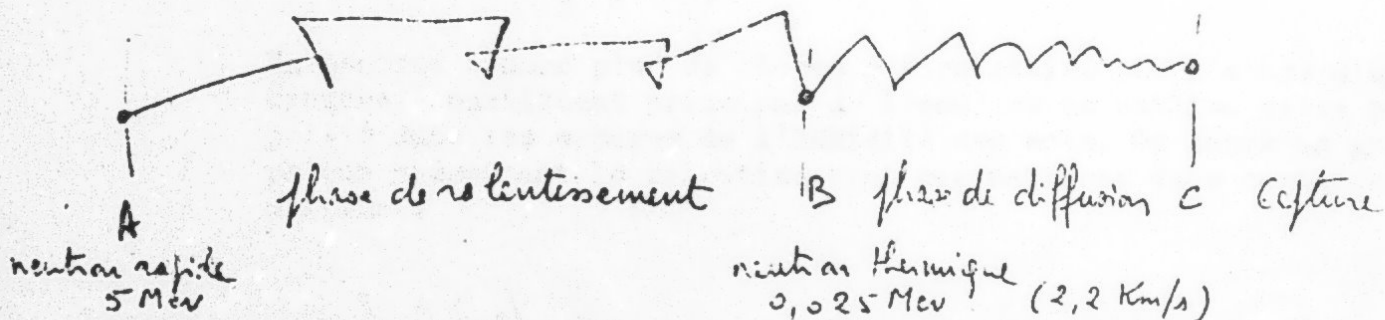
plus la masse percutée est grande moins le neutron perd d'énergie.

Dans le cas de H_2 : $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2}$

Dans le cas de O_2 : $E_2/E_1 = 0,89$

Dans le cas de C : $E_2/E_1 = 0,86$

Un neutron passe par deux phases avant sa capture.
schéma de trajet d'un neutron :



De B à C, le neutron va osciller sans perdre de l'énergie jusqu'à être capturé par un noyau pour donner un isotope actif ou stable.

Dans le cas de H_2 : 18 à 20 collisions pour arriver à l'état thermique.

Dans le cas de O_2 : 166

Dans le cas de C : 105

la longueur du ralentissement

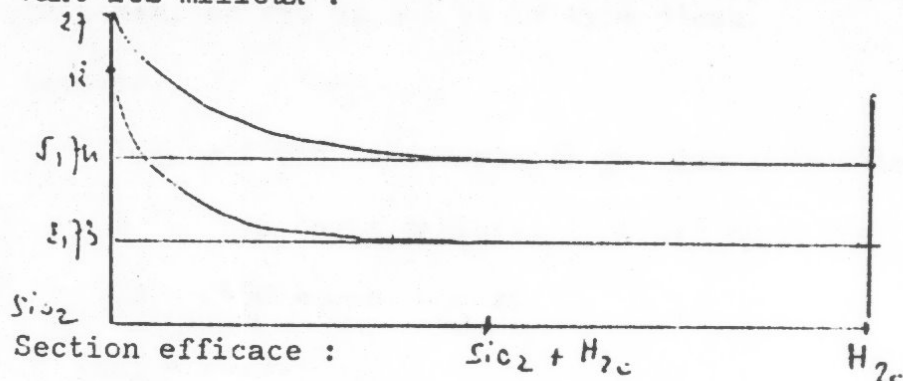
$$LS^2 = \frac{AB}{6}^2 \quad LS = \begin{cases} 5,74 \text{ cm pour } H_2O \\ 19,7 \text{ cm pour graphite.} \end{cases}$$

le temps de ralentissement est de l'ordre de

$$\begin{aligned} &2 \cdot 10^{-6} \text{ sec pour } H_2O \\ &1,5 \cdot 10^{-4} \text{ sec pour le graphite.} \end{aligned}$$

Dans la phase dite de diffusion, la longueur de diffusion $L_d = 2,73 \text{ cm}$ pour H_2O avec un temps de diffusion $t_d = 2 \times 10^{-4} \text{ sec}$; pour le graphite, $L_d = 54,4 \text{ cm}$.

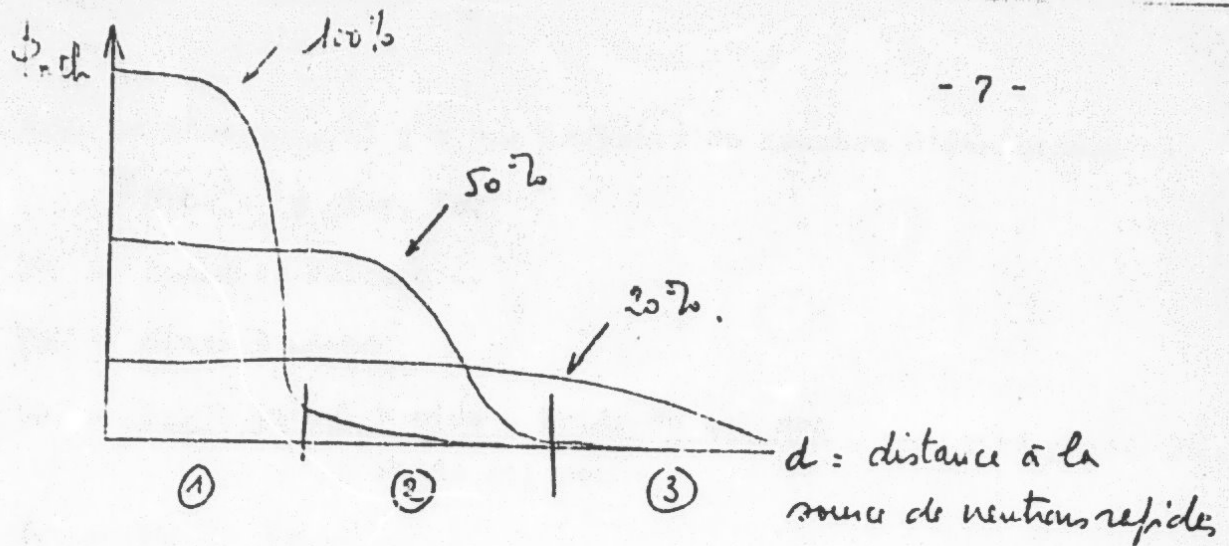
On donne un graphique présentant les variations de LS et LD suivant les milieux :



La notion de section efficace est liée à la notion de probabilité et est exprimée en barn = 10^{-24} cm^2 .

Exemples :	H_2 :	38 barns
	O_2 :	4,2 barns
	N :	10
	Fe :	11
	S :	1,1

Un neutron a donc plus de chance d'être attiré par l'atome d'hydrogène (constituant principal de l'eau) et on utilise cette propriété dans les mesures de l'humidité des sols. On donne un graphique présentant le ralentissement des neutrons dans certains milieux :



ϕ_{nt} = flux de neutrons thermiques.

- (1) : zone d'utilisation de la méthode par ralentissement (95 % inférieure à 15 cm de la source).
Id est, neutrons thermiques se trouvent à une distance
- (2) : zone d'indétermination
- (3) : 2ème zone d'utilisation

ainsi on peut mesurer la teneur en hydrogène du milieu et donc la teneur en eau du sol et le type d'eau.

Capture :

les neutrons sont capturés par des atomes neutrophages

B - 795 barns capture, (employé en piles)

Cd - 2450 barns capture,

H₂ = 20.10⁻⁵

Si = 0,16

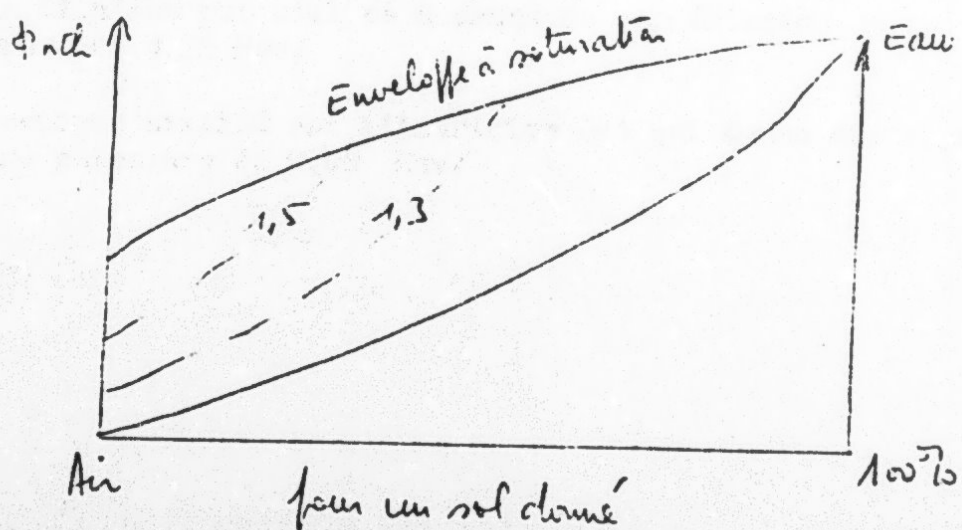
C = 3,75.10⁻³

Mn = 13,2

CL = 33,8

Le temps de diffusion est d'autant plus court qu'il y a des neutrophages dans le sol.

Cette notion nous permet d'étalonner des sols. On considère le sol milieu ternaire (sol sec + eau + air), à une distance de 0,6 cm de la source.



Pour un même sol, il y a une infinité de courbes d'étalonnage car

$$\phi_{Nth.} = g (Hv, Ps).$$

Hv = humidité volumique.

Ps = densité sèche

$Hp = \frac{\text{Poids du sol humide} - \text{Poids du sol sec}}{\text{Poids sol sec}} = \text{humidité pondérale.}$

$$Hv = Hp \times Ps.$$

La sonde à neutrons donne directement Hv .

L'équation de la courbe d'étalonnage est de la forme :

$$N = aHv + b$$

$$N = (\alpha Ps + B) Hv + \gamma Ps + \delta$$

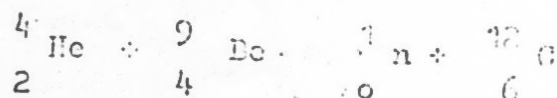
$\alpha, \beta, \delta, \gamma$ sont des caractéristiques du sol.

exemple pour $Ps = 1.5$.

	a	α	B	γ	δ
Tomblaine.	9.5	.27	9.08	99.8	-111.7
GRIGNON	10.3	.95	8.81	63.2	-96.5
Ferkessoudougou (Côte D'Ivoire).	9.91	.27	8.32	91.0	-100
Niger (sol sableux)	13.7	3.15	9.04	69.9	-100

Production de neutrons :

Source : émetteur α + Beryllium (CHADWICK)



Le neutron émis est d'une puissance de 5 Mev.

Dans la nature, l'émetteur de particules α est le radium 226, mais il n'est pas utilisé à cause de son émission de rayons γ d'ordre de 1,76 Mev.

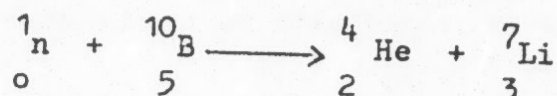
L'émetteur utilisé est l'Américium 241 qui donne des rayons γ d'une puissance de 0,06 Mev.

On compte utiliser plus tard le californium 252, un produit de fission qui nous évite d'utiliser le béryllium et qui n'émet pas de rayons γ .

Détection de neutrons :

- On utilise les compteurs à BF_3 (trifluorure de bore) enrichis en ^{10}B

la réaction est



La sonde Solo comptée de 3 He à 4 atm et une source de Am-Be de 10 mCi

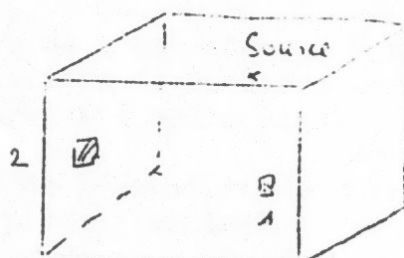
Utilisation :

On mesure les sections efficaces du sol :

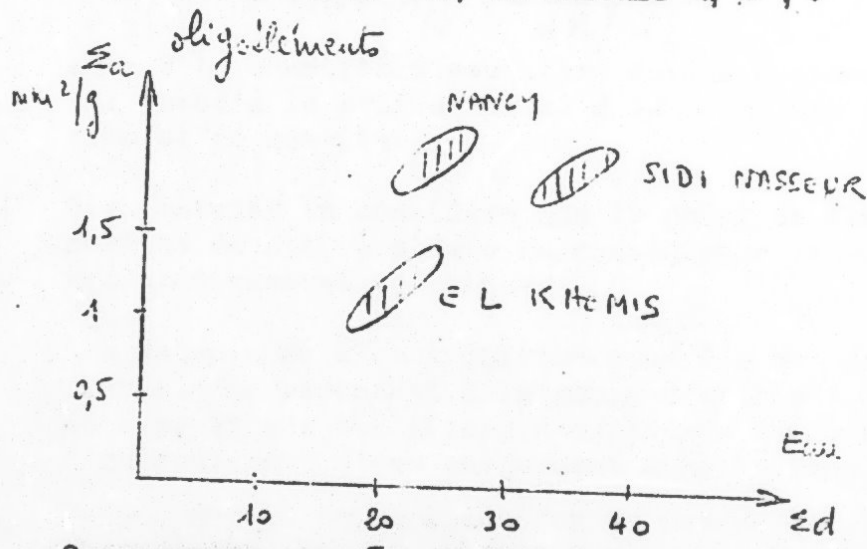
Σd : diffusion suivant la teneur en eau

Σa : absorption par ses éléments de capture suivant la technique de l'empilement graphite

1 m³ de graphite entouré de Cd.



à partir du Σa et Σd , on calcule α, β, δ



On remarque que Σd est lié à l'eau et Σa aux oligoéléments.

Applications :

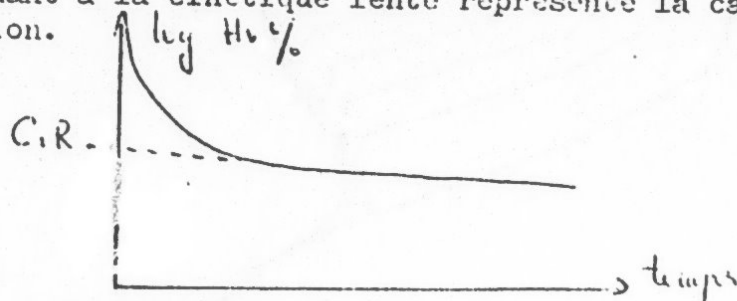
La sonde est utilisée dans

- relation eau-sol
- relation eau-sol-plante
- irrigation.

Dans la relation eau-sol, la méthode permet de déterminer certaines caractéristiques hydrodynamiques du sol.

Exemples de profils neutroniques relevés pendant les phases d'infiltration, de ressuyage et d'infiltration et ressuyage (voir photocopies).

On relève la capacité de rétention C.R. En effet au cours de l'évolution de $\log H_v$ en fonction du temps à plusieurs profondeurs lors du ressuyage, on constate que deux cinétiques sont mises en évidence. La première rapide, est liée principalement aux écoulements gravitaires, la seconde lente, fait intervenir les forces capillaires. Le compartiment d'eau correspondant à la cinétique lente représente la capacité de rétention.



L'analyse de l'assèchement à partir des profils hydriques et des variations de succions correspondantes permet de calculer la conductivité hydraulique.

A partir de l'équation de Darcy généralisée du mouvement d'eau dans un profil vertical :

$$\frac{\partial H_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(H_v) \frac{\partial H}{\partial z} \right)$$

On obtient la formulation suivante :

$$K(H_v) \text{ cm/j} = \frac{(dw/dt) z}{dH/dz}$$

avec W la quantité d'eau libre totale contenue dans le profil jusqu'à la profondeur z, H la somme des forces de succion et de gravité.

Bien entendu on considère que le point de flux nul est à la surface du sol, protégée en conséquence vis-à-vis des échanges hydriques et thermiques.

Les valeurs de k sont obtenues pour des humidités relatives élevées, correspondant à la gamme d'utilisation des tensièmes, et aux conditions d'expérimentation représentatives d'un mouvement d'eau uniquement dans le sens vertical.

Notons que la sonde à neutron ne mesure que les états hydriques et non les états dynamiques.

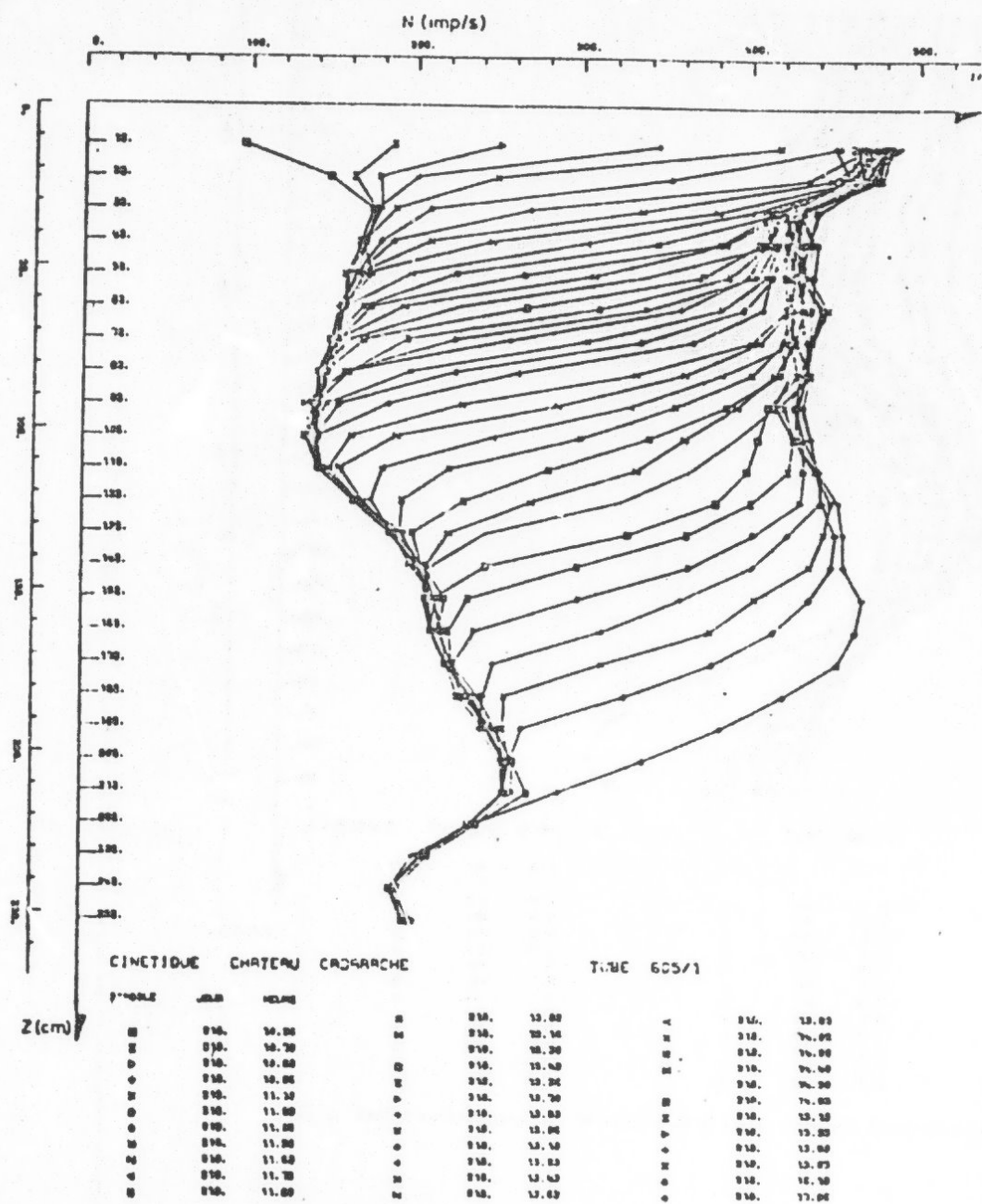
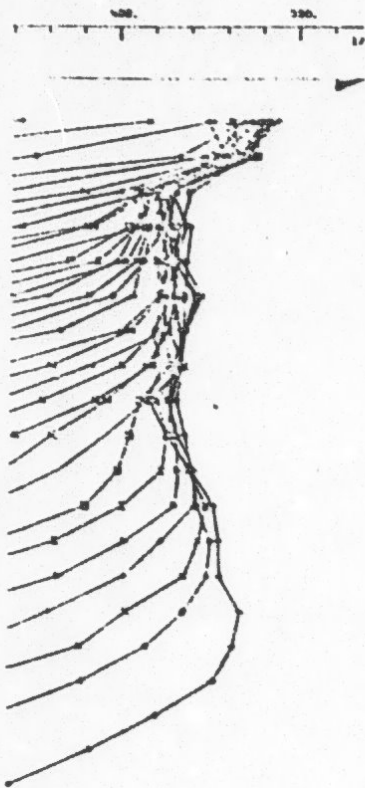


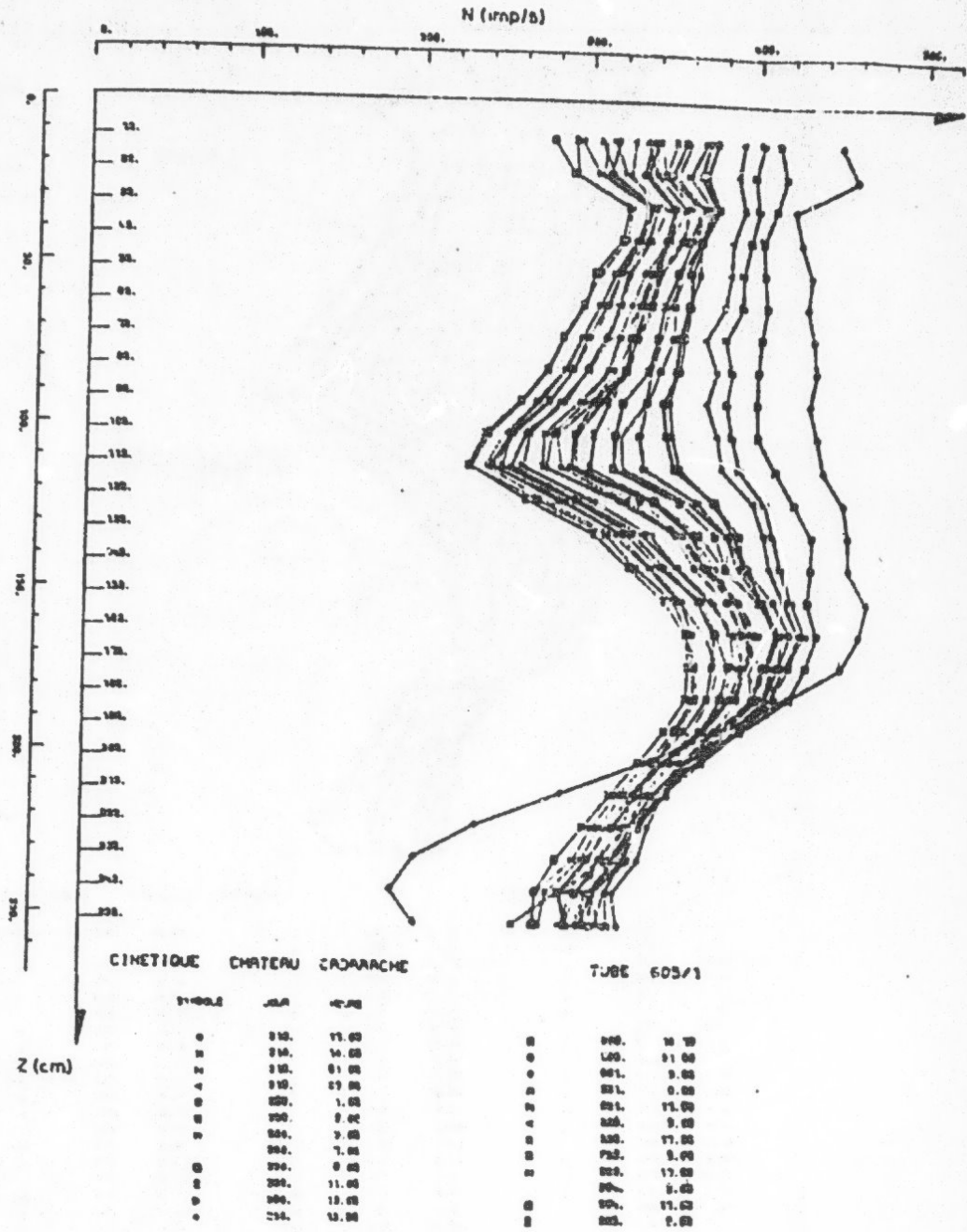
FIG. 3. Profils neutroniques relevés pendant la phase d'infiltration (premier apport d'eau).



605/1

4	310.	15.00
8	310.	14.00
12	310.	13.00
16	310.	12.00
20	310.	11.00
24	310.	10.00
28	310.	9.00
32	310.	8.00
36	310.	7.00
40	310.	6.00
44	310.	5.00
48	310.	4.00
52	310.	3.00
56	310.	2.00
60	310.	1.00

nation (premier apport d'eau).



CINETIQUE CHATEAU CAJARACHE

TUBE 605/1

0	310.	15.00
4	310.	14.00
8	310.	13.00
12	310.	12.00
16	310.	11.00
20	310.	10.00
24	310.	9.00
28	310.	8.00
32	310.	7.00
36	310.	6.00
40	310.	5.00
44	310.	4.00
48	310.	3.00
52	310.	2.00
56	310.	1.00
60	310.	0.00

0	310.	15.00
4	310.	14.00
8	310.	13.00
12	310.	12.00
16	310.	11.00
20	310.	10.00
24	310.	9.00
28	310.	8.00
32	310.	7.00
36	310.	6.00
40	310.	5.00
44	310.	4.00
48	310.	3.00
52	310.	2.00
56	310.	1.00
60	310.	0.00

FIG. 4. Profils neutroniques relevés pendant la phase de ressuyage (premier apport d'eau).

FIN

... **44** ...

VUES