

**DÉLÉGATION GÉNÉRALE  
A LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE  
- D.G.R.S.T. -**

**MINISTÈRE DU PLAN  
DE LA RÉPUBLIQUE  
DE HAUTE-VOLTA**

**Office de la Recherche  
Scientifique et Technique  
Outre-Mer  
- O.R.S.T.O.M. -**

**Groupement d'Études et de Recherches  
pour le Développement de  
l'Agronomie Tropicale  
- G.E.R.D.A.T. -**

**Institut d'Élevage et de  
Médecine Vétérinaire  
des Pays Tropicaux  
- I.E.M.V.T. -**

**Centre Technique Forestier Tropical  
- C.T.F.T. -**

**Université Paris VII  
Laboratoire de Géographie physique  
U.E.R. de Géographie et  
Sciences de la Société**

**Centre National  
de la Recherche Scientifique  
- C.N.R.S. -**

**Centre d'Études Phytosociologiques  
et Écologiques  
Louis EMBERGER de Montpellier  
- C.E.P.E. -**

**A.C.C. LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ**

**DANS L'OULDALAN**

**(Haute-Volta)**

**PROGRAMME :**

- Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta) ;
- Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 ;  
Critique des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien.

**A.C.C. LUTTE CONTRE L'ARIDITÉ**  
**DANS L'OUDALAN (Haute-Volta)**

---

**PROGRAMME :**

- Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta);
- Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 ;  
Critique des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien.

par

**A.M. SICOT**  
Agronome ORSTOM

«Cette publication présente les résultats de recherches menées dans le cadre d'accords conclus entre l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), le Ministère du Plan de la République de Haute-Volta et la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique».

*Novembre 1978*

## ERRATA

---

La 3ème page du sommaire occupe la place de la 4ème, et vice versa.

- |      |       |  |
|------|-------|--|
| p 4  | 25    | vertique / verticale   |
| p 6  | 23    | attendus / attendue  |
| p 9  | 4     | le sable / la sable  |
| p 15 | 9     | Intercaler par entre drainage et remontées capillaires   |
| "    | 11    | ETR = P-R-D-S  |
| "    | 20    | ETR = P-R-S  |
| p 24 | 4     | dans l'échelle / sans l'échelle  |
| p 29 | 25    | report / rapport   |
| p 32 | 5     | l'eau / d'eau  |
| p 36 | 1     | l'indice / l'incidence   |
| p 40 | 6     | 19 A à 19 F / 19 A à 19 B  |
| p 48 | 10    | les graphiques 37 et 38 / les graphiques 38  |
| p 54 | 11    | une anisotropie / un anisotropie   |
| p 59 | 15    | les deux systèmes / les autres systèmes  |
| p 60 | 16    | soient / soit  |
| p 71 | 9     | En glacis / Sur la dune et en plémont  |
| "    | 10-11 | Intercaler "Sur la dune et en plémont, la densité de la végétation est encore faible mais la continuité de la couverture occasionne une meilleure production". |
| p 73 | 30    | Le ruissellement / Ce ruissellement  |

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

#### I Cadre expérimental

11 - Généralités

12 - Critères de choix des sites parcellaires

121 - Critères géologiques et minéralogiques

122 - " géomorphologiques

123 - " pédologiques

124 - " floristiques et phytosociologiques

125 - " agronomiques

13 - Le dispositif expérimental

131 - Composition

132 - Equipement des parcelles

14 - Caractéristiques écologiques du dispositif expérimental

141 - Caractéristiques micro-climatiques

142 - Caractéristiques pédologiques

1°) Généralités

2°) La granulométrie

3°) La matière organique

4°) Les propriétés chimiques

a) la teneur en azote

b) le pH

c) le complexe absorbant

5°) Les propriétés hydrodynamiques

a) la structure et la stabilité structurale

b) la densité et la porosité

c) la perméabilité

15 - Conclusion

## II METHODOLOGIE

- 21 - Généralités
- 22 - Méthodes
  - 221 - La pluviométrie
  - 222 - Le ruissellement
  - 223 - Le drainage
  - 224 - L'évapotranspiration
  - 225 - L'eau du sol
    - 1°) L'humidité du sol
      - a) Détermination de l'humidité par gravimétrie
      - b) Détermination de l'humidité par neutronométrie
    - 2°) La réserve hydrique du sol
  - 226 - Le micro-relief
- 23 - L'échelle des mesures
  - 231 - L'échelle des espaces
  - 232 - L'échelle des temps
- 24 - Conclusion

## III RESULTATS

- 31 - La pluviométrie
  - 311 - la pluviométrie à 1 m. du sol
  - 312 - La pluviométrie au sol
- 32 - Le ruissellement et l'infiltration de l'eau des précipitations atmosphériques
- 33 - L'évapotranspiration
- 34 - L'eau du sol
  - 341 - Généralités
  - 342 - Comportement de l'eau dans les milieux sableux
    - A. Comportement de l'eau dans la dune
      - 1°) Généralités
      - 2°) La variabilité verticale de l'humidité
        - Evolution du profil hydrique moyen dans la dune
      - 3°) La variabilité latérale de l'humidité du sol
        - Variations des phénomènes d'humectation et de dessèchement
      - 4°) La réserve hydrique du sol

42 - Le ruissellement

43 - Le drainage

44 - L'évaporation

45 - L'eau du sol

451 - L'humidité du sol

A. Hétérogénéité hydrique inter-parcellaire

B. Hétérogénéité intra-parcellaire

1°) Facteurs déterminant l'hétérogénéité du profil en période sèche

a) l'homogénéité du profil

b) la morphogénèse

c) la pédogénèse

2°) Facteurs déterminant l'hétérogénéité du profil en période humide

a) l'hétérogénéité du sol

b) la redistribution des précipitations

c) la rugosité du substrat

d) modèle déterministe sur les causes et effets potentiels du micro-relief, sur le bilan hydrique

e) implications du modèle

3°) Facteurs entravant l'homogénéisation de l'humidité du sol

a) la texture

b) la structure

c) le drainage

d) la discontinuité de la couverture végétale

452 - La réserve hydrique du sol

A. La spécificité parcellaire de la réserve hydrique

B. La spécificité de la dynamique de l'eau au niveau de la réserve hydrique

C. La spécificité de la constitution et de l'utilisation de la réserve hydrique

1°) Constitution et utilisation de la réserve en milieu sableux

2°) Constitution et utilisation de la réserve hydrique dans les glacis et pédiments

3°) Constitution et utilisation de la réserve hydrique en bas-fond

453 - Le bilan hydrique dans les différents milieux étudiés

454 - Conséquences agrologiques

CONCLUSION

Bibliographie

B. Comportement de l'eau dans le piémont de Kolel

- 1°) Généralités
- 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol
- 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol
- 4°) La réserve hydrique du sol

343 - Comportement de l'eau dans les glacis et bas-fond à texture limono-argileuse

A. Comportement de l'eau dans les glacis de Kouni-Kouni

- 1°) Généralités
- 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol
- 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol
- 4°) La réserve hydrique du sol

B. Comportement de l'eau dans le glacis de Kolel

- 1°) Généralités
- 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol
- 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol
- 4°) La réserve hydrique du sol

C. Comportement de l'eau dans le bas-fond Winde-Tiuluki

- 1°) Généralités
- 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol
- 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol
- 4°) La réserve hydrique du sol

344 - Comportement de l'eau à Gountouré, milieu de pédiment à texture grossière

- 1°) Généralités
- 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol
- 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol
- 4°) La réserve hydrique du sol

35 - Conclusion

IV DISCUSSION

41 - La pluviométrie

411 - Généralités

412 - Origine du biais existant entre la pluviométrie au sol et à 1 m.

413 - Analyse des chroniques pluviométriques de Markoye et Gorom-Gorom

414 - Comparaison de la pluviométrie à Djalafanka, Gorom-Gorom et Markoye.

Annexe I : Tableaux de données

Annexe II : Cartes et figures

Annexe III : Description pédologique des sols des différentes stations,  
Notes de terrain de J.C. Leprun



## AVERTISSEMENT

Le milieu sahélien peut être considéré dans un sens général comme un ensemble d'écosystèmes définis par des conditions spécifiques d'aridité : caractère saisonnier et sporadique des pluies, longueur de la saison sèche, intensité de l'évaporation, forte variabilité des précipitations, précarité de la réserve en eau du sol, couverture végétale d'allure steppique... C'est une zone présentant des caractères fluctuants pour ce qui concerne les variables écologiques, où les équilibres biologiques sont fragiles et peuvent être rompus à tout moment. De telles conditions climatiques imposent des limitations sévères à l'exploitation de cette zone.

Pour parvenir à une utilisation plus rationnelle du milieu sahélien, il est non seulement nécessaire de comprendre le réseau d'interactions complexes et dynamiques qui se manifestent au niveau de cette entité, mais encore de saisir les relations entre l'homme et son milieu. Cela suppose une bonne connaissance de la structure et du fonctionnement de l'écosystème et de la variation de ses ressources en fonction des aléas climatiques.

Cependant et afin de pouvoir dégager les lignes directrices de la planification de ces zones à conditions marginales, il est nécessaire d'aboutir à une approche multidisciplinaire des interactions de l'écosystème.

C'est dans cet esprit qu'a été élaboré, à l'initiative de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique française\*, un programme de recherche intégré dans la région de la Mare d'Oursi (Haute Volta), considérée comme représentative des contraintes générales du Sahel Voltaïque. Des chercheurs de différentes disciplines se proposent d'y dresser un inventaire des ressources des milieux physiques et biologiques, de leur exploitation par l'homme, et de définir l'évolution de ces différentes ressources en fonction des facteurs écologiques.

Dans le contexte de ces travaux, prennent place les recherches entreprises par les sections AGRONOMIE et BOTANIQUE de l'ORSTOM.

---

\* Comité L.A.T. de la D.G.R.S.T. : Action conjointe et concertée : Lutte contre l'aridité en milieu tropical (Mali, Haute-Volta, Niger).

Le thème de recherche de ce groupe de travail est l'étude de la production de formations végétales sahéliennes en fonction des variables écologiques et plus particulièrement du bilan hydrique. Deux programmes parallèles mais complémentaires ont été développés sur différentes unités édaphiques :

- le premier porte sur les caractéristiques de la végétation,
- le second est relatif au cycle de l'eau.

Les études relatives à la végétation accordent une attention particulière à la structure, la composition floristique, la production et la dynamique des formations végétales retenues. Les observations sont menées à deux échelles :

- la première, l'échelle stationnelle, permet d'analyser plus finement l'évolution qualitative et quantitative de la végétation, et la dynamique de la production,
- la seconde, l'échelle du bassin-versant, permet d'établir un bilan annuel de la production, d'en suivre les variations interannuelles et de tester la validité de l'extrapolation de certains résultats obtenus à grande échelle.

Le programme concernant le cycle de l'eau s'attache à déterminer :

- les caractères hydrodynamiques des sols (densité, capacité de rétention, perméabilité,...),
- les flux de transfert de l'eau dans les différents milieux (précipitations, évapotranspiration, dynamique de l'eau dans le sol,...).

Les observations sont réalisées dans le détail au niveau stationnel, mais des coefficients de passage permettant l'extrapolation des résultats à plus petite échelle seront déterminés.

## INTRODUCTION

Le présent document s'insère dans le cadre du programme d'étude du cycle de l'eau et du bilan hydrique dans les écosystèmes types du bassin versant de la Mare d'Oursi. Il rassemble les premières données recueillies sur le régime de l'eau aux différentes phases du cycle : pluviométrie, ruissellement, drainage, évapotranspiration.

On ne s'arrête pas sur les raisons qui ont motivé leur collecte. Elles ont été exposées dans le rapport traitant de la production végétale et sont rappelées en avertissement.

Mais les conditions dans lesquelles elles ont été recueillies sont longuement exposées. Elles font aussi l'objet d'interprétations et de discussions détaillées.

Cette recherche de précision est voulue, compte tenu de l'état des connaissances en ce domaine. Il existe en effet une énorme disproportion entre l'étendue du savoir touchant à la plupart des caractéristiques physico-chimiques des sols et ce que l'on sait à propos de leurs propriétés hydrodynamiques et du régime de l'eau qu'ils renferment.

D'un côté, on peut aller jusqu'à l'analyse fine des processus pédogénétiques. De l'autre côté, les données disponibles sont très disparates, basées sur des mesures conventionnelles souvent effectuées au laboratoire et ayant peu de rapport avec l'organisation ou le comportement du profil pris dans son ensemble. Leurs caractères fragmentaires dans l'échelle spatio-temporelle les rendent sujettes à des extrapolations et des généralisations pas toujours valables.

Il a été admis, par exemple, sans aucune restriction dans le texte, qu'"en milieu contrasté sahélien, le front de l'humidité est un phénomène qui joue sur 1 à 3 mètres de profondeur en quelques semaines". Or, pour plus de 50 % des sols du bassin, le front d'humectation ne descend pas au delà de 45 cm, pendant toute la saison des pluies.

Cette apparente contradiction peut s'estomper si l'on précise, en ce qui concerne la Mare d'Oursi, que les sols susmentionnés relèvent des glaciis argilo-limoneux et que le front d'humectation descend bien entre 1 et 3 m de profondeur, mais en milieu sableux.

Cet exemple peut être symptomatique de l'évolution future des connaissances se rapportant au Sahel.

Dans cette zone complexe, les données d'observations actuellement rares et fragmentaires sont susceptibles de se transformer en un référentiel de résultats précis et cohérents.

C'est dans cet optique que se poursuivent les investigations du programme.

Pour en revenir au contenu de ce rapport, après une brève description du milieu et du cadre expérimental, sont exposées les méthodes utilisées pour :

- . le relevé de la pluviométrie,
- . l'estimation du ruissellement et de l'infiltration de l'eau des précipitations,
- . l'évaluation de l'évaporation,
- . le suivi de l'humidité et de la réserve hydrique du sol.

Vient, ensuite, le commentaire des résultats, suivi de leur discussion.

## I CADRE EXPERIMENTAL

### 11 - Généralités

La situation de la zone d'étude, au nord de la Haute Volta et la distribution, autour de la Mare, des sites étudiés sont indiquées dans la carte au 50.000<sup>e</sup> et dans le plan de la figure 1.

Le milieu naturel du bassin versant de la Mare d'Oursi a été décrit en 1976, à l'occasion de la Campagne de mesures de biomasse végétale (Sicot 1976).

Les données écologiques complémentaires qui suivent et les commentaires qui les accompagnent sont destinées à :

- expliciter les motivations du choix des sites d'étude,
- décrire le dispositif expérimental,
- particulariser ses différentes composantes.

### 12 - Critères de choix des sites parcellaires

De prime abord, le bassin de la Mare d'Oursi se présente comme un assemblage d'éléments très disparates. L'hétérogénéité se retrouve dans tous les domaines et à tous les niveaux.

Cette diversité n'est cependant pas gratuite. Elle est sous-tendue par une organisation qui semble liée aux phénomènes morphogénétiques (cf. schéma topologique de la figure 2).

Cette organisation sous-jacente, qui s'adapte très bien à l'étude du bilan hydrique (l'eau est un des principaux facteurs de morphogénèse), a servi d'axe directeur pour l'échantillonnage du bassin. Le choix des sites parcellaires a été fait, dans le contexte de cet échantillonnage, en fonction des contraintes techniques et matérielles.

Les différents critères examinés à cette occasion sont énumérés ci-dessus.

### 121 - Critères géologiques et minéralogiques

Les parcelles sont implantées :

- sur le socle antécambrien (Kouni-Kouni, glacis Kolel),
- en piémont de la colline grabbrotique de Kolel (Kolel piémont),
- sur des affleurements chaotiques de granites et de migmatites (Gountouré),
- sur des débris de cuirasse latéritique (Polaka, Gountouré),
- sur des sables éoliens plus ou moins profonds (dune d'Oursi, piémont de Kolel):

## 122 - Critères géomorphologiques

La parcelle de Kolel (piémont) est située dans un piémont de sable d'origine éolienne en surface et détritique en profondeur. Celle de Kouni-Kouni est en haut de pente, sur un glacis où transitent des particules détritiques sous l'influence du ruissellement en nappe.

Il en est de même pour la parcelle du glacis de Kolel. La parcelle de Gountouré est implantée sur un pédiment (Joly 1977) à transit et accumulation différentiels et celle de Winde-Tiuluki dans un bas-fond d'accumulation.

Presque partout, la surface du sol présente un micro-relief entretenu par l'érosion éolienne et hydrique.

Des phénomènes très localisés d'ablation, de transit et d'accumulation édifient ou arasent toute une série de micro-unités géomorphologiques : micro-buttes, micro-dépressions, micro-glacis, qui donnent au sol sa rugosité.

## 123 - Critères pédologiques

Des chaînes de sols de la région ont été retenues, d'après la nomenclature de JC Leprun (Leprun 1977, a et b) :

- 3 sols ferrugineux tropicaux, dont : 1 peu différencié, peu lessivé (Kolel piémont) ; 2 bien différenciés (Gountouré, Polaka).
- 2 sols brun-rouge subarides, peu différenciés (dune à l'est et l'ouest d'Oursi).
- 3 sols bruns subarides modaux (Kolel glacis, Kouni-Kouni, station météorologiques de Djalafanka).
- 1 sol brun subaride verticale (bas-fond Winde-Tiuluki).

## 124 - Critères floristiques et phytosociologiques

Toutes les formations végétales sont des steppes arbustives à strate ligneuse généralement très ouverte et très dégradée, sauf en bas-fonds où elle est dense et légèrement plus élevée.

Six parcours typiques, parmi les 23 groupements végétaux décrits en 1976 par Toutain, ont été choisis. Il s'agit des groupements :

- 1) AMs, dans la dune à l'ouest d'Oursi : formation des pénéplaines dunaires du nord-ouest de l'Oudalan, à Aristida mutabilis et Schoenfeldia gracilis en strate herbacée ; et Guiera senegalensis et Acacia senegal en strate ligneuse.

- 2) Cep, dans le piémont de Kolel, formation des piémonts d'inselberg à Cenchrus biflorus et Aristida mutabilis en strate herbacée et Acacia raddiana Savi, syn. A. tortilis et Acacia nilotica, var. adansonia.
- 3) Sgl, dans le glacis proche de la butte latéritique, Kouni-Kouni, formation liée aux affleurements rocheux à Schoenfeldia gracilis en strate herbacée et Acacia laeta en strate ligneuse.
- 4) Sgr, dans le glacis de Kolel, même type de formation que la précédente avec Acacia raddiana Savi. remplçant Acacia laeta ..., en strate ligneuse.
- 5) Spt, dans le bas-fond Winde-Tiuluki, même type de formation que ci-dessus avec différenciation d'un faciès propre aux dépressions et talwegs à Schoenfeldia gracilis et Panicum laetum en strate herbacée, et Acacia Seyal et Combretum aculeatum en strate ligneuse.
- 6) enfin Ase, dans le pédiment de Gountouré, formation liée aux cuirasses ferrugineuses " sur sol mince plus ou moins sableux" à Aristida adscensionis et Schoenfeldia gracilis en strate herbacée et Ptérocarpus lucens et Combretum micrantum, en strate ligneuse.

Les observations phytosociologiques et agrologiques effectuées en 1977 sur les parcelles d'étude par M. Grouzis (cf. rapport de la campagne de 1977, en préparation), l'ont conduit à introduire, à l'intérieur de ces unités, des subdivisions rendues nécessaires par l'échelle des investigations.

#### 125 - Critères agronomiques

La campagne de biomasse végétale de 1976, confirmée par celle de 1977, a permis de classer la production de ces différents groupements végétaux en quatre classes de productivité, selon lesquelles se distribuent les sites étudiés :

- glacis et pédiments divers : production très variable (0,5 - 1,5 tonnes/ha) de matière sèche (Kouni-Kouni, Kolel glacis, Gountouré),
- bas-fond : production 1,5 - 2 tonnes/ha de matière sèche (Winde-Tiuluki),
- milieu sableux : production 1,5 à plus de 2 tonnes de matière sèche (dune, Kolel piémont),
- plans d'eau plus ou moins permanents : production de plus de 3 tonnes/ha de matière sèche ; aucun site exploité actuellement en raison de difficultés de toutes sortes liées à la nature du sol et à l'inondation (remaniements faisant obstacle à la clôture, pâturage de l'herbe par le bétail en période de submersion, bilharziose à l'état endémique...).

En outre, certaines unités pédo-végétales occupant peu d'espace dans la zone ont été préférées à d'autres plus représentatives sur le plan de la surface occupée, à cause des modalités et de l'intensité de leur exploitation par l'homme et son bétail. Les piémonts sableux porteurs de cultures pluviales traditionnelles, les bas-fonds, pâturages d'hivernage ou terres de cultures de décrue d'introduction récente ont fait l'objet de telles motivations.

### 13 - Le dispositif expérimental

#### 131 - Composition

Les moyens en matériel et personnel mis en œuvre ont fortement limité le développement sinon la portée du dispositif expérimental. Il n'a pas été possible d'équiper complètement et de suivre régulièrement plus de six stations principales :

- deux en milieu sableux : les parcelles de la dune à l'ouest d'Oursi (AMs) et du piémont de Kolel (Cep),
- trois dans les glacis et pédiments, les composantes les plus disparates de la zone : les parcelles de glacis de Kouni-Kouni (Sgl) et de Kolel (Sgr) et de pédiments de Gountouré (Ase),
- et une en bas-fond : la parcelle de Winde-Tiuluki (Spt).

Deux stations secondaires, sommairement équipées, dont le suivi est moins régulier, retiennent l'attention pour des caractéristiques écologiques complémentaires à celles des stations principales et le supplément d'information attendue.

La première est située sur la dune, à l'est d'Oursi, en groupement Cdc. Le sol très profond est moins perturbé par le contact des deux ergs qui composent l'ensablement.

La seconde est située à l'extrémité occidentale du bassin, au lieu dit Polaka, en groupement Ase, bush dégradé, improprement nommé "brousse tigrée". La formation végétale et le sol rappellent Gountouré.

Mais à cette date, on n'a pas encore décelé d'écoulement hypodermique.

La parcelle "Cdc" doit permettre une description plus typique des phénomènes liés au cycle de l'eau en milieu sableux : infiltration plus profonde, distribution de l'humidité plus modale.



En l'absence d'écoulement hypodermique, le bilan hydrique doit pouvoir être "bouclé" dans l'écosystème de la parcelle de Polaka, caractérisant le milieu des pédiments.

La station météorologique, petite parcelle implantée sur le même glacis que la parcelle principale de Kouni-Kouni, à 200 m du campement, est plus qu'une station secondaire. Elle est occupée d'instruments météorologiques courants, exploités par le Service hydrologique de l'ORSTOM.

Les profils hydriques y sont relevés quotidiennement afin d'estimer l'infiltration locale et l'évapotranspiration réelle. Il sera peu question des parcelles secondaires dans ce rapport. Leur suivi en 1977 a été trop aléatoire.

Les données de la station météorologique seront analysées dans le prochain rapport, après transformations des profils neutroniques en profils hydriques volumiques.

Le tableau 1 résume les principales propriétés du dispositif expérimental et permet de comparer les conditions écologiques des différentes stations.

### 132 - Équipement des parcelles

La parcelle expérimentale principale occupe une surface de  $100 \times 100 \text{ m}^2$  clôturée pour les mesures de biomasse. L'appareillage standard est disposé selon le plan schématique de la figure 4. Il en est de même pour les emplacements où sont effectuées les mesures. On trouve :

- à l'intérieur de la parcelle :
  - . 5 tubes d'accès en duralumin pour la sonde à neutrons ; diamètre intérieur 42 mm, épaisseur 1 mm, 30 cm de garde au sol, longueurs utiles : standard, 150 m ; particulières : 2,55 m dans le piémont de Kolel et dans la dune, 3,60 m dans la dune à l'ouest d'Oursi,
  - . 1 pluviomètre totalisateur, implanté à 1 m du sol ;  $\emptyset = 15 \text{ cm}$ , profondeur 50 cm,
- à l'extérieur de la parcelle :
  - . 1 tube d'accès pour sonde à neutrons, pour l'étalonnage de l'humidimètre,
  - . 1 pluviomètre journalier, type Association, installé à 1 m du sol en 1978,
- sur chaque côté de la parcelle :
  - un emplacement de mesure de la capacité au champ, avec accessoirement un tube d'accès pour sonde à neutrons.
  - . 2 fosses pédologiques décrites par JC Leprun (cf. notes descriptives de terrain, en annexe), sur les parois desquelles ont été effectués les prélèvements de sol pour les analyses pédologiques et les mesures de densité.

L'équipement réduit pour les parcelles secondaires ne comporte que :

- . 2 tubes d'accès pour sonde à neutrons, protégés par un grillage léger,
- . 1 pluviomètre totalisateur,

- . 1 fosse pédologique,
- . 1 emplacement pour la mesure de la capacité au champ.

A l'extérieur de la station météorologique, a été installé un troisième tube d'accès pour sonde à neutrons, dans un site enherbé.

#### 14 - Caractéristiques écologiques du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental fera prochainement l'objet d'une présentation exhaustive, dans un rapport commun aux deux programmes. Dans ce paragraphe, on insiste surtout sur les caractéristiques utiles à l'analyse du bilan hydrique.

##### 141 - Caractéristiques micro-climatiques

Faute de moyens, on ne s'intéresse d'une manière détaillée qu'à la pluviométrie. Sa distribution très hétérogène peut être un critère valable pour la discrimination des micro-climats mais, à elle seule, elle ne peut rendre compte de toutes les propriétés de ceux-ci.

En particulier, il est certain que la situation de la parcelle de Winder-Tiuluki, en bas-fond, en fait un milieu nettement différent des autres milieux, quant au régime de l'évapotranspiration. Que l'on considère le pouvoir évaporant de l'air ou l'"indice de saturation" de celui-ci, le bilan doit être significativement favorable au bas-fond. Une étude complémentaire, légère quant à ses objectifs et aux moyens à mettre en oeuvre, sera entreprise en 1978. La distribution spatiale de la pluviométrie dans le bas-fond et sur le dispositif sera examinée dans les chapitres qui suivent.

##### 142 - Caractéristiques pédologiques

###### 1°) Généralités

Le sol de chaque station a été décrit par J.C. Leprun en 1977 (cf. Leprun 1977 a et b, et notes de terrain de l'auteur en annexe).

Les résultats des analyses pédologiques ont été regroupés dans le tableau 2, où l'on essaye de donner une vision synoptique des profils considérés dans leur ensemble. Pour le report des résultats d'analyse, on notera que les gradients, quand ils sont manifestes, sont symbolisés par des flèches dont le sens indique la progression de la surface vers la profondeur.

Les sols sont généralement profonds, dépassant partout 1 m d'épaisseur (plus de 4 m dans l'ensemble dunaire) mais, exception faite pour les milieux sableux, leurs propriétés physiques sont défavorables à la végétation et au travail de la couche arable.

## 2°) La granulométrie

Le piémont de Kolel est fait de sable pur en surface, qui s'enrichit progressivement en éléments fins pour donner une argile sableuse en profondeur. Dans la "pénéplaine" inter-dunaire à l'ouest d'Oursi, un sol sablo-argileux ferruginisé surmonte la sable de l'erg ancien.

Le glacis de Kouni-Kouni est fait d'argile sablo-limoneuse en transit.

Dans le glacis de Kolel, une argile limono-sableuse avec épandage de pierres en surface fait place à un matériau sablo-limono-argileux à partir de 1,30 m de profondeur.

Le profil de la parcelle de Gountouré est en grande partie constitué par un complexe gravillonnaire lié par un ciment sablo-argileux en surface, puis d'argile sableuse en profondeur. Précédant la roche-mère vers 1,30 - 1,40 m, on trouve un sable détritique. Winde-Tiuluki est une zone d'accumulation d'argile vertique. Le remaniement périodique du profil différencie par endroit des poches d'argile sablo-limoneuse.

## 3°) La matière organique

Le taux de matière organique est partout faible, même dans le bas-fond.

En milieu sableux, le rapport C/N est favorable à une transformation accélérée de la matière végétale en produits labiles (taux d'acide fulvique supérieur à celui des acides humiques). C'est le contraire en glacis.

Mais à cause du ruissellement, il n'y a pas d'accumulation ni sur place, ni même à Winde-Tiuluki (1,1 ‰ de matière organique). Le volant de matière organique est même très faible. On peut se demander si c'est le résultat des processus naturels de dégradation ou s'il n'y a pas un déséquilibre introduit périodiquement par transfert des produits organiques bruts vers les bas-fonds. La redistribution de la matière organique se fait en faveur de la mare ou de ses abords immédiats.

## 4°) Les propriétés chimiques

### a) la teneur en azote

En relation avec la médiocrité de la teneur en matière organique, la teneur en azote est très faible. Il est à craindre que ce facteur soit partout limitant pour la croissance végétale.

#### b) Le pH

Le pH de ces sols est généralement basique, voire ultra-basique, en profondeur (Kolel glacis, Kouni-Kouni, Winde-Tiuluki). Il n'y a guère qu'en milieu sableux ou d'ensablement superficiel qu'on puisse déceler une très légère acidité : Oursi 6,2 ; Gountouré 6,6.

#### c) Le complexe absorbant

Parallèlement, le complexe absorbant est le plus souvent saturé et même sur-saturé. Cependant, la désaturation en rapport avec l'acidité peut être très prononcée : taux de saturation, 38 % en profondeur, dans le sable dunaire (sol fossile profond, plus désaturé que le sol récent).

Il est à noter que la désaturation, d'ailleurs provoquée par le lessivage, se produit dans les milieux où le régime hydrique aurait tendance à être favorable à la végétation : concentration de l'eau des précipitations en bas-fond, infiltration maximale en milieu sableux.

Par suite, compte tenu du caractère limitatif du facteur hydrique à l'égard de la croissance végétale, en zone sahélienne, c'est principalement en ces milieux que des éventuelles déficiences minérales et hydriques, sur la production végétale, devront être recherchées.

Enfin, la désaturation du complexe absorbant est signe de drainage et de lixiviation du sol (drainage profond en milieu dunaire, lixiviation superficielle en bas-fond).

### 5°) Les propriétés hydrodynamiques

On entend par cette appellation les caractéristiques physiques autres que la texture, qui conditionnent la cinétique de l'eau dans le sol.

#### a) La structure et la stabilité structurale

Tous ces sols présentent, tout à fait normalement, une structuration emboîtée à plusieurs niveaux : sur-structure, structure, sous-structure (Gaucher 1968).

A chaque niveau, un réseau de fissures, plus ou moins fines, plus ou moins visibles à l'oeil nu, individualise des unités structurales aux dimensions définies :

- sur-structure, paquets d'aggrégats pouvant dépasser 30 cm de côté séparés par des fentes de retrait atteignant 3 cm de large en saison sèche, en bas-fond,

- structure, agrégats de quelques centimètres de côté, fissures à peine visibles,
- sous-structure, fragments d'agrégats, fissuration invisible à l'oeil nu.

La sur-structure des sols parcelaires varie le long du profil et de façon spécifique : structure prismatique, polyédrique, massive, nuciforme, cubique...

On se rapportera, pour les détails, aux fiches de terrain de J.C. Leprun en annexe.

L'indice d'instabilité structurale d'Henin, S, est partout faible. Par ailleurs, l'application de l'équation :

$$3 \log_{10} K + 2,5 \log_{10} S - 7,5$$

permettant sa comparaison avec la perméabilité, K, donne des valeurs négatives (cf. Henin et al.).

On en conclut que les différents milieux sont très stables, plus qu'ils ne devraient l'être ou que la perméabilité est faible. La raison réside sans doute dans la nature de l'argile (montmorillonite), dont le gonflement maintient la structure et diminue la perméabilité.

#### b) La densité et la porosité

Dans la figure 30, on peut se rendre compte que ces deux caractéristiques complémentaires sont fonction de l'état hydrique du sol.

De plus, les méthodes de mesure de ces caractéristiques peuvent se rapporter à des niveaux structuraux différents et par suite à des rapports entre phase solide et espace lacunaire différents.

Il en résulte que les mesures de densité et de porosité sont d'exécution et d'interprétation délicates, en ces sols.

En bas-fond, par exemple, la densité mesurée sur mottes sèches varie entre 1,83 et 1,87 alors que l'intervalle de variation n'est que 1,34 - 1,65 quand elle est mesurée sur le profil à l'état humide, au moyen soit du densiomètre à membrane, soit du préleveur cylindrique d'échantillons de sol. Ces considérations théoriques exposées, on note que les valeurs de densité ou de porosité mesurées indiquent que ces sols sont très tassés.

### c) La perméabilité

Les tests de laboratoire donnent des valeurs faibles pour la perméabilité, même dans le piémont de Kolel.

### d) La rétention hydrique

La rétention hydrique à pF 2,5 ; 3,0 et 4,2 est élevée dans les milieux ou horizons pédologiques argileux et très faible dans le cas contraire. La réserve utile varie parallèlement.

## CONCLUSION

En résumé, parmi la grande diversité de milieux présentés par le bassin versant de la Mare d'Oursi, un petit nombre ont été choisis pour la conduite du programme. Les nombreux critères de sélection utilisés maintiennent dans l'échantillon la disparité du milieu naturel pris dans son ensemble, les sols réunis dans le dispositif expérimental, en dehors d'une éventuelle carence en azote, sont généralement bien pourvus en éléments minéraux. Ils sont très tassés et très stables sur le plan structural.

En glacié, la texture argileuse confère au sol des potentialités de rétention hydrique élevées, sans doute sous-utilisées, en raison de la faible perméabilité.

C'est le contraire en milieu sableux. La capacité de rétention médiocre localement doit être compensée par la profondeur du profil. Reste à savoir si le système racinaire des plantes est capable par son développement de remonter l'eau profondément infiltrée.

## II METHODOLOGIE

### 21 - Généralités

Dans la suite des processus physiques et biologiques qui provoquent et entretiennent la circulation de l'eau dans l'écosystème, ceux qui conditionnent le transit vers l'atmosphère à travers la plante sont extrêmement importants. Ils s'accompagnent en effet d'élaboration de matière végétale, matériau indispensable à l'ensemble des êtres vivants.

De ce fait, il importe souvent de connaître la consommation hydrique de la couverture végétale. C'est une donnée de base pour l'estimation de la production primaire en milieu naturel.

L'évapotranspiration réelle (ETR) qui exprime cette consommation peut être mesurée directement en cases lysimétriques. Mais les moyens matériels et les mises au point requis à cet effet font que le plus souvent, elle est calculée ou déduite du bilan énergétique ou hydrique.

C'est la voie du bilan hydrique qui a été choisie dans cette étude limitée à la strate herbacée.

Dans son principe, le bilan hydrique est la comptabilisation des flux de transfert hydrique aux différentes phases du cycle de l'eau, entre les différents compartiments du continuum sol-plante-atmosphère.

Ces compartiments, qui font office de volants régulateurs des échanges hydriques, sont variables en nombre et en dimensions selon l'état de l'écosystème. On peut se faire une idée de la structuration du bassin, à ce point de vue, par le schéma de la figure 5. On distingue :

- un compartiment atmosphérique (1), point de départ des processus d'évaporation et de transpiration,
- un compartiment édaphique (2), réservoir et transitaire pour l'eau, qui joue un rôle important dans l'alimentation hydrique de la végétation,
- un compartiment végétal (3), pompe aspirant l'eau du sol, pour en rejeter la presque totalité dans l'atmosphère, siège des processus biologiques conduisant à l'élaboration de la matière vivante,
- et un compartiment d'eau libre (4), formé par les mares et cours d'eau plus ou moins permanents, qui servent d'accumulateurs pour l'élément.

L'établissement du bilan ne nécessite pas de connaître le niveau exact de ces réservoirs. Il suffit de repérer leurs fluctuations et d'estimer les différents flux d'échanges. De plus l'écosystème sur lequel porte le bilan peut être de nature, de composition et de dimensions quelconques. Les calculs peuvent aussi bien se rapporter à l'ensemble des phases et compartiments déjà énumérés : atmosphère, phytosphère, pédosphère..., qu'à une tranche de sol de dimensions infimes. Dans cette étude, le bilan hydrique est centré sur le compartiment édaphique, de la surface à une certaine profondeur, fonction des propriétés hydrodynamiques du substrat (infiltration, drainage).

Ce compartiment fait l'objet d'un suivi de la réserve hydrique.

Pour les autres compartiments, l'analyse est plus globale. On ne repère que les flux d'entrée et de sortie confondant, à certains stades, plusieurs réservoirs (les compartiments végétal et atmosphère, lors de la détermination de l'évapotranspiration).

Il en résulte une perception très simplifiée de l'organisation du continuum sol- plante-atmosphère au niveau des mesures. Celle-ci est schématisée à la figure 5'.

Le bilan s'établit en égalant l'écart des flux d'entrée et de sortie de l'élément de sol considéré aux fluctuations de sa réserve hydrique. Ce faisant, il est implicitement admis l'absence d'influence de puits ou de source. On a :

$$\Delta S = S(t_1) - S(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (\phi_e - \phi_s) dt = \int_{t_1}^{t_2} d\phi \cdot dt \quad (1)$$

$\Delta S$  désignant l'écart de niveau  $S(t_1)$  et  $S(t_2)$  de la réserve hydrique à  $t_1$  et  $t_2$  et  $d\phi$  la variation de flux d'entrée  $\phi_e$  et de sortie  $\phi_s$ , pendant l'intervalle  $dt$ .

En milieu naturel, les flux d'entrée sont constitués par :

- les précipitations P,
- les gains d'eau par ruissellement, et les gains d'eau par remontée capillaires.

Les flux de sortie sont :

- l'évapotranspiration réelle ETR,
- les pertes par ruissellement,
- et les pertes par drainage.



La notation algébrique permet de rassembler sous un seul symbole les différents postes du ruissellement :

$R > 0$  : pertes

$R < 0$  : gains

Il en est de même pour le drainage et les remontées capillaires, qui peuvent être considérés comme étant deux faciès d'un phénomène de drainage vertical, lequel se produit dans deux directions principales :

$D > 0$  : pertes, drainage conventionnel, ou "drainage descendant"

$D < 0$  : gains, drainage remontées capillaires, ou "drainage ascendant".

Il en résulte que :  $S = P - R - D - ETR$  (2)

ou :  $ETR = S - P + R + D$  (3)

Il est à noter que le drainage latéral n'est pas comptabilisé. Il est considéré comme donnant lieu à des flux de résultante nulle ou négligeable au niveau du point de mesure.

Une autre hypothèse permet de simplifier l'équation (3) : On admet que les flux de drainage vertical sont nuls ou négligeables dans la zone d'invariance des teneurs hydriques :  $D = 0$

Donc pour une épaisseur de sol allant de la surface jusqu'au niveau où l'humidité reste constante, l'équation du bilan est tronquée et s'écrit :

$$ETR = S - P - R \quad (4)$$

L'analyse du bilan hydrique et l'estimation de la consommation en eau de la couverture végétale exigent donc les déterminations suivantes :

- le suivi de la réserve hydrique du sol,
- le relevé de la pluviométrie,
- et l'estimation de la résultante du ruissellement.

L'évapotranspiration réelle ainsi calculée ne représente qu'un transfert d'eau du sous système sol-plante vers l'atmosphère. Il n'implique pas la saturation du pouvoir évaporant de l'air. Il importe donc, dans un premier temps, de déterminer le degré de satisfaction de la "demande d'évaporation" en comparant l'ETR à l'évapotranspiration potentielle, ETP.

## 22 - Méthodes

### 221 - La pluviométrie

En 1977, la pluviométrie cumulée a été relevée tous les dix jours pour chaque parcelle principale.

En outre, dans la station météorologique ont été mesurées :

- la pluviométrie journalière à 1 m du sol, au pluviomètre association,
- la pluviométrie journalière au sol, au pluviomètre à grille de type Sowondown (ORSTOM 1978).

En 1978, la pluviométrie journalière sera relevée dans chaque station principale. Le réseau des pluviomètres du dispositif intégré au réseau des hydrologues permet d'appréhender la distribution spatiale inter-stationnelle de la pluie.

La distribution spatiale intra-parcellaire de la pluie ne fait pas l'objet d'étude particulière. Des relevés d'intensité pluviométriques sont effectués par des hydrologues.

## 222 - Le ruissellement

En glacis, comme en piémont sableux, le ruissellement est un phénomène courant dans la zone d'étude. Il n'y a guère que dans la dune qu'il peut être négligé.

Un contrôle des entrées s'impose donc au niveau de la surface du sol, en raison de la redistribution des eaux des pluies qui en découle. Les contraintes matérielles n'ont pas permis d'installer des parcelles de ruissellement dans les stations étudiées. Par ailleurs, une expérimentation dans ce domaine (étude du ruissellement et de l'érosion hydrique) est menée par le CTFT dans le bassin de la Mare d'Oursi. Circonscrite au piémont de Kolel, elle ne répond pas à la totalité des besoins du programme. Par suite, il a été décidé, pour la campagne de 1977, d'appliquer aux stations étudiées des valeurs de ruissellement dérivées des mesures hydrologiques.

Le principe de l'opération est le suivant :

- chaque station est d'abord assimilée à un type de bassin versant sur la base commune des caractéristiques géomorphologiques et pédologiques,
- à partir du coefficient de ruissellement établi à chaque pluie par le service d'Hydrologie de l'ORSTOM, on calcule la lame d'eau ruisselée,
- celle-ci, cumulée sur des périodes décennales, permet d'estimer par différence la quantité d'eau infiltrée dans le sol.

A partir de 1978, dans les glacis, milieux les plus ruisselants et dans le piémont de Kolel, où l'extrapolation est contestable, on évaluera directement la quantité d'eau infiltrée dans le sol à chaque pluie par des relevés de profils hydriques avant et après la pluie.

### 223 - Le drainage

Par hypothèse, tous les types de drainage : drainage vertical ascendant, descendant, drainage latéral sont considérés comme nuls ou négligeables ou donnant lieu à des effets nuls ou négligeables.

Mais cette hypothèse est particulièrement litigieuse en milieu sableux. Là, le ruissellement superficiel est remplacé par le phénomène composite du drainage oblique (composition des drainage latéral et vertical), qui a même effet sur l'eau des précipitations (transfert vers les dépressions). En égard aux fortes pentes de l'ensablement dunaire, il est peu probable qu'il n'y ait aucun effet sur la distribution locale des pluies.

Des observations effectuées en 1975 avec A. Cornet, à Fôté-Olé, dans le Ferlo au Sénégal, permettent au contraire d'affirmer qu'il y a :

- infiltration plus ou moins totale en haut de dune,
- déficit d'infiltration sur la majeure partie de la pente,
- et excès d'infiltration en bas-de-pente et en dépression.

Dans les autres milieux, l'examen du régime hydrique des différents sols et l'analyse de leur bilan hydrique permettront de statuer sur la validité de cette hypothèse.

### 224 - L'évapotranspiration

L'estimation de l'évapotranspiration, l'ETR plus précisément, demeure l'objectif principal du programme.

Elle sera obtenue indirectement à partir du bilan hydrique. Dans cette première phase de l'étude, on rappelle qu'il est nécessaire d'être fixé sur le régime de fonctionnement du milieu : régime d'ETR, ETRM, ETP.

Dans cette optique, l'ETP décadaire sera calculée d'après la formule de Penman, à partir des données météorologiques de Markoye. Elle servira de terme de comparaison et permettra d'établir le bilan hydrique théorique de chaque station.

Auparavant, dans un but à la fois théorique et pratique, il a paru opportun de comparer les valeurs calculées aux mesures d'évaporation conduites dans la station météorologique.

### 225 - L'eau du sol

#### 1°) L'humidité du sol

Les fluctuations de la réserve hydrique du sol sont repérées par des relevés décadaires de l'humidité du sol en différents points du profil pédologique.

Les déterminations de teneur en eau sont faites par neutronométrie ou à défaut par gravimétrie.

a) Détermination de l'humidité par gravimétrie

La méthode gravimétrique sert de méthode de référence pour l'étalonnage de l'humidimètre (cf. rapport à paraître). Les poids frais des échantillons de sol (300 grammes environ) sont déterminés sur le terrain afin de pallier à tout effet du stockage sur la mesure.

b) Détermination de l'humidité par neutronométrie

La méthode neutronique mérite plus d'attention. Il existe une abondante littérature sur cette technique de mesure de l'humidité du sol, à laquelle on peut se reporter : cf. liste bibliographique, Sicot 1975.

On rappelle qu'elle est basée sur le rapport de proportionnalité entre le ralentissement d'un faisceau de neutrons rapides introduit dans le sol et l'humidité volumique de celui-ci, les atomes d'hydrogène de l'eau étant responsables du ralentissement. L'équation d'équivalence :

$$N = \text{nombre de neutrons ralentis détectés} \quad N = a H_v + b$$

$H_v$  = humidité du sol

a et b = constantes

doit être établie par un étalonnage particulier pour chaque sol, ceci en raison des incidences spécifiques de la composition chimique et de la densité, sur la diffusion et l'absorption des neutrons rapides. Auparavant, des tubes doivent être installés dans le sol, pour permettre l'accès de la sonde aux différents points du profil.

Cette opération a été difficile à réaliser dans les sols très tassés et très desséchés de la Mare d'Oursi.

En l'absence d'une foreuse acquise tardivement, il a fallu, pour la plupart des forages réalisés à la tarière, humecter le profil afin de faire pénétrer la sonde ou remonter la carotte de terre.

Le trou de forage a été agrandi de ce fait. Les interstices entre la paroi et le tube ont été comblés par de la terre broyée tassée au moyen d'une tige métallique. L'installation du tube s'est achevée par une irrigation fractionnée.

En raison de la nature de l'argile du sol, une telle façon de faire n'a pas eu de conséquence fâcheuse sur la circulation de l'eau autour du tube.

La montmorillonite partout présente, fait du terrain un matériau gonflant. Deux mois plus tard, le contact intime était réalisé sans discontinuité majeure dans le profil (cf. graphiques de profils hydriques en annexe).

La détermination de l'humidité proprement dite se fait dans un ellipsoïde de révolution centré sur le point de mesure, assimilable à une sphère.

Pour un rayon de dimension :

$$R = 15 \sqrt[3]{\frac{100}{Hv}} \quad \begin{array}{l} R \text{ en centimètre} \\ Hv \text{ en \%} \end{array}$$

(formule de Van Bavel), 95 % des neutrons lents y sont détectés. Etant donné l'intense dessication en saison sèche : 0,5 à 1 % en sol sableux, 5 à 10 % en sol argileux, ce rayon peut atteindre respectivement 45 à 60 cm et 25-35 cm dans les sols susmentionnés. Mais la composition du nuage neutronique, d'autant plus dense en neutrons ralentis que l'on se rapproche du centre, justifie l'exécution de mesures rapprochées (Sicot 1975).

Un intervalle constant de 15 cm entre les points de mesure, à partir de la surface du sol, a été retenu.

Les caractéristiques de l'humidimètre Solo utilisé entraînent que la détection de N neutrons ralentis en temps court se déroule suivant un processus aléatoire assimilable à une loi de Poisson, de moyenne 10 N et d'écart-type  $\sqrt{10N}$ .

Cette moyenne suit une loi normale de moyenne 10 N et d'écart-type  $\frac{\sqrt{10N}}{n}$ , n étant le nombre de répétitions des mesures.

L'erreur relative à 95 % est donnée par la formule :

$$e = \frac{\Delta(10N)}{10N} = \frac{t}{10N} \sqrt{\frac{10N}{n}} = t / \sqrt{10nN}$$

t étant le coefficient de Student-Fischer.

Soit pour les 3 mesures faites au même point,

$$e = 4,303/\sqrt{30N} = 0,79/\sqrt{N} \quad (A)$$

on utilise habituellement la formule :

$$e = 2/\sqrt{10nN} = 0,365/\sqrt{N} \quad (B)$$

En travaillant en temps long et en faisant deux répétitions (temps nettement supérieur à celui de 3 répétitions en temps court), les formules correspondantes sont respectivement  $1,47/\sqrt{N}$  et  $0,22/\sqrt{N}$ .

Il est par suite plus intéressant de travailler en temps court et d'augmenter le nombre de répétitions.

En terrain sableux, les comptages varient entre 100 et 200 implusions par seconde, en moyenne, mais peuvent chuter à 30 i/s en saison sèche.

La moyenne des variations est de 200 à 300 i/s en terrain argileux, avec la possibilité de dépasser 500 i/s.

L'appareil indique 1000 i/s dans l'eau pure. Le tableau ci-dessous donne la précision obtenue sur la moyenne de 3 répétitions en temps court, en fonction du niveau du comptage et selon la formule (A ou B) utilisée pour le calcul de cette précision.

Précision sur la moyenne de trois répétitions  
en fonction de la valeur du comptage (%)

Formule de calcul	$t/\sqrt{30N}$	$2/\sqrt{30N}$
Comptage		
30	14,3	6,5
100	7,9	3,6
150	6,4	3,0
200	5,5	2,6
600	3,2	1,5
1000	2,5	1,1

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- la précision de l'instrument est bonne à acceptable dans les sols argileux,
- acceptable dans les horizons de profondeur des profils sableux,
- carrément mauvaise dans les horizons superficiels de sable sec.

L'imprécision de l'humidimètre pour les faibles comptages semble avoir retenu l'attention de ses constructeurs. Dans la nouvelle série, ils proposent des appareils dont la charge radioactive est portée de 10 m Ci à 40 m Ci.

L'anisotropie locale n'a pas d'influence sur la précision de la sonde.

En plein champ, les mesures se répètent avec des écarts généralement inférieurs à l'écart maximal attendu. Dans les cas rares de dépassement, une troisième mesure se confond régulièrement avec la moyenne des deux premières.

## 2°) La réserve hydrique du sol

La réserve hydrique  $S$  qui intègre les comptages  $N_i$  de chaque tranche de sol sur une certaine partie plus ou moins importante du profil est proportionnelle à :

$$10 \sum_{i=1}^k N_i \quad k \text{ étant le nombre de points de mesure}$$

La variance de  $S$  est proportionnelle à :

$$10 \frac{k}{3} \sum_{i=1}^k N_i^2 = \frac{10}{3} \sum_{i=1}^k N_i^2 \quad \text{pour } n = 3$$

L'erreur relative sur  $S$  donnée par :

$$\pm \frac{10/3 \sum_{i=1}^k N_i^2}{10 \sum_{i=1}^k N_i} \quad \leftarrow \pm \frac{\sum_{i=1}^k 10/3 N_i^2}{10 \sum_{i=1}^k N_i}$$

est nettement inférieure à l'erreur relative commise sur l'humidité du sol. Cela est surtout vrai si  $k$  est élevé.

Avec  $k = 10$ , nombre de points généralement relevés dans les profils parcellaires, la précision sur la réserve hydrique est excellente, même en sol sableux :

$$e \ll 5 \%$$

En conclusion, à cause de l'imprécision de l'humidimètre Solo dans ces milieux, les remarques relatives à l'humidité des sols sableux devront être nuancées. Il n'y a rien à signaler à propos de l'humidité dans les sols argilo-limoneux ou de la réserve hydrique, quel que soit le substrat pédologique considéré.

La variabilité spatiale du profil hydrique fait partie des résultats exposés dans ce rapport. L'aspect qualitatif sera examiné ci-après. L'aspect quantitatif qui nécessite une **analyse** de variance discriminant les facteurs : station, site de mesure, date, profondeur de mesure et leurs interactions sera traité dans un prochain rapport, sur les données de l'humidité volumique.

## 226 - Le micro-relief

L'analyse de la variabilité spatiale de l'humidité du sol amène à considérer l'incidence de la rugosité (micro-relief) de la surface du sol sur la distribution de l'eau des précipitations (ruissellement, infiltration, ETR).

Le micro-relief a été relevé dans chaque parcelle, selon le principe des points quadrats (alignement de points de mesure distants de deux mètres).

L'unité micro-morphologique du point relevé a été déterminée, d'abord par nivellement, puis par observation et notation à l'oeil nu : micro-butte, micro-dépression, versant ....

Ces relevés serviront à caractériser la parcelle à analyser et à circonscrire l'hétérogénéité du sol.

Exécutés ultérieurement à petite échelle (dans les sites d'échantillonnage de 2 à 4 km<sup>2</sup> pour la mesure de la biomasse végétale), ils serviront, associés aux mesures de biomasse, à définir les termes de passage pour l'intégration des mesures parcellaires à l'échelle du groupement végétal.

## 23 - L'échelle des mesures

Les données recueillies doivent servir de référence pour des études d'aménagement et de développement régionaux. Elles doivent par ailleurs permettre de décrire et d'analyser des phénomènes présentant des fluctuations inter-saisonnières et intra-saisonnières. A côté de ces exigences spatio-temporelles, on est aussi confronté à des contraintes matérielles et techniques qui imposent aussi des niveaux d'étude dans le temps comme dans l'espace. On est par suite amené, tout au long de la conduite du programme, à résoudre des problèmes de représentativité des mesures, de contrôle de leur représentativité et, corrélativement, de leur intégration dans l'échelle spatio-temporelle.

## 231 - L'échelle des espaces

Le tableau 3 indique les différentes étapes de l'échelle des espaces à franchir pour passer des mesures ponctuelles de l'humidité par gravimétrie à l'ensemble du bassin. On y trouve aussi le fondement théorique qui permet d'envisager la possibilité de passer simplement d'un niveau à un autre et les mesures à mettre en oeuvre pour déterminer le terme de passage.

## 232 - L'échelle des temps

Les divers événements participant au bilan hydrique se produisent selon leurs fréquences, intensités et durées propres. Ces caractéristiques peuvent être régulières (cycle nyctéméral de l'évapotranspiration) ou irrégulières (irrégularités de la distribution pluviométrique), mais se distinguent surtout par leur relative indépendance.



Ce dernier fait constitue un des principaux obstacles à la réalisation de l'impératif technique du programme à savoir : recueillir le maximum de faits dans la totalité de leur expression, malgré l'absence de moyens d'enregistrement, avec des moyens limités pour l'exécution et le dépouillement des mesures et des contraintes techniques (élaboration d'un modèle de bilan hydrique à pas de temps fixe).

Le tableau 4 dénombre et ordonne les différentes fréquences auxquelles il faut trouver un dénominateur commun.

L'existence de phénomènes tels que le ruissellement et l'évapotranspiration réelle impose des rythmes d'observation et de mesures élevés pour le contrôle des entrées et sorties : rythme journalier par exemple.

Pour les mesures courantes, répétées dans le temps, un rythme décadaire a été retenu. Il tient surtout compte de la nécessité d'un pas fixe pour le modèle de bilan hydrique final.

A cause du nombre de parcelles, les mesures parcellaires sont décalées suivant un décalage constant séparant chaque série de mesures par rapport aux autres. Ce rythme n'est pas adapté à l'occurrence des phénomènes et bon nombre ne sont pas enregistrés (pluies) ou le sont imparfaitement (fluctuations de la réserve hydrique du sol ; voir à ce propos les figures 39A à 39F et 40).

La solution au problème de la fréquence d'exécution des différentes mesures réside dans la combinaison de fréquences variées en fonction des buts particuliers poursuivis.

En 1978, un tel principe sera mis à profit pour l'estimation de l'infiltration locale.

#### 24 - Conclusion

La conduite du programme repose sur la collecte de données variées nécessitant l'exécution d'un certain nombre de déterminations. Certaines de ces déterminations non accessibles par des mesures directes ont fait l'objet d'hypothèses simplificatrices qui sont à vérifier.

D'autres, définissant des grandeurs considérées comme constantes dans l'échelle temporelle, n'ont donné lieu qu'à une seule campagne de mesures. Les techniques utilisées à cet effet et les résultats obtenus seront exposés dans des rapports particuliers.

Pour le restant de ces déterminations, l'adaptation des techniques de mesure à l'échelle spatiale, bien que délicate, semble pouvoir être menée à bien en se référant à des principes d'organisation sous-jacents. Par contre, le rythme décadaire choisi comme étalon sans l'échelle de temps, pour l'exécution des mesures, occasionne des lacunes dans le nombre de faits recueillis et leur caractérisation. Des mesures supplémentaires sont projetées en 1978 pour mieux cerner l'infiltration locale et certaines fluctuations de la réserve hydrique du sol.

### III - RESULTATS

#### 31 - La pluviométrie

##### 311 - La pluviométrie à 1 m du sol

Le réseau des pluviomètres parcellaires (intégré à celui des hydrologues) a permis de dresser pour le bassin la carte schématique des isohyètes en 1977 (figure 6).

Elle permet de se rendre compte que la distribution spatiale des précipitations est très irrégulière : 170 mm séparent les extrêmes de la moyenne pluviométrique, de 438 mm en 1977. Cette irrégularité de la distribution spatiale varie chaque année avec le total pluviométrique : voir pour comparaison la carte des isohyètes en 1976 (ORSTOM 1978).

Cependant les pluviométries cumulées relevées dans les différentes stations sont très proches les unes des autres : 59 mm séparent le cumul le plus élevé enregistré à Oursi (469 mm) du minimum de Gountouré (410 mm). Cet écart n'est pas significatif à 95 % pour la moyenne de 430 mm. Le dispositif expérimental apparaît homogène, pour ce qui est de la pluviométrie totale.

Les figures 7A à 7F représentent les relevés décennaires de la pluviométrie dans chaque station principale.

Les parties hachurées indiquent les accroissements décennaires. Du fait des décalages journaliers entre chaque station, ces données ne sont pas directement comparables et, dans cet état, reflètent surtout l'incidence :

- du choix arbitraire de l'origine des temps,
- du rythme des mesures, par rapport à l'occurrence des précipitations.

Les pluies cumulées dans chaque station étant des fonctions croissantes du temps, il est illusoire de rechercher pour cette grandeur une corrélation inter-parcellaire qui existe forcément.

On note cependant (figures 8 et 9) :

- que l'augmentation de la pluviométrie est linéaire dans chaque parcelle ; régression parcellaire :

Kolel (piémont)	$y = 3,865 + - 25,49$	$r^2 = 0,99++$
Kolel (glacis)	$y = 3,521 + - 13,31$	$r^2 = 0,93++$
Oursi	$y = 4,22 + - 58,8$	$r^2 = 0,95++$
Winde-Tiuluki	$y = 3,681 + - 2,38$	$r^2 = 0,99++$

Kouni-Kouni	$y = 3,842 t - 2,04$	$r^2 = 0,99++$
Gountouré	$y = 3,96 t - 46,17$	$r^2 = 0,97++$

- et que les différentes régressions peuvent être confondues à un seuil hautement significatif ; régression globale :

$$y = 3,607 t - 24,2 \quad r^2 = 95++$$

avec  $y$  = pluviométrie cumulée en mm,  $t$  = temps en jour.

L'analyse s'est poursuivie sur les valeurs des différentes chroniques ajustées selon les régressions partielles et en prenant le 1er juin pour origine des temps.

Le tableau 5 appelle les remarques suivantes :

- la pluviométrie est très hétérogène en début d'hivernage,
- cette hétérogénéité contribue, avec les propriétés hydrodynamiques du sol, à donner aux différents milieux leur spécificité à l'égard du démarrage de la période végétative et de la croissance végétale,
- des compensations se produisent au cours de l'hivernage,
- mais la pluviométrie à Gountouré reste décalée vers des valeurs un peu plus faibles que dans les autres stations,
- globalement, la pluviométrie s'accroît quotidiennement de 3,8 mm pour l'ensemble du dispositif expérimental.

### 312 - La pluviométrie au sol

Les hauteurs de pluie journalière à 1 m relevées dans la station météorologique sont systématiquement inférieures aux hauteurs correspondantes relevées au sol dans la même station (cf. figure 10).

Les deux séries de mesures sont liées par régression hautement significative, d'équation (après élimination de quelques mesures litigieuses, quant à leur exécution) :

$$P_s = 1,21 P_a + 0,22 \quad r^2 = 0,97++$$

avec  $P_s$  = pluie au sol en mm,

$P_a$  = pluie à 1 m du sol en mm.

L'ajustement peut sans doute être amélioré par l'introduction de la vitesse du vent durant la pluie et de l'intensité de celle-ci. Pour le moment, on se contente de noter l'existence du biais systématique entre les mesures, biais entraînant un surplus de pluie de plus de 20 % au niveau du sol.

### 32 - Le ruissellement et l'infiltration de l'eau des précipitations atmosphériques.

Les coefficients de ruissellement décennaires et les quantités d'eau infiltrées correspondantes, calculées à la fois sur la base de la pluviométrie à 1 m et au sol, sont insérés dans les tableaux 11A à 11F.

Au tableau 11B relatif au piémont de Kolel, sont consignées deux séries de coefficients de ruissellement : c et c'.

Les valeurs de pluie (au sol) infiltrée de la colonne Psi dérivent des coefficients de la série c (mesures hydrologiques du laboratoire de l'ORSTOM).

La série c' issue des mesures du CTFT (CTFT/Haute-Volta 1978) est donnée à titre de comparaison car les conditions expérimentales (pluviométrie, incidence des facteurs agissant sur le ruissellement dans les parcelles de ruissellement) ne sont pas comparables à celles de la station agronomique. Les conditions de la colline de Kolel, quant au ruissellement, sont aussi différentes de celle de la station.

Mais dans les deux cas, on aboutit à des coefficients de ruissellement du même ordre (15 % et 20 %).

Les valeurs hydrologiques ont été préférées aux résultats du CTFT, parce que dans la partie du piémont où est installée la station d'étude, la pluviométrie est analogue au bassin hydrologique et que le ruissellement y est moins important que dans la parcelle de ruissellement du CTFT (pente moins forte, situation moins proche de la colline).

Ces données (de ruissellement) font ressortir les effets bien connus des différents facteurs provoquant le ruissellement, à savoir :

- les caractéristiques hydrodynamiques du substrat : le ruissellement est négligeable sur la dune, d'environ 15 % dans le piémont sableux enrichi en argile en profondeur, de 28 % dans le piémont de Gountouré et de 35-40 % dans les glacis argileux de Kouni-Kouni et de Kolel.
- la topographie : la pente très accusée dans le piémont et surtout sur la colline de Kolel, contribue sans doute pour beaucoup aux 15 à 20 % de ruissellement dans le piémont de Kolel, alors que tout s'infiltré dans la dune, où l'horizon superficiel est analogue mais avec une pente plus faible.

- la quantité et l'intensité de la pluie : malgré le regroupement arbitraire des différentes pluies par décades, on constate que les coefficients de ruissellement les plus élevés correspondent aux séquences pluvieuses les plus abondantes et inversement.
- et la couverture végétale : le ruissellement est important en début et en fin de période végétative, c'est à dire avant l'édification de la couverture végétale et lorsque celle-ci commence à se désagréger.

A propos du ruissellement et de l'infiltration, on peut ici mentionner la certitude de l'existence d'un drainage oblique, important en milieu du-naire et sans doute non négligeable en glacis. On n'en veut pour preuve que le gauchissement d'un tube de sondage après une année d'implantation dans un glacis, à la station météorologique de Djalafanka. Le tube, qui était en duralumin, s'est tordu à 1,20 m de profondeur, à cause du déplacement relatif de la partie supérieure du profil, sous l'influence du drainage oblique par rapport à la couche profonde, non concernée par ce phénomène.

Un tel fait d'observation met sérieusement en question l'hypothèse de la nullité des effets des flux latéraux, comme des flux profonds, sur le bilan hydrique du sol. Des mesures complémentaires de flux hydriques ou à défaut de tension de l'eau dans le sol s'imposent dès à présent.

En conclusion, on retiendra :

- la disparité des composants du bassin à l'égard du ruissellement,
- l'importance de ce phénomène dans certains milieux,
- l'existence d'un drainage oblique qui impose des mesures complémentaires pour un réel contrôle des entrées et sorties d'eau dans le sol.

### 33 - L'évapotranspiration

La courbe de la figure 11 représente l'évolution de l'évapotranspiration potentielle. Elle est tracée à partir de valeurs calculées selon la formule de Penman, à partir des données météorologiques de Markoye. D'allure sinusoidale, elle présente une légère remontée au mois d'octobre à l'intersaison, avant l'installation de la période froide de la saison sèche.

On note aussi que les pluies se déclenchent au moment où le pouvoir évaporant de l'air est maximum : 7,3 mm/jour et qu'elles entraînent la chute de celui-ci. Cette constatation banale a pour conséquence que les précipitations de début d'hivernage sont rapidement évaporées laissant les germinations dans une situation hydrique d'autant plus précaire que la distribution pluviométrique est très aléatoire et que le sol rencontre compétition pour l'eau avec la plante, pour reconstituer sa réserve.

On se rapportera au document relatif aux "observations météorologiques à la station de Djalafanka" (ORSTOM 1978) pour l'examen des données d'évaporation recueillies au moyen du Piche, du bac Colorado et du bac de classe A.

Au tableau 5, sont explicitées les liaisons bisérielles entre chroniques de données mesurées au moyen des instruments sus-mentionnés et l'ETP calculée selon Penman.

Le bac Colorado, le Piche (corrélation hautement significative) et, dans une moindre mesure, le bac de classe A (corrélation significative) sont bien adaptés à l'estimation de l'ETP, par l'intermédiaire de la mesure de l'évaporation de l'eau libre. Il est cependant d'un grand intérêt de séparer la période sèche de la période humide. Les corrélations en période humide sont nettement améliorées. Ce serait sans doute le cas pour la période sèche si l'analyse avait été menée sur toute sa durée. Les trois instruments sont tout à fait équivalents en hivernage.

Ce n'est qu'en saison sèche que le Piche pourrait, à la rigueur, apparaître moins adapté à l'estimation de l'ETP que les deux bacs.

#### 34 - L'eau du sol

##### 341 - Généralités

L'humidité du sol et la réserve hydrique du profil sont contrôlées par des mesures effectuées à la sonde à neutrons. En 1977, le suivi durant l'hivernage a été perturbé par deux pannes de l'humidimètre utilisé.

Ces pannes ont eu pour conséquence :

- l'arrêt des relevés de profils neutroniques, remplacés par des relevés effectués par gravimétrie,
- le rapport des opérations d'étalonnage entreprises sur le terrain. L'étalonnage de l'humidimètre dans les différents sols étudiés est maintenant terminé, mais l'essentiel des profils hydriques sont encore à l'état de profils neutroniques.

Il n'est donc pas possible de les rapprocher de la pluviométrie, de l'évaporation, du ruissellement et des drainages divers. Mais d'ores et déjà les différentes chroniques de profils moyens (moyenne des mesures des cinq tubes parcellaires) permettent d'accéder à une connaissance approfondie du comportement de l'eau dans le sol.

Par ailleurs, la comparaison des chroniques des différents tubes apporte des informations complémentaires quant aux fluctuations occasionnées par l'hétérogénéité des différents sites.

Les figures examinées ci-après ne rassemblent pas tous les relevés de la chronique, mais quelques profils choisis parmi les plus représentatifs pour illustrer les phénomènes généraux et l'amplitude des variations spatio-temporelles.

Ces graphiques correspondent aux chroniques :

- des profils hydriques (fig. 12A à 19F),
- des comptages dans certains horizons caractéristiques de ces profils (fig. 20 à 26),
- des fluctuations de la réserve hydrique totale, estimée à partir des comptages neutroniques (fig. 27 à 32).

Avant l'exposé des commentaires relatifs à ces graphiques, on rappelle que les relations d'équivalence entre les comptages neutroniques et l'eau du sol sont du premier degré.

Par conséquent, les remarques qui peuvent être faites à propos des profils neutroniques sont facilement transposables à l'humidité du sol et à sa réserve en eau (eau de constitution et eau suspendue).

Aussi celles qui suivent, sautant souvent l'étape de la référence au comptage neutronique, se rapportent directement à l'état hydrique du sol (humidité, réserve).

On examinera successivement le comportement de l'eau dans les différentes stations regroupées en :

- milieux sableux,
- milieu des glacis et bas-fond à texture limono-argileuse,
- et milieu des pédiments à texture grossière.

Pour chaque station, seront analysées :

- la variabilité verticale des profils hydriques sous l'influence des phénomènes d'humectation et de dessèchement,
- la variabilité latérale de l'état hydrique du sol et de ses propriétés hydrodynamiques à partir des fluctuations observées dans l'environnement des cinq tubes parcellaires, à l'échelle stationnelle.

### 342 - Comportement de l'eau dans les milieux sableux

#### A) Comportement de l'eau dans la dune

##### 1°) Généralités

L'analyse est centrée sur la parcelle principale de la dune d'Oursi : figures 12A à 12F, pour l'humidité des profils,



figures 20 et 21 pour l'évolution de cette humidité dans les principaux horizons,

figure 27 pour les fluctuations de la réserve hydrique.

On rappelle que l'humidimètre est peu précis dans de tels milieux à cause des comptages peu élevés. Une texture de sable presque pur, pauvre en eau liée et de faible pouvoir de rétention, en est responsable.

## 2°) La variabilité verticale de l'humidité. Evolution du profil hydrique moyen dans la dune

L'examen de la figure 12A suscite les commentaires suivants :

- le dessèchement du profil en saison sèche est intense de la surface à 60 cm de profondeur,
- à partir de cette profondeur la croissance de l'humidité est négligeable et celle-ci est pratiquement constante sur l'épaisseur de sol prospectée (cf. profil du 28/04),
- le profil s'humidifie avec les pluies mais, jusqu'à ce que l'humidité soit ramenée au niveau de celle rencontrée à partir de 60 cm de profondeur, l'eau reste cantonnée au voisinage de la surface (cf. profil du 20/07),
- par la suite, l'humidité gagne en profondeur en restant un peu plus élevée dans les horizons supérieurs,
- un front d'humectation assez net sépare la partie humide de la partie sèche du profil,
- l'évaporation a un effet dépressif sur l'humidité de la couche superficielle du sol.

La configuration d'ensemble du profil diffère du schéma classique de la circulation de l'eau dans ce même milieu saturé (Sicot 1977) par un fort gradient d'humidité du front d'humectation à la zone d'humidité maximale.

Les pannes de l'humidimètre n'ont pas permis de repérer avec précision la profondeur maximale atteinte par le front d'humectation.

Mais, à la date du 29/10, dans un sol évoluant vers le dessèchement, le front d'humectation était encore à 210 cm.

La distribution séquentielle des précipitations se traduit par des fluctuations de l'humidité du sol. L'amplitude de celles-ci, importante en surface, diminue jusqu'à s'annuler avec la profondeur. Dans la parcelle principale à l'ouest d'Oursi, les fluctuations sont négligeables pour le profil moyen à 150-165 cm (fig. 20).

Elles sont encore notables à 240-255 cm dans la parcelle secondaire à l'est d'Oursi (fig. 21).

Le retour au profil sec initial se fait avec un dessèchement beaucoup plus intense en surface. Le profil du 29/10 permet d'envisager un phénomène de self-mulching isolant en fin d'hivernage d'eau des horizons de profondeur de l'évaporation immédiate.

Ce fait peut expliquer une légère baisse de l'humidité en profondeur qui se remarque en début d'hivernage par rapport au profil sec initial (voir aussi baisse de la réserve hydrique à partir du niveau initial du 28/04).

Suivant cette hypothèse, l'évaporation de cette eau serait différée au cycle suivant.

Elle serait déclenchée par la cassure de la croûte protectrice par les premières pluies et les germinations et l'humidification de la couche superficielle du profil.

En définitive, le sol dunaire absorbant pratiquement la totalité des précipitations en surface, en retient relativement peu localement. L'infiltration et le drainage contribuent à redistribuer l'eau sur plus de 250 cm.

### 3° 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol. Variation des phénomènes d'humectation et de dessèchement

A la composante verticale de la variabilité spatiale, s'ajoute une composante latérale, examinée dans les graphiques 12B à 12F et 13.

Les différents profils, sans être superposables, sont assez proches l'un de l'autre. Jusqu'au 31/08, les fluctuations de comptage et les franges d'humectation successives peuvent être confondues aux aléas du comptage neutronique près.

Au delà de cette date, apparaissent les effets d'une meilleure fourniture d'eau ou d'une meilleure infiltration dans le voisinage des tubes 2 et 3, ainsi que dans la parcelle secondaire à l'est d'Oursi. Les profils se rechargent sur une plus grande épaisseur de sol, plus de 150 cm. A l'opposé, l'eau pénètre moins profondément autour des autres tubes (tube 4 principalement), mais donne lieu à une accumulation hydrique relativement plus importante en surface.

### 4°) La réserve hydrique du sol

A la figure 27 sont représentées les fluctuations de la réserve hydrique du sol par rapport au niveau initial du 28/04.

En dehors du fait que le niveau témoin peut être plus élevé à cause de l'irrigation du sol deux mois auparavant, au moment des forages, ces fluctuations suivent les variations de la pluviométrie.

Des alternances de remplissages et de vidanges très prononcés soulignent la grande disponibilité de cette réserve à l'égard de l'évaporation et de la transpiration.

Néanmoins, on enregistre une recharge progressive du réservoir. Celle-ci est particulièrement spectaculaire en fin de saison à cause de l'abondance des pluies. Au 29/10, l'état des réserves était encore supérieur au niveau initial.

Cette situation appelle les remarques suivantes :

- la croissance végétale s'arrête en fin d'hivernage, avant l'épuisement de la totalité de l'eau "susceptible d'être évaporée",
- la couverture végétale doit protéger celle-ci contre l'évaporation,
- cette protection doit être augmentée par le phénomène de self-mulching (dessèchement intense entraînant la formation de croûte superficielle).

On note, en terminant, qu'au regard des fluctuations de la réserve hydrique du sol, une fréquence decadaire des relevés convient tout juste pour l'enregistrement des faits en hivernage.

En début de la saison des pluies, un rythme pentadaire, voire journalier serait plus approprié, en regard aux faibles hauteurs pluviométriques mesurables et aux aléas de leur distribution.

## B) Comportement de l'eau dans le piémont de Kolel

### 1°) Généralités

L'eau, dans le piémont de Kolel, se comporte un peu comme dans la dune. Les remarques dans ce paragraphe n'insistent pas trop sur les ressemblances, soulignant surtout les différences.

### 2°) Variabilité verticale de l'humidité

Les comptages neutroniques sont toujours aussi faibles, dénotant, en surface surtout, une pauvreté en eau liée et une rétention hydrique limitée (fig. 14A).

Le dessèchement est toujours aussi important en surface. Il est prolongé par un fort gradient d'augmentation des comptages avec la profondeur, à mettre en rapport avec l'enrichissement progressif du profil en éléments fins.

L'humectation, toujours aussi progressive, est arrêtée à 90 cm dans le profil (cf. figure 22). Le dessèchement est plus homogène sur l'ensemble du profil.

### 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol

On peut se rendre compte, aux graphiques 14A à 14F (parcelle principale du piémont de Kolel) et 15 (site distant de 200 m), que le profil de dessèchement, à gradient d'humidité croissant en profondeur, ont même allure.

La variabilité latérale de l'humidité se traduit ici par des fluctuations légèrement plus élevées dans l'intensité de l'humectation : comptages variant de 150 i/s à plus de 200 i/s pour les profils les plus humides. Le front d'humectation est plus stable : 60-75 cm de profondeur.

### 4°) La réserve hydrique du sol

Les mêmes remarques, faites pour la réserve hydrique totale du sol dans la dune, peuvent être répétées pour le piémont : importantes fluctuations liées à la distribution des pluies, recharge du réservoir...

L'occurrence des relevés a permis d'enregistrer une importante recharge du réservoir en début d'hivernage, mais non l'extraordinaire remontée du niveau hydrique en septembre.

On note aussi que le niveau des principales remontées du réservoir est constant, comme si celui-ci arrivait à saturation. Or, ce n'est manifestement pas le cas. L'explication est à rechercher dans :

- l'incidence de la fréquence des relevés par rapport à l'occurrence des pluies,
- et surtout dans la limitation du remplissage du réservoir par le ruissellement.

Cette dernière hypothèse est d'ailleurs renforcée par le fait qu'avec des fournitures en eau très comparables, le sol de Kolel emmagasine nettement moins d'eau que celui de la dune.

L'existence de pertes par ruissellement observables in situ, est ainsi mise en évidence.

### 343 - Comportement de l'eau dans les glacis et bas-fond à texture limono-argileuse.

#### A - Comportement de l'eau dans le glacis de Kouni-Kouni

##### 1°) Généralités

A l'exemple de la dune pour les milieux sableux, le glacis de Kouni-Kouni est un milieu typique pour l'étude du comportement de l'eau en glacis.

Dans les autres milieux (glacis de Kolel, bas-fond de Winde-Tiuluki), il y a des phénomènes particuliers surnuméraires, mais on retrouve d'abord les faits fondamentaux analysés à Kouni-Kouni.

Les figures 16A à 16F, 23 et 29 se rapportent respectivement aux profils d'humidité, à l'évolution de celle-ci dans certains horizons et à la réserve hydrique.

Les comptages neutroniques sont plus élevés qu'en milieu sableux en raison de la texture argileuse qui détermine une plus grande quantité d'eau liée et un pouvoir de rétention plus élevé.

##### 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol

L'humectation et le dessèchement y sont plus intenses. Les comptages en saison sèche sont de 130 implusions par seconde (i/s) à 15 cm de profondeur pour 300 i/s à 75-90 cm.

L'humectation est brutale dès les premières pluies, faisant remonter le comptage vers 250 i/s dans les 15 premiers centimètres du sol. Pendant les périodes d'humectation, l'horizon 0-15 cm est le siège d'une véritable imbibition superficielle provoquée par la composition texturale et la nature de l'argile (montmorillonite).

Mais le front d'humectation ne dépasse pas 45 cm de profondeur. Le reste du profil, moins régulier qu'en milieu sableux, reflète l'organisation pédologique du substrat dans le glacis de Kouni-Kouni. Les teneurs hydriques, pratiquement constantes à partir de 45 cm, permettent de considérer comme nuls ou négligeables les flux hydriques au-delà de cette limite (hypothèse de base pour l'établissement du bilan hydrique).

Cependant, de faibles fluctuations de comptage, négligeables étant donné la précision de l'humidimètre, sont à noter, à cause de leur caractère systématique dans le profil (évolution parallèle du comptage dans les différents horizons (cf. figure 23) et à l'égard de la pluie (accroissements ou baisse du comptage jusqu'à 150 cm suivent globalement la tendance des horizons supérieures laquelle est liée aux précipitations).

Ces fluctuations peuvent être l'incidence de l'existence de flux profonds. Négligeables à l'échelle instantannée, ils peuvent être susceptibles de drainer des quantités d'eau appréciables, intégrés sur de longues périodes. Malheureusement, il n'est pas possible de préciser davantage, sur les seules données de teneurs hydriques.

Tant qu'elles ne seront pas couplées à des mesures de flux hydriques ou à défaut à des mesures de gradients de tension de l'eau dans le sol, l'existence de ces flux restera hypothétique, mais les déterminations resteront entachées de la possibilité d'erreurs non contrôlables et inappréciables.

Le dessèchement en fin de saison sèche est aussi rapide que l'humectation. Il se fait de façon à peu près uniforme, sur toute la couche humidifiée. Au début du mois de novembre, le profil sec est pratiquement atteint.

### 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol

Le sol est très hétérogène quant à sa teneur en eau et les profils secs ou humides sont très différents d'un site à l'autre. Cette hétérogénéité se traduit par :

- un extremum d'humidité plus ou moins marqué en profondeur,
- d'importantes fluctuations spatiales dans l'humectation superficielle (site 0 par rapport à sites 1 et 4, cf. figures 16B, 16C et 16F).

### 4°) La réserve hydrique du sol

Les liaisons entre les fluctuations de la réserve hydrique et les précipitations sont plus lâches qu'en milieu sableux.

Certaines pluies parmi les plus abondantes ont relativement peu d'effet sur la réserve hydrique, à cause de l'importance des pertes en eau par ruissellement. Les niveaux les plus élevés de la réserve sont surtout le fait de périodes humides à pluies rapprochées. Le dessèchement, qui semble relativement moins intense, permet une recharge continue du réservoir, malgré le ruissellement.

Autrement dit, dans ce glaciis où la couverture végétale est médiocre, l'évapotranspiration est réduite.

## 1 B - Comportement de l'eau dans le glaciis de Kolel

### 1°) Généralités

Les phénomènes liés à l'eau se passent dans le glaciis de Kolel comme dans le glaciis de Kouni-Kouni.

Tous les faits sus-mentionnés s'y vérifient au détail près, dans les graphiques des figures :

- 17A à 17F, pour les profils hydriques,
- 24, pour l'évolution de l'humidité dans certains horizons,
- et 30, pour les fluctuations de la réserve hydrique.

On ne s'intéressera qu'aux faits provoqués par la situation d'impluvium de cette station, à la suite du piémont de Kolel.

### 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol

De l'ensemble de relevés similaires à ceux de Kouni-Kouni, se détache nettement le profil du 30/08. Semblable aux autres par son allure, il s'en distingue par :

- des comptages neutroniques beaucoup plus importants (425-490 i/s à 15 cm eu lieu de 325 i/s),
- la descente du front d'humectation de 45 cm à 60-75cm.

Ce profil dénote l'effet d'un important afflux d'eau en surface comme en profondeur : 60-75 cm.

La figure 24 met en évidence des amplitudes de fluctuation des comptages, particulièrement élevées en surface.

Contrairement à la situation dans le glacis de Kouni-Kouni, où l'on enregistre même une chute du comptage à partir du 26/08, l'augmentation du comptage se poursuit durant tout le mois d'août dans le glacis de Kolel.

### 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol

Les fluctuations latérales sont beaucoup plus prononcées qu'à Kouni-Kouni. Cela se remarque à partir de :

- l'allure et les valeurs des comptages des profils secs,
- l'intensité des effets des phases d'humectation.

Les effets superficiels de l'afflux d'eau des profils du 30/08 sont comparables dans les divers sites, mais la descente du front d'humectation est variable : 45-75 cm.

### 4°) La réserve hydrique du sol

Au paragraphe précédent, on a pu noter des comptages élevés, suite à l'intensité de l'humectation du profil. Il n'y a pas, cependant, une recharge continue du profil, comme à Kouni-Kouni.

De même qu'en milieu sableux, aux phases de recharge succèdent des phases de décharge entraînant des oscillations de la réserve autour du niveau initial du 30/04.

C'est l'effet d'une couverture végétale, qui, plus importante et plus vigoureuse qu'à Kouni-Kouni, contribue, comme en milieu sableux, à épuiser la réserve hydrique du sol au fur et à mesure de sa recharge.

Ainsi qu'en milieu sableux, on observe aussi dans l'inter-saison, précédant l'installation effective de l'hivernage, une chute de la réserve hydrique assez importante pour avoir pu intéresser la réserve du sol et non seulement le restant de l'eau apportée lors du forage des logements pour les tubes de sondage.

### C) Comportement de l'eau dans le bas-fond Winde-Tiuluki

#### 1°) Généralités

Les profils hydriques du bas-fond Winde-Tiuluki sont présentés aux graphiques 18A à 18F, l'évolution de la teneur hydrique de quelques horizons au graphique 25 et les fluctuations de la réserve hydrique au graphique 31.

L'allure générale des courbes, en la rapprochant des deux sites précédents, permet de le classer dans le type général des milieux à texture limono-argileuse.

#### 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol

Le bas-fond se distingue cependant des deux glacis par des comptages plus élevés qui indiquent à la fois :

- une texture plus argileuse,
- et des teneurs hydriques plus élevées.

Les comptages du profil sec, par exemple, varient de 200 à plus de 350 i/s dans le **bas-fond**.

Le phénomène de "surhumectation" observé dans le site précédent, avec les profils du 30/08, se produit ici dès le 15/06.

A cette date, les comptages passent brusquement de 200 à 500 i/s à 15 cm et de 300 à 365 i/s à 30 cm de profondeur. Le front d'humectation se fixe à 60 cm.



Par la suite, le comptage, donc l'humidité, évolue en augmentant relativement plus entre 15-30 cm de profondeur qu'en surface : accroissement de + 50 i/s à partir de 500 i/s, dans 0-15 cm et d'environ + 100 i/s à partir de 350 i/s, dans 15-30 cm.

On observe en outre ces petites fluctuations de comptage déjà notées à Kouni-Kouni.

Le dessèchement est aussi brutal que l'humectation. Il s'accompagne de fissuration dont les effets seront étudiés dans le paragraphe qui suit.

### 2°) Variabilité latérale de l'humidité du sol

Les profils secs sont assez semblables jusqu'à 45-60 cm de profondeur.

Au delà de cette profondeur, les comptages :

- croissent avec la profondeur pour les profils du tube 2,
- diminuent pour les profils du tube 3,
- restent à peu près constants pour les autres tubes.

Autrement dit, l'humidité du sol de bas-fond est hétérogène surtout dans la zone non concernée par les cycles d'humectation et de dessèchement.

Cette hétérogénéité serait occasionnée par l'organisation ou plutôt le désordre du profil pédologique.

A la date du 11/77, se remarquent nettement les effets de la fissuration (comptages constants de 300 i/s, autour du tube 0). La distribution des fissures est source de disparités nouvelles. Sur les cinq tubes de la parcelle, l'effet de la fissuration ne se note que sur le profil du tube 0.

### 3°) La réserve hydrique du sol

La configuration de la courbe des fluctuations de la réserve hydrique du sol est une combinaison des courbes relatives aux deux stations précédentes.

On distingue une baisse du niveau initial du 27/04, suivie d'une élévation brutale de celle-ci, à partir de la seconde décade de juin. Le profil se recharge, différenciant un palier avec de courts épisodes de chute ou de ralentissement de l'élévation du niveau de la réserve.

Au mois de novembre, le dessèchement n'avait pas ramené le profil au niveau initial.

### 344 - Comportement de l'eau à Gountouré, milieu de pédiment à texture grossière

#### 1°) Généralités

Le comportement hydrique des pédiments est très différent de ceux des milieux sableux ou des glacis et bas-fonds.

Les graphiques 19A à 19B, 26 et 32 illustrent respectivement les profils de teneurs hydriques, l'évolution de l'humidité dans quelques horizons de ces profils et les fluctuations de la réserve.

#### 2°) Variabilité verticale de l'humidité du sol

Les comptages s'étendent de 50 à 450-500 i/s. Le profil sec est à peu près celui du 7/06. On peut noter que c'est l'un des plus irréguliers examinés jusqu'à présent. Les comptages sont faibles en surface, à cause de la texture sableuse : ensablement superficiel.

La croissance des comptages en profondeur se fait avec des ruptures de la pente du gradient à 45 cm, 90 cm, 120 cm (croissance en escalier). L'humectation ne devient appréciable que vers le 7/07. A partir de cette date, le profil semble se déplacer parallèlement à lui-même, délimitant toutefois deux zones à forte humectation : l'une superficielle de 0 à 45 cm, l'autre profonde à partir de 90 cm. Il n'y a pas de front d'humectation.

L'eau s'accumule entre 90-120 cm, comme sous l'effet de la rencontre de deux flux : l'un venant de la surface correspondant au flux d'infiltration superficiel, l'autre issu de la profondeur correspondrait à des remontées capillaires.

Les fluctuations des comptages restent très importantes à la base du profil. Vers 90-105 cm, leurs amplitudes sont en plein hivernage, supérieures à celles des fluctuations des horizons avoisinants.

A la suite de ces observations, la question se pose de savoir :

- s'il y a réellement deux zones d'humectation localement indépendantes (infiltration et écoulement hypodermique, avec remontées capillaires),
- ou seulement des modalités particulières d'infiltration et de stockage, conditionnées par les propriétés hydrodynamiques locales du profil.

Les deux hypothèses sont analysées ci-dessous.

#### 3°) Variabilité latérale de l'humidité du sol

Que ce soit pour les profils secs ou les profils humides, les comptages sont à l'origine d'une étonnante variété de courbes très différentes les unes des autres.

Tantôt, avec des valeurs assez faibles, les horizons s'assimilent au milieu sableux (ensablement superficiel), tantôt avec des valeurs élevées, on doit se référer au contraire au milieu argileux. La description du pédologue (cf. fiche de terrain en annexe) et la composition texturale permettaient de prévoir une certaine hétérogénéité, mais l'ampleur de celle-ci ne laisse pas de surprendre. Cette hétérogénéité est mise à contribution pour l'interprétation du comportement local de l'eau et un essai de démontage des mécanismes mis en jeu.

Les figures 19E et 19D montrent l'humectation progressive du profil sous l'unique influence de l'infiltration de l'eau des précipitations. Dans le graphique 19F l'amplitude de variation de l'humidité est faible. On différencie cependant nettement deux compartiments dans le sol.

Le compartiment supérieur s'humidifie progressivement mais peu. Le front d'humectation descend à 45 cm.

Dans le compartiment inférieur, l'accumulation de l'eau se fait surtout entre 75-120 cm, zone dont l'humidité est restée constante jusqu'au 6/08.

Les relevés effectués durant l'hivernage n'ont pas mis en évidence de liaison entre ces deux compartiments.

Par contre, le dessèchement semble remonter l'eau de la profondeur vers la surface (cf. profil du 3/11).

Les profils du 15/05 au 27/07 se détachent en surface du profil sec. Il ne se passe rien en profondeur. Inversement, les pluies décadaires du mois d'août n'ont aucune incidence sur l'humidité en surface alors que celle-ci atteint son maximum en profondeur.

Pour les tubes 0 et 1 (figures 19B et 19C), si double compartiments indépendants il y a, ils sont en liaison dès le 17/07.

Si l'on adopte l'hypothèse d'un flux d'infiltration unique, il faudrait admettre que l'eau traverse la zone intermédiaire entre les compartiments supérieur et inférieur sans changement pour l'humidité du sol. Autrement dit, le transfert d'eau se ferait sous régime permanent. C'est possible mais assez invraisemblable compte tenu de l'augmentation considérable de la teneur hydrique en bas de profil en certains sites.

Il faudrait dans ce cas vérifier cette hypothèse par la mesure du flux hydrique en cette zone. La seconde hypothèse, existence temporaire d'un ruissellement hypodermique, entraînant des remontées d'eau par capillarité, est plus vraisemblable.

De plus, elle a été étayée par l'ouverture d'une fosse pédologique au fond de laquelle a pu s'observer un flux d'eau libre.

Jusqu'à présent, l'accent a été mis sur l'hétérogénéité des phénomènes de drainage (infiltration, remontées capillaires). L'hétérogénéité de la fourniture d'eau en surface est tout aussi importante et doit être notée : voir à ce propos pour comparaison les degrés dans l'alimentation hydrique, minimale autour du tube 4 et maximale autour des tubes 0 et 2. On doit aussi mentionner que les augmentations de l'humidité (comptage) en bas de profil semblent, dans bien des cas, supérieures aux augmentations correspondantes dans les horizons de surface (cf. figures 1 et 4).

#### 4°) La réserve hydrique du sol

La réserve hydrique du sol dans la parcelle de Gountouré apparaît complètement indépendante de la distribution ou des apports de la pluie. Exception faite pour une épisode de baisse en début d'hivernage, le niveau de la réserve croît intensément jusqu'à mi-août. Cette croissance, on le répète, est sans rapport avec l'occurrence des pluies et surtout sans commune mesure avec les augmentations induites dans cette station où la pluviométrie est la plus faible et l'augmentation de la réserve hydrique la plus élevée.

L'interruption des mesures, à partir de la seconde décade du mois d'août, n'a pas permis d'enregistrer tout le cycle évolutif annuel de cette réserve hydrique.

Il est cependant probable que la décharge amorcée à la seconde décade d'août soit tout aussi rapide et tout aussi sans rapport avec les pluies que la recharge.

### 35 - Conclusion

A l'hétérogénéité constitutionnelle du bassin se superpose une hétérogénéité de propriétés hydrodynamiques qui individualisent des milieux à comportements hydriques variés. Le dispositif expérimental, de par son échantillonnage, a permis de saisir trois types de milieux à comportements hydriques fondamentaux avec des variations mineures. Il s'agit :

- du milieu sableux très perméable, caractérisé par des drainages profonds (infiltration, drainage),
- du milieu limono-argileux des glacis, peu perméable, à ruissellement et engorgement superficiels,

- et du milieu à texture grossière des pédiments..., où le profil très hétérogène paraît être alimenté en eau, à la fois par la surface et la profondeur.

Plus qu'en les deux autres stations, les faits d'observations très variables à Gountouré sont d'interprétation délicate et poseront des problèmes, quant à l'établissement du bilan hydrique.

## IV - DISCUSSION

### 41 - La pluviométrie

#### 411 - Généralités

Les données pluviométriques recueillies en 1977 ne peuvent être interprétées exhaustivement que dans le contexte d'une série chronologique décrivant la distribution temporelle des précipitations, à différentes échelles.

Cette chronique n'existe pas pour le bassin de la Mare d'Oursi, mais on la trouve étendue sur une vingtaine d'années, pour Gorom-Gorom et Markoye, localités déjà situées par rapport au bassin en 1976 (Sicot 1976).

Ces deux chroniques seront analysées à l'échelle décadaire afin de situer et d'étayer la comparaison des données recueillies au cours de la campagne.

Auparavant, sera expliquée l'origine du biais existant entre la pluviométrie au sol et à 1 m.

#### 412 - Origine du biais existant entre la pluviométrie au sol et à 1 m du sol

Le biais entre la pluviométrie au sol et à 1 m du sol trouve son origine dans les propriétés spécifiques de la circulation de l'air par rapport aux caractéristiques du pluviomètre utilisé pour les relevés.

L'air circule sous régime d'écoulement laminaire. Ses différentes couches peuvent glisser les unes par rapport aux autres, sans échange de particules, mais avec plus ou moins de frottements.

Cette propriété se traduit par les faits suivants :

- au contact avec un solide, les molécules adhèrent au substrat, différenciant une couche limite, où les particules sont immobiles,
- les déplacements et, corrélativement, les résistances aux déplacements se transmettent d'une couche à l'autre, mais avec amortissement.

Si l'on considère un tel fluide, animé d'une vitesse  $V_1$  à une certaine altitude (fig. 33 A) de la couche limite du sol, à un certain niveau où l'incidence de la résistance opposée par le contact sol-air ne se fait plus sentir, se développe un gradient de vitesse de 0 à  $V_1$ .

Si, par ailleurs, ce fluide traverse une zone pluvieuse où les gouttes d'eau sont animées d'une vitesse initiale verticale  $V_2$ , celles-ci subissent un déplacement dirigé par le vecteur  $V$ , somme de  $V_1$  et  $V_2$  faisant un angle  $\theta$  avec la verticale :

$$V = V_1 + V_2$$

Fig. 33B

Dans la zone de gradient de vitesse, la **déviati**on occasionnée par  $V$  augmente avec l'altitude de 0, au contact du sol, à  $V_1$ .

A l'exemple d'une surface élémentaire  $ds$  interceptant un flux d'énergie lumineuse, le pluviomètre dont la surface  $S$  est fixe n'offre à l'interception de la pluie qu'une aire  $S'$  équivalent à :

$$S' = S \cos \theta$$

$S'$  est la projection de  $S$  sur la perpendiculaire à  $V$ .

Si  $P$  est le vecteur pluie initial,  $P_s$  et  $P_a$ , les vecteurs pluies au sol et à une certaine altitude, on a, en module :

$$P_s = P$$

$$P_a = P \cos \theta$$

Aux limites, on a :

- lorsque  $\theta = 0$ , soit  $\cos \theta = 1$ , c'est à dire dans la couche limite :

$$P_a = P_s = P$$

d'où il résulte qu'il n'y a pas de biais entre la pluviométrie réelle et la pluviométrie mesurée au sol (en absence d'effet splash),

- lorsque  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,  $\cos \theta = 0$ , cas qui s'observe sous averse violente avec des pluviomètres haut perchés (en l'absence de tourbillons) :  $P_a = 0$ ,

l'interception de la pluie par le pluviomètre est nulle.

Dans le cas général où  $\theta$  est quelconque,  $P_s = P/\cos \theta$  et  $1/\cos \theta$  mesure le biais de la hauteur pluviométrique effective au sol par rapport à la mesure faite à une certaine altitude (1 m).

La régression entre les valeurs mesurées de la pluie au sol  $P(\text{sol})$  et à 1 m  $P(1 \text{ m})$  s'exprime par :

$$P(\text{sol}) = 0,22 + 1,21 P(1 \text{ m})$$

0,22 est proche de 0 et négligeable compte tenu de l'erreur commise sur les paramètres de la régression et 1,21 représente  $1/\cos \theta$ , c'est à dire que l'angle de déviation de la pluie est d'environ  $34^\circ 26'$  en moyenne.

Cet état de fait semble avoir été assez stable pendant tout l'hivernage, car la liaison est quasi rigide ( $r^2 = 0,97^{++}$ ) et l'ajustement très précis.

Reste à s'assurer, sur les relevés des campagnes à venir, que cette régression entre pluie au sol et à 1 m n'est pas entachée de fluctuations inter-annuelles trop importantes pour permettre la transformation des données de pluviométrie à 1 m des chroniques existantes en données de pluviométrie au sol.

#### 413 - Analyse des chroniques pluviométriques de Markoye et de Gorom-Gorom

Les pluviométries annuelles et journalières à Dori, Gorom-Gorom et à Markoye ont été analysées par le Service d'Hydrologie de l'ORSTOM (Saadoun, 1978).

La loi normale permet de décrire les échantillons de hauteurs pluviométriques annuelles.

L'ajustement, pour lequel moyenne et médiane peuvent être confondues : 538 et 534 à Dori et 458,4 et 459 à Gorom-Gorom, est bon pour ces deux localités. Il est moins bon à Markoye : 401,4 et 380.

La médiocrité de l'ajustement est attribuée à la qualité des observations. La distribution des pluviométries journalières de Gorom-Gorom est décrite par une loi lognormale tronquée au seuil de 0.1 (cf. Saadoun 1978).

Pour les besoins futurs du modèle, on a procédé à l'analyse fréquentielle de la pluviométrie décadaire de différentes stations sahéliennes. Seuls les résultats relatifs à Gorom-Gorom et Markoye seront examinés ci-après.

La description de la distribution de chaque décade se réfère à une loi gamma tronquée, dont les paramètres sont groupés au tableau 6. L'ajustement est généralement bon, mais des sondages aléatoires montrent qu'il peut y avoir des distorsions entre les points expérimentaux et la loi théorique : fig. 35A, 35B, 35C.

Les deux séries de distributions décrites par des courbes d'isoprobabilité ont même allure et présentent des valeurs médianes assez proches (cf, aux figures 36A et 36B, la comparaison des hauteurs pluviométriques à 50 % à Gorom-Gorom et Markoye).

Mais elles diffèrent pour les pluviométries aux probabilités élevées : figures 36A et 36B et tableau 9.

Il n'y a rien d'étonnant à cela, étant donné ce que l'on sait de la distribution spatiale de la pluie à l'intérieur même du bassin.

Ces distributions ont en commun les caractères suivants :

- elles s'étendent de mai à octobre et sont centrées sur le mois d'août,
- les précipitations, qui croissent de mai à début d'août, sont faibles au commencement de la saison des pluies et très irrégulièrement distribuées jusqu'à la seconde décade de juillet,
- la fin de l'hivernage se déroule sur un laps de temps relativement plus court que l'installation des pluies et la décroissance des précipitations est plus régulière.



Cette configuration de la distribution de la pluie rend aléatoire la longueur de la période végétative, laquelle nécessite une certaine continuité des précipitations pour éviter les accidents physiologiques.

Au vu des hauteurs pluviométriques équiprobables, on ne peut raisonnablement tabler que sur environ 60 jours de période végétative sans risque important d'accidents.

A l'échelle décadaire, l'analyse considère chaque donnée comme étant indépendante l'une par rapport aux autres. L'hivernage est en effet découpé en séquences pluvieuses et séquences sèches qui se suivent de façon aléatoire. Aucune relation n'a pu être mise en évidence à ce jour, quant à la longueur des différentes séquences et à la hauteur pluviométrique correspondante. Autrement dit, à un instant donné de la saison des pluies, il est impossible de savoir avec précision :

- la quantité d'eau totale déjà tombée,
- la hauteur pluviométrique de la décade précédente (en restant à l'échelle décadaire),
- la quantité totale à venir,
- la pluviométrie de la décade suivante.

En outre, en l'absence de relation déterministe, la connaissance du passé pluviométrique ne renseigne pas sur les pluies futures.

Les solutions actuellement proposées à ces problèmes sont du domaine des probabilités, d'où la description des deux chroniques à l'aide des hauteurs pluviométriques maximales équiprobables.

Le problème spécifique de la quantité d'eau à venir sur une certaine période, compte tenu de ce qui est déjà tombé et corrélativement du nombre de jours sans pluie, problème primordial au niveau de la plante qui, à un stade de développement donné, doit impérativement couvrir certains besoins hydriques, est traité toujours sur le plan probabiliste en faisant glisser dans le temps fixé la durée de la période d'observation. A l'échelle de l'année, la combinaison fréquentielle des pluies décadaires est tout à fait aléatoire. Les figures 37 et 38 montrent que les pluviométries annuelles de Gorom-Gorom, Markoye et Dori se succèdent avec des fluctuations inter-annuelles irrégulières de grande amplitude. Celles-ci, masquant l'effet immédiat de la tendance générale des séries chronologiques, s'opposent à toute prévision, parfois au niveau même de la tendance générale.

Il est en effet impossible, en ce moment, de déterminer cette tendance sur la chronique combinée de Gorom-Gorom et Markoye.

On ne peut actuellement savoir si la période de sécheresse, rigoureuse entre 1970 - 1972, touche à sa fin. L'examen de la chronique de Dori n'apporte pas, elle non plus, de solution au problème. Elle laisse seulement à penser que l'on se trouve devant un phénomène périodique quant à la tendance générale et que le nombre de mesures est encore insuffisant pour pouvoir déterminer avec précision la période.

En résumé, dans les deux chroniques analysées, aucune liaison entre la pluviométrie et le temps ne peut être explicitée, quelle que soit l'échelle de temps considérée. L'amplitude des fluctuations des relevés dérive, d'une part d'une tendance générale que les graphiques 38 présentent comme variable, d'autre part de variations inter-annuelles qui masquent par leur amplitude cette tendance générale.

Dans cette zone, la connaissance de la pluviométrie et les possibilités d'action qui pourraient en découler sont du domaine des probabilités.

En particulier, un modèle de production primaire mettant en relation la production de biomasse végétale et la pluviométrie ne peut être prévisionnel au sens d'anticiper sur les événements qui seront effectivement réalisés.

Un tel instrument d'ordre fréquentiel ne pourra que fournir des hypothèses de travail, le sens des variations et les normes des variables aléatoires.

#### 414 - Comparaison de la pluviométrie à Djalafanka, Gorom-Gorom et Markoye

Pour n'importe lesquelles de ces trois localités, la pluviométrie en 1977 ne peut être considérée comme se rapprochant d'une pluviométrie médiane ou moyenne.

D'une façon générale, la distribution des pluies semble avoir été avancée entre 10 et 20 jours, de sorte que certaines décades habituellement pluvieuses sont devenues sèches et vice-versa. En outre, les fluctuations sont très accentuées. Les séquences pluvieuses ont été plus humides (les probabilités de non-dépassement des hauteurs pluviométriques relevées varient entre 75 et 90 %) et les séquences sèches plus arides (probabilités de 10 à 25 %).

Par contre l'arrêt brutal des pluies durant la troisième décade de septembre est normal. Les pluviométries de Djalafanka et Kolé sont plus régulièrement réparties. En particulier celle de la station de Kolé se rapproche de la médiane à partir de la troisième décade de juillet.

La comparaison des relevés pluviométriques de mai à octobre (tableau 9) suscite les commentaires suivants :

- les pluies à Gorom-Gorom et Markoye sont assez fortement liées :  
 $r = 0,73^{++}$
- de même que les pluies à Djalafanka et Markoye :  $r = 0,75^{++}$
- les pluies à Djalafanka et Gorom-Gorom sont pratiquement indépendantes :  
 $r = 0,49^{++}$ , ce que confirme la régression multiple entre les trois localités :  $R = 0,76^{++} \neq r = 0,75^{++}$

Ce premier résultat valable pour la campagne de 1977 ne permet pas d'affirmer définitivement l'indépendance des pluies du bassin de la Mare d'Oursi à l'égard de celles de Gorom-Gorom, à l'échelle décadaire. En tout état de cause, il devra être confirmé par les données qui seront recueillies au cours des prochaines campagnes.

Ce fait est cependant assez embarrassant car il peut conduire à préférer la chronique de Markoye à celle de Gorom-Gorom, dans la phase de simulation du modèle. Or, la qualité des observations à Markoye est mise en cause, après l'analyse des hydrologues : (hypothèse explicative de la non conformité à la loi normale).

Le problème du choix de la chronique pluviométrique de référence, pour la simulation du modèle, n'est donc pas résolu.

Pour le moment, on propose, outre l'attente des résultats des prochains relevés pluviométriques avant de conclure définitivement, le retour à l'analyse de la distribution des pluies à Markoye, afin de rechercher la possibilité de son ajustement à une autre loi théorique<sup>1</sup>.

#### 42 - Le ruissellement et l'infiltration

La mesure du ruissellement et, par voie de conséquence, le contrôle de l'infiltration à partir des mesures hydrologiques sont critiquables. Les jaugeages des hydrologues appréhendent le ruissellement et l'infiltration intégrés à l'échelle des sous-unités du bassin.

---

1 - Ce rapport achevé, il s'avère que les séries pluviométriques de Gorom-Gorom et Markoye s'ajustent parfaitement à une loi gamma tronquée (loi de Pearson III). Les calculs et remarques exposés ci-dessus sont donc confirmés. Mais surtout le choix de la chronique pluviométrique de référence pour la phase de simulation du modèle peut être circonscrit à celle de Markoye.

Les valeurs qui en découlent cadrent bien avec les phénomènes à l'échelle des unités de groupements végétaux tels qu'ils sont définis par Toutain et permettront l'établissement d'un bilan global pour l'ensemble du bassin.

Ce ne peut être le cas à l'échelle des parcelles d'étude, sans l'hypothèse de l'uniformité spatiale du ruissellement au niveau des sous-unités de bassins versants, hypothèse qui n'est sans doute pas vérifiée.

On rappelle que la mesure du ruissellement local par cette méthode n'est qu'un palliatif, motivé par l'insuffisance des moyens mis en oeuvre pour l'exécution du programme. On n'en tire que des normes pour la comparaison des différents flux hydriques. Elle sera remplacée en 1978 par l'estimation directe de l'infiltration locale. Celle-ci est basée sur le relevé du profil hydrique avant et après la pluie. Elle peut malheureusement être biaisée par l'incidence de flux profonds en régime permanent, dans l'éventualité où il en existerait.

En l'absence de moyens de contrôle du drainage dans la zone d'invariance de l'humidité du sol, on ne peut qu'espérer que les transferts d'eau correspondants soient négligeables dans le laps de temps (24 heures en général) entre les deux relevés.

Des mesures tensiométriques effectuées en parallèle seraient d'un grand intérêt pour le contrôle de la réserve hydrique, en milieu sableux surtout.

#### 43 - Le drainage

Il est manifeste que les transferts d'eau par drainage profond (infiltration, remontées capillaires) ne sont pas négligeables dans la station de Gountouré. L'hypothèse de la nullité des flux dans la zone d'invariance de l'humidité du sol est sérieusement mise en doute, dans le bas-fond Winde-Tiuluki. Par ailleurs, l'existence de flux latéraux est attestée par les faits, tant en milieu sableux (glissement, éboulement après pluie d'un sol travaillé, dans un champ d'essai implanté sur la dune par le CIDR, en 1976) que dans le glacis (flambage d'un tube de sondage après une année d'installation dans le parc météorologique.

Il en résulte que des investigations systématiques devront être entreprises pour la détection de l'évolution des flux hydriques latéraux et verticaux, flux dont l'incidence peut ne pas être négligeable sur le volume des transferts d'eau.

Actuellement, la seule méthode exigeant des moyens immédiatement accessibles est la détermination des gradients de potentiel tensiométrique à l'aide de tensiomètre à bougie poreuse (cf. Sicot 1978).

#### 44 - L'évaporation

Les mesures d'évaporation facilement rattachables à l'ETP n'appellent pas de commentaires. Mais on peut se demander si des mesures faites à la station météorologique dans un glacis dégradé, sur une éminence battue par les vents, restent valables pour les autres stations, le bas-fond Winde-Tiuluki, site boisé, relativement encaissé, en particulier. Des mesures complémentaires seront entreprises durant la prochaine campagne, pour clarifier la situation. Quoiqu'il en soit, pour autant que ces mesures puissent être utilisées, c'est la référence à l'évapotranspiration potentielle qui peut être sujet à controverse.

La discussion sera amorcée sur le plan théorique dans ce paragraphe. Elle se poursuivra ci-après au niveau des faits expérimentaux. L'ETP représente la quantité d'eau maximale que peut céder un couvert végétal uniforme en pleine croissance, dont l'alimentation n'est pas limitée par régulation stomatique.

Ainsi définie, l'ETP ne dépend que du bilan radiatif (rayonnement solaire, terrestre). C'est une notion théorique difficilement applicable aux milieux naturels.

- Au niveau du sol, elle implique la possibilité pour la réserve hydrique de satisfaire à la demande correspondant au bilan énergétique. Si tel n'est pas le cas, le régime local est en évapotranspiration réelle, ETR, et le déficit hydrique est à l'origine du phénomène d'advection. La quantité d'énergie non utilisée en un point est transférée en un autre point où elle s'ajoute au bilan énergétique normal.

C'est ainsi que, localement, il peut y avoir une demande énergétique supérieure à celle découlant du bilan radiatif.

Par suite, cette notion d'indépendance de l'ETP, au niveau du sol, ne peut se concevoir qu'à une échelle telle que les fluctuations locales se compensent et s'annulent, à l'échelle régionale par exemple.

Dans la zone sahélienne, déficitaire sur le plan hydrique pendant tout l'hivernage et presque partout, la demande climatique est continuellement supérieure au bilan énergétique normal.

- Au niveau de la plante, la régulation stomatique intervient pour adapter la consommation à la fourniture hydrique, lorsque celle-ci est insuffisante. Le système fonctionne alors sous le régime de l'ETR. Toujours au niveau de la plante, l'état physiologique peut conditionner des niveaux de consommation hydrique inférieurs à la demande énergétique, en dehors de toute régulation stomatique et en présence d'une fourniture hydrique non restrictive.

Le régime est celui de l'évapotranspiration réelle maximale, ETRM ou ETM inférieure à ETP qui en est la limite supérieure. C'est le cas, notamment, des cultures bien irriguées pour les premières phases phénologiques, des végétations naturelles de plantes annuelles en période humide.

Il résulte de ces considérations que, dans le bassin de la Mare d'Oursi, le continuum sol- plante-atmosphère fonctionne sous régime d'ETR ou d'ETM, conditionné par un pouvoir évaporant de l'air augmenté des apports d'énergie advective.

Par suite, le concept d'ETP et les données qui en découlent ne seront utilisés que dans l'optique de décrire et de préciser le régime hydrique des différents milieux et comme termes de référence pour les comparaisons.

#### 45 - L'eau du sol

##### 451 - L'humidité du sol

Les profils hydriques ayant fait l'objet d'interprétations détaillées, la discussion sera circonscrite aux points importants communs ou spécifiques aux différentes stations.

Elle se rapportera surtout aux problèmes liés à l'hétérogénéité hydrique du sol, hétérogénéité que l'on classera en hétérogénéité intra et inter-parcellaire. On s'attachera à expliquer leurs causes. Leurs effets, détectables surtout sur la couverture végétale seront étudiés ultérieurement dans un rapport commun aux deux programmes.

#### A - Hétérogénéité hydrique inter-parcellaire, variabilité des profils neutroniques entre les différents sites parcellaires

Un des premiers points à prendre en considération est la variabilité des valeurs des comptages neutroniques et de leur amplitude de variation d'un site à l'autre. Compte tenu des variations dues à la pluviosité déjà analysées et à la redistribution des eaux examinée ci-après, la composition texturale est à mettre en cause.

La détection neutronique s'applique à l'eau hygroscopique, partie intégrante du matériau, comme à l'eau suspendue. Les argiles, à l'opposé des sables, ont des teneurs en eau hygroscopique élevées. L'ordre de grandeur du comptage reflète donc, en premier lieu, la composition texturale du substrat et sa distribution dans le profil (cf. fig. 3A et 3B).

Sur la dune d'Oursi, la texture de sable presque pur sur l'ensemble du profil détermine des comptages faibles, sans gradient avec la profondeur.

Dans le piémont de Kolé, le sol sableux en surface s'enrichit en argile en profondeur. Les comptages initialement faibles en surface augmentent avec la profondeur.

Dans le glacis de Kolé ou le bas-fond Winde-Tiuluki, les comptages, généralement élevés à cause de la teneur en argile, chutent brutalement vers 120-125 cm avec la baisse de celle-ci.

Dans le glacis de Kouni-Kouni, où seuls les profils du tube 0 ont une courbure accentuée (cf. fig. 16B), les comptages neutroniques reflètent l'organisation texturale du profil, stable dans les fortes teneurs en argile.

Dans le pédiment de Gountouré, le fort gradient d'humidité qui s'observe dans les cinquantes premiers centimètres va de pair avec l'évolution rapide de la composition texturale qui, de sableuse, passe à argilo-sableuse.

L'observation visuelle palliant à l'absence d'analyse permet d'affirmer que l'augmentation de comptage entre 105-120 cm correspond à une augmentation du taux d'argile et que la baisse est due à la présence d'un sable détritique lessivé en éléments fins.

## B - Hétérogénéité intra-parcellaire

On discutera en détail les causes et effets de l'hétérogénéité intra-parcellaire parce que, par l'analyse de cette hétérogénéité, on doit pouvoir accéder aux mécanismes et au déterminisme de la dynamique de l'eau dans les écosystèmes sahéliens.

La variabilité intra-parcellaire de l'humidité du sol sera discutée en examinant séparément :

- les causes déterminant l'hétérogénéité dans l'état de sécheresse,
- les causes déterminant l'hétérogénéité dans l'état d'humidité,
- et les causes entravant l'homogénéisation de l'humidité du sol.

### 1) Facteurs déterminant l'hétérogénéité du profil en période sèche

#### a) L'homogénéité du profil

Le premier facteur responsable de l'hétérogénéité du sol à l'état sec est le degré d'homogénéité du profil.

Lorsque le profil granulométrique est homogène, comme dans la dune et dans une moindre mesure dans le piémont, les profils neutroniques sont homogènes, les gradients de comptage faibles et les fluctuations latérales négligeables.

A l'inverse, quand le profil granulométrique est hétérogène, comme dans le glacis, pédiments et pédiplaines, l'hétérogénéité des profils neutroniques reflète l'hétérogénéité génésique.

#### b) La morphogénèse

Le second facteur est constitué par les effets des processus morphogénétiques. L'érosion en nappe a présidé à la formation des glacis, pédiments...; et contribuent actuellement à leur évolution. Les phénomènes tourbillonnaires qui y sont liés (Tricart et Cailleux, 1969) déterminent et entretiennent un anisotropie de la surface du sol qui se prolonge en profondeur, différenciant des unités variées de micro-relief (cf. ci-après).

Ces faits prennent une extension considérable dans le pédiment de Gountouré et contribuent largement à en faire un des milieux les plus hétérogènes du bassin.

#### c) La pédogénèse

Le troisième facteur reconnu réside dans les forces pédogénétiques, dans leurs actions mécaniques sur le profil.

Les remaniements au sein du sol brun vertique du bas-fond Winde-Tiuluki font que des alluvions d'éléments fins sont grossièrement mélangées à la masse des altérites migmatiques constituant la roche-mère (Leprun 1977a). On y trouve couramment des poches de sables grossiers enrobées dans les alluvions argileuses. Ces faits joints à la fissuration expliquent sur le plan pédogénétique la disparité des profils secs dans le bas-fond.

Moins spectaculaires, moins directement visibles, mais tout aussi efficaces, les fluctuations spatiales dans le lessivage des éléments texturaux peuvent aussi être responsables de l'hétérogénéité du sol à l'état sec.

### 2) Facteurs déterminant l'hétérogénéité du profil en période humide

#### a) L'hétérogénéité du sol

Tout d'abord, il y a lieu de considérer que l'hétérogénéité du sol à l'état humide dérive de son hétérogénéité à l'état sec.



Toutes les particularités conditionnant l'hétérogénéité à l'état sec contribuent en effet à perturber les mouvements de l'eau et à faire évoluer le sol vers des états hydriques disparates.

Dans cette optique, les fluctuations hydrodynamiques du sol telles que la densité, la porosité, la texture, la structure, la fissuration, la capacité au champ, l'état hydrique initial..., sont les premières causes de l'hétérogénéité des profils humides. Mais ces variations sont de faibles amplitudes, comparées à celles des profils hydriques. La précision couramment obtenue sur la valeur de la densité est d'environ 5 % (résultats de mesures effectuées dans le bassin, non encore publiées). A moins de se fonder sur l'amplification des effets propres de ces variations (isolées ou combinées) au niveau de la dynamique de l'eau, on ne peut leur imputer qu'une faible part de l'hétérogénéité hydrique du sol.

En tout état de cause, il est certainement plus rationnel de supposer qu'elles servent de support à l'action différentielle d'autres facteurs.

#### b) La redistribution des précipitations

Parmi ces facteurs, la redistribution de l'eau des précipitations est à évoquer en premier lieu. Elle occasionne le transfert de quantités d'eau considérables d'un point à un autre. Une moyenne annuelle d'environ 40 % est transférée par ruissellement des glacis vers les bas-fonds. Pour certaines pluies, on peut dépasser 65 %.

A une échelle plus fine, l'eau est transférée des sites où, l'infiltration se faisant mal ou le transit rapide, elle se trouve "en excès", vers d'autres sites, où la perméabilité élevée ou la dénivellation créent un appel d'eau.

Etayant cette hypothèse explicative, il ressort de l'interprétation des profils neutroniques, qu'aux milieux les plus ruisselants correspondent les plus grandes hétérogénéités des profils hydriques.

Une démonstration directe de la redistribution locale de l'eau et de son incidence sur le profil hydrique est donnée par l'étude d'un cycle d'humectation et de dessèchement dans le piémont de Kotel.

Elle a nécessité des relevés surnuméraires entre deux séries de mesures décennales (figures 39A à 39F).

Dans cette station, où les fluctuations latérales du profil relevées à l'échelle décennale ont globalement pu être considérées comme faibles, on note d'un site à l'autre :

- que la remontée de la teneur hydrique représentée par le comptage neutronique est variable,
- qu'il en est de même pour la profondeur d'humectation,
- que ces deux faits conjugués entraînent des différences considérables quant aux quantités d'eau infiltrées dans le sol (cf. tubes 2 et 4),
- que les variations spatiales de la charge du profil induisent des variations spatiales de l'évapotranspiration, la chute du comptage neutronique à partir du 13/06 étant sans commune mesure entre le tube 2 et le tube 4.

Cette dernière remarque illustre bien le concept d'ETR locale, variable par rapport à l'ETP, laquelle tire son invariance de l'intégration des phénomènes sur de plus vastes étendues.

A cette occasion, il est aussi démontré que l'échelle des temps, fixée par les contraintes matérielles et techniques, est inadaptée à l'enregistrement des phénomènes dans toute leur amplitude. La combinaison de l'échelle fixe et d'échelles mobiles calées sur l'occurrence des pluies se révèle être une solution satisfaisante en cette circonstance. Elle permet, en particulier, de pallier aux erreurs systématiques par défaut, introduites dans l'enregistrement des fluctuations de la réserve hydrique du fait du ruissellement et des pluies intercalées entre deux relevés décennaires (cf. figure 40).

### c) La rugosité du substrat

Support de l'incidence de la redistribution locale de l'eau des précipitations, la rugosité du substrat, indifféremment désignée par les vocables de micro-relief, micro-topographie, micro-morphologie est à citer à la suite.

En modifiant différentiellement le temps de contact de l'eau avec le sol dans les divers "micro-sites", elle simule et modifie les variations spatiales de perméabilité sus-mentionnées.

A la figure 41, l'échelle dilatée des altitudes donne une illustration de la rugosité de la surface du sol en montrant comment à cette échelle, dans le piémont de Kolel, on retrouve les principales unités géomorphologiques : micro-buttes, micro-dépansions, replats, interfluves..., composant habituellement le paysage.

Le schéma de la figure 42 indique de façon explicite l'implication de ces unités dans les processus de redistribution de l'eau.

Considérées comme causes et effets de la redistribution hydrique, elles permettent d'élaborer, pour des échelles spatio-temporelles diverses, un modèle explicatif cohérent **pour** :

- les fluctuations de la réserve hydrique du sol,
- les fluctuations de l'évapotranspiration locale,
- l'évolution des propriétés de la surface et du profil pédologique, autrement dit, pour la dynamique pédologique actuelle.

d) Modèle déterministe sur les causes et effets potentiels du micro-relief du sol sur le bilan hydrique

Ce modèle est valable pour les différents milieux, seule l'importance de l'hétérogénéité du sol et des transformations permet de distinguer les stations et les milieux types.

Les facteurs de diversification sont les suivants :

- l'érosion hydrique, facteur actif principal,
- l'érosion éolienne, facteur actif,
- la rugosité du substrat, facteur actif,
- la végétation, facteur d'intégration des diverses inter-actions, autant actif que passif.

L'eau s'écoule suivant la pente vers les bas-fonds, le vent de sable souffle à la surface du sol en déclenchant les divers faits corrélés énumérés ci-dessous.

Des micro-buttes, micro-dépressions, zones intermédiaires, s'édifient ou se détruisent à partir de la rugosité préexistante de la surface du sol, des éléments de la couverture végétale et des débris et résidus de toutes sortes.

Le flux hydrique, lorsqu'il est de faible importance, se transforme en un réseau de filets d'eau anastomosés avec çà et là quelques grands axes collecteurs, le tout étant noyé sous une seule nappe d'eau tourbillonnaire dans le cas de grandes eaux.

Au niveau de la rugosité du sol ; le flux d'eau est perturbé : tourbillons au-dessus des micro-buttes et des micro-dépressions, flux laminaire dans les zones intermédiaires. Des phénomènes d'accumulation différentielle éolienne ou hydrique, de déflation ou d'ablation, se produisent aux dépens des particules transportées.

Les conséquences sont les suivantes :

- modification du micro-relief initial,
- modification à la longue du régime initial de ruissellement,
- redistribution hydrique se traduisant schématiquement par un surplus d'eau dans les micro-dépressions au détriment des autres formes du micro-relief,
- modification des phénomènes annexes à l'infiltration : lessivage des éléments fins, lixiviation des éléments minéraux...,
- redistribution des diaspores : blocage sur les micro-buttes et les aspérités, entassement dans les dépressions...,
- orientation de la composition floristique<sup>1</sup> : affluence de toutes sortes de graines dans les micro-dépressions, mais peuplements spécialisés en ces sites, caractérisés par la présence de plantes hydrophiles de sols lourds (*Panicum laetum*... en glaucis limono-argileuse, *Zornia glochidiata*..., *Alysicarpus ovalifolium*... en milieu sableux, implantation progressive d'algues bleues, lesquelles à court terme élaborent une pellicule hydrophobe qui diminue la perméabilité).

Avant de passer aux implications et conséquences agro-pédologiques de ce modèle, il importe de s'arrêter au rôle particulier joué par la végétation. Les incidences sur la dynamique de l'eau dans le sol se répercutent en effet, directement sur le bilan hydrique.

Il a été vu, dans le contexte du modèle, comment elle prend une part active dans la fixation d'une partie de la charge de transit de l'eau ou du vent, contribuant de ce fait à l'élaboration et à l'évolution du micro-relief. On peut y ajouter que c'est aussi un facteur actif de redistribution de l'eau. L'interception de la pluie, par la strate herbacée comme par la strate ligneuse, se traduit par la concentration de l'eau au niveau du collet de l'appareil végétatif.

Elle augmente les pertes hydriques du sol par le supplément d'eau exigé par la transpiration. Enfin se comportant comme une véritable mèche, la végétation facilite la sortie de l'eau en des circonstances où elle en serait empêchée par le phénomène d'encroûtement superficiel (self-mulching).

---

<sup>1</sup> Voir à ce propos, le rapport de campagne de M. Grouzis.

### e) Implications du modèle

A différents points de vue, on aboutit à la reproduction, à l'échelle réduite, des formes géomorphologiques du milieu : versants des micro-buttes, zones d'interfluves intermédiaires et micro-dépressions s'assimilent respectivement aux piémonts, glacis, pédiments et pédiplaines et aux bas-fonds. La figure 42 est en fait un modèle réduit de la toposéquence de la figure 2.

Les phénomènes sus-mentionnés démarrent de la surface du sol où s'observent les transformations d'amplitude maximale et se poursuivent jusqu'à la limite du front d'humectation.

A la mosaïque des écosystèmes superficiels correspond une autre mosaïque de "pédo-systèmes" différant par la texture et les propriétés hydro-dynamiques visibles à l'oeil nu après pluie : poches de sol lourd, profondes, très humides, s'opposant à des zones d'humidité plus réduite à texture grossière.

Vraisemblablement, le réseau superficiel évolue plus rapidement que le réseau souterrain, introduisant des décalages entre les autres systèmes. Cette remarque et la distribution des diaspores peuvent expliquer l'aspect florissant de la végétation en certains sites peu favorables sur le plan du micro-relief.

Néanmoins, la micro-morphologie a été systématiquement relevée dans les différentes parcelles, selon la technique explicitée au chapitre méthodologie. Cette opération a permis d'évaluer la surface occupée par les différentes formes du relief, un exposé synoptique des résultats est donné au tableau 10.

Ces données ne peuvent être comparées avec rigueur aux relevés de recouvrement végétal de M. Grouzis (voir rapport).

N'étant pas recueillies conjointement, elles ne s'adressent pas forcément aux mêmes sites d'observation et surtout reflètent principalement les objectifs particuliers à chaque programme.

En 1978, les opérations seront reprises simultanément à différentes échelles spatio-temporelles, dans le contexte de mesures routinières ou d'études complémentaires.

En ce qui concerne le programme relatif au bilan hydrique, il s'agira :

- d'approfondir les connaissances du cycle d'humectation et de dessèchement superficiels, en liaison avec l'installation de la couverture végétale.

- de contrôler la validité du modèle explicatif proposé, quant aux causes et effets du micro-relief sur le régime hydrique du sol.

On se propose notamment de mettre en place, en 1978, un essai ayant pour but de déterminer les relations de cause à effet entre diverses composantes de la couverture végétale : recouvrement, composition floristique, biomasse épigée, d'une part et les variations des propriétés hydrodynamiques et physico-chimiques du substrat d'autre part. Cet essai achoppe actuellement dans le domaine des propriétés physico-chimiques du sol, faute de pouvoir faire procéder aux analyses nécessaires.

Dans l'immédiat, l'hypothèse de la spécificité des propriétés hydro-dynamiques des sites du micro-relief permet d'accéder à des valeurs pondérées de diverses grandeurs : humidité, réserve hydrique, recouvrement, biomasse végétale... Ces moyennes, qui combinent les valeurs singulières relevées dans les diverses situations, sont a priori plus représentatives de la parcelle ou la station étudiée.

Le principe du calcul est le suivant, soit :

- $S_b, S_g, S_d$  : les surfaces occupées par les micro-buttes, micro-glacis et micro-dépressions,
- $G_1, G_2, G_3, G_m$  : les expressions d'une grandeur  $G$  dans les sites correspondants et pour l'ensemble de la station.

La plus simple expression de  $G_m$  par rapport à  $G_1, G_2, G_3$  est la combinaison linéaire soit :

$$G_m = (G_1 \cdot S_b + G_2 \cdot S_g + G_3 \cdot S_d) / (S_b + S_g + S_d)$$

En particulier, l'humidité moyenne peut s'exprimer par :

$$Hm = (H_1 S_b + H_2 S_g + H_3 S_d) / (S_b + S_g + S_d)$$

Les moyennes pondérées seront utilisées de concert avec les moyennes arithmétiques pour caractériser l'humidité et la réserve hydrique du sol.

Les écarts de résultats permettront de décider de l'opportunité de telles transformations.

### 3. - Facteurs entravant l'homogénéisation de l'humidité du sol

L'hétérogénéité hydrique étant circonscrite, on doit se demander pourquoi les mouvements de l'eau, tendant à annuler les gradients d'humidité, de telles disparités hydriques puissent être détectées, se maintenir, voire s'amplifier, dans ces sols.

Il existe, comme à l'accoutumé, tout un faisceau d'arguments explicatifs que l'on ne peut qu'énumérer à cette phase de l'étude.

#### a) La texture

Comme à l'ordinaire, l'argument de base est l'hétérogénéité texturale. Aux variations de la composition texturale correspondent des variations de tension de l'eau. Une fluctuation du comptage neutronique ou de la teneur hydrique d'un point à un autre peut, en fait, correspondre à un même état d'équilibre tensiométrique de l'eau dans le sol. Autrement dit, le sol étant hétérogène sur le plan textural, des potentiels matriciels différents peuvent coexister pour un même état d'équilibre tensiométrique. A ces potentiels différents correspondent, tout à fait normalement, des teneurs hydriques différentes mais en équilibre.

A ce propos, il paraît nécessaire d'étalonner l'humidimètre dans chaque site de mesure afin de mieux contrôler l'humidité en valeur absolue. Mais quelle que soit la technique utilisée, l'opération comporte une phase destructive, incompatible avec des mesures ultérieures. Cette étalonnage spécifique à chaque tube ne sera possible qu'en fin d'expérimentation, au démontage du dispositif expérimental.

Pour le moment, on doit se contenter d'un étalonnage global pour chaque parcelle ou station d'étude et verser au compte des erreurs inhérentes à la technique de mesure certaines fluctuations ayant l'unicité de l'étalonnage pour origine.

Le rôle de la texture ne se limite pas au domaine de la statique, l'incidence sur la dynamique de l'eau est tout aussi importante.

Le degré d'homogénéité de l'état hydrique du sol résulte de la vitesse de restauration des équilibres hydrostatiques face à l'occurrence et à l'intensité des faits de déséquilibre hydrique.

Or, la composition texturale conditionne la vitesse de déplacement de l'eau dans le sol. L'eau se déplace rapidement en milieu sableux, lentement et même très lentement en milieu argileux.

Il s'en suit que l'hétérogénéité est plus facilement et plus rapidement réductible et de ce fait, plus difficilement détectable en milieux sableux.

C'est le contraire en milieu argileux. Là, les mécanismes de restauration tendent indéfiniment à ramener le système vers un état d'équilibre constamment remis en question, pendant l'hivernage.

#### b) La structure

A chaque niveau structural correspond un réseau de conduits bien définis conditionnant la circulation de l'eau suivant certaines modalités. Les mouvements de l'eau sont facilités à l'intérieur de l'élément structural par la continuité des conduits quant à leurs caractéristiques, aux principes moteurs et aux modalités de la circulation.

Le passage et la circulation à l'extérieur de l'élément structural ou l'inverse sont gênés par des discontinuités de toutes sortes, l'intensité des déséquilibres et les mouvements internes du substrat (gonflement, retrait) qui peuvent rompre les liens capillaires.

#### c) Le drainage

Il peut exister dans le sol des déplacements, des transferts hydriques qui ont une origine externe, c'est à dire distante du point d'observation. De tels flux introduisent d'importantes disparités sous forme de discontinuités ou de gradients.

Les stations du glacis de Kolel et du pédiment de Gountouré sont transformées en impluvium respectivement par un flux de drainage oblique issu du piémont de Kolel et par un ruissellement hypodermique provoqué par le contact entre colluvions et affleurements granitiques. Les axes d'écoulements sont circonscrits dans l'espace. Les hétérogénéités qui en découlent se produisent et se résorbent avec un certain temps de latence nécessaire à la transmission de toute transformation affectant des flux hydriques dont les sources sont distantes des parcelles d'études. Il est évident qu'il n'y a aucune possibilité locale pour résorber de telles disparités hydriques qui ont été mises en évidence par les données recueillies pour chaque tube.

#### d) La discontinuité de la couverture végétale

En présence de végétation, l'évaporation est augmentée d'une quantité d'eau transpirée, d'autant plus élevée que la couverture végétale est plus dense.



La discontinuité de la couverture végétale à la fois cause et effet d'hétérogénéité hydrique accentue les déséquilibres.

C'est en plus irrégulier ce qui se passe pour les cultures annuelles ou pérennes présentant des écartements de l'ordre de 80 cm (Puech et al).

#### 452 - La réserve hydrique du sol

Toutes les remarques faites à propos de l'humidité sont aussi valables pour la réserve hydrique qui en dérive.

Par suite, on se bornera dans ce paragraphe à discuter de ce qui se rapporte plus particulièrement à la réserve hydrique à savoir :

- la spécificité parcellaire de la réserve, représentée par les comptages neutroniques,
- la spécificité de la dynamique de la réserve,
- l'utilisation de la réserve hydrique,

##### a) La spécificité parcellaire de la réserve hydrique du sol

La figure 43 est très démonstrative à cet égard. Les différences parcellaires se partagent en trois classes bien individualisées, la classe :

- des milieux sableux : dune d'Oursi et piémont de Kolel,
- des glacis et pédiments : glacis de Kouni-Kouni, de Kolel, pédiment de Gountouré,
- des bas-fonds : bas-fond Winde-Tiuluké.

Cette représentation de la réserve à partir des comptages neutroniques correspond à la quantité d'eau totale contenue dans le substrat : eau hygroscopique, liée, suspendue.

S'il avait fallu discriminer l'eau suspendue, la réserve utile, ... les calculs seraient arrêtés (en glacis), ou auraient été conduits (milieux sableux) jusqu'au front d'humectation.

Néanmoins, la référence à la profondeur de 150 cm permet déjà de se rendre compte d'un certain nombre de phénomènes propres aux différents milieux :

- milieux sableux : pertes par drainage profond dans la dune et pertes par ruissellement superficiel dans le piémont,
- milieux des glacis et pédiments : recharge exceptionnelle du réservoir sans rapport avec la pluviométrie à partir de juillet,
- milieux des bas-fonds : recharge exceptionnelle du réservoir, dès le mois de juin, se maintenant au-delà d'octobre.

b) La spécificité de la dynamique de la réserve hydrique du sol

L'organisation du profil des sols induit généralement une certaine homogénéité dans la configuration du réservoir que constitue le sol pour l'eau. Les mesures de capacité au champ en milieu sableux (Sicot 1978), les mesures non encore publiées, dans les autres milieux, l'attestent. A des détails infimes près, le sol peut être considéré comme homogène, quant à sa capacité de rétention in situ.

Par suite, on doit considérer comme étant un effet de la cinétique de l'eau dans le sol la configuration que prend la réserve à partir de l'infiltration de l'eau des précipitations.

Dans le sable, l'humectation homogène n'individualise, en général, qu'un seul compartiment.

En glais et bas-fond, on distingue au moins deux compartiments :

- un compartiment superficiel, caractérisé par l'engorgement en hivernage,
- un compartiment adjacent, s'humectant beaucoup plus faiblement avec un fort gradient d'humidité, du front d'humectation à la jonction avec le compartiment supérieur.

L'épaisseur de ces deux compartiments est variable et dépend de la présence ou de l'absence de phénomènes surnuméraires : inondation, flux de drainage oblique...

Un troisième compartiment profond, pour le moment hypothétique, est à envisager. Son existence est subordonnée à celle de flux profonds, en régime plus ou moins permanent.

Ce compartiment, tel qu'il se présente, est peu net en ses dimensions comme en ses manifestations, les transferts hydriques n'entraînant que des fluctuations de teneur hydrique négligeables ou nulles.

On doit noter que l'équipe ORSTOM-CEPE/CNRS travaillant dans le sud tunisien a adopté la même représentation schématique à trois compartiments de la réserve hydrique du sol. C'est cette configuration qui est utilisée dans son modèle de production primaire (Rambal et al).

On n'est pas informé sur les considérations qui ont conduit à cette représentation

Cette remarque vient renforcer le faisceau d'arguments exposés dans la note technique (Sicot 1978) sur la nécessité de compléter dans le programme les mesures de teneurs en eau des sols par des mesures de flux hydriques profonds.

La configuration de la réserve en milieu sableux peut se ramener à celle dégagée en milieu argileux. Le premier compartiment a sans doute un très grand développement en profondeur par rapport au second, mais le troisième (compartiment) serait moins hypothétique et dans certains sites enrichis en argile, la représentation est similaire.

Par contre, la configuration de la réserve hydrique à Gountouré est irréd-uctible à ce schéma. Dans le cas ordinaire à ce milieu, la réserve hydrique est caractérisée par la dualité de deux compartiments, l'un adossé à la surface du sol, l'autre sur le substrat imperméable en profondeur.

Ces deux compartiments se développent, avec l'approvisionnement hydrique, l'un vers le bas, l'autre vers le haut.

L'importance des flux d'alimentation conditionne et positionne leur jonction. L'organisation du profil est en remaniement sous l'influence de cette dynamique de l'eau.

On observe une accumulation d'eau à la confluence, accumulation certainement sous-tendue par un enrichissement en éléments fins.

Par rapport au réservoir superficiel, le réservoir profond a une importance qui peut varier de l'absence totale à une importance nettement supérieure,

Dans tous les cas, le réservoir superficiel a une configuration intermédiaire entre les représentations schématiques des milieux sableux et argileux. On ne note pas d'engorgement superficiel. La base du réservoir profond a généralement un plus grand développement que le reste du compartiment.

Il est impossible dans ces conditions d'établir un bilan hydrique à partir uniquement des relevés de teneur hydrique. Dans cette station, les flux hydriques latéraux et verticaux doivent être mesurés simultanément pour pouvoir contrôler les fluctuations de la réserve.

Ce contrôle apparaît difficile, d'autant plus difficile que l'on est, comme dans les glacis et bas-fonds, en milieu argileux et que les techniques de mesure de flux hydriques actuellement disponibles sont surtout adaptées aux milieux sableux.

### c) Constitution et utilisation de la réserve

En matière de constitution et d'utilisation de la réserve hydrique du sol, à partir des comptages neutroniques, l'analyse achoppe actuellement assez rapidement sur l'impossibilité de distinguer les différentes formes de l'eau dans le sol, soit de déterminer les quantités d'eau hygroscopique, inutilisable, utilisable, facilement utilisable par la plante.

Dans ce domaine, ce rapport constitue une véritable analyse préliminaire. On se bornera aux remarques les plus accessibles et aux caractères généraux de la consommation hydrique des plantes.

### 1) Constitution et utilisation de la réserve hydrique du sol en milieu sableux

Par rapport au piémont, la dune d'Oursi se caractérise par la constitution de la réserve sur une épaisseur de sol qui peut être considérable et échappe au contrôle neutronique. Les relevés doivent au moins atteindre le front d'humectation et descendre au-delà en cas d'existence de flux hydriques à régime permanent. L'eau est facilement disponible et utilisée pour l'évapotranspiration.

Certaines fluctuations dénotent la possibilité d'absorber des pluviométries élevées. Il y a une faible recharge du réservoir.

Dans le piémont de Kolel, la capacité de rétention est plus élevée (de même que la teneur en eau liée), mais les possibilités d'absorption des pluies sont réduites.

Les quantités d'eau retenues sont rapidement utilisées. Il n'y a pas de recharge appréciable du réservoir.

### 2) Constitution et utilisation de la réserve hydrique dans les glacis et pédiments

Dans le glacis de Kouni-Kouni, le ruissellement est important. Néanmoins, le réservoir se recharge à cause de la médiocrité de la couverture végétale.

Une parenthèse doit être ouverte, à ce propos, sur les facteurs limitants de la production végétale dans ce milieu.

L'eau est sans doute facteur limitant. Mais lorsque la réserve hydrique sera précisée sous la forme volumique, que la portion utile sera délimitée, on sera certainement amené à considérer les limites imposées par la couverture végétale elle-même. Pour le moment, au vu de l'évolution de la réserve sous forme de comptage neutronique, on signale qu'il se pourrait que l'état de la couverture végétale, découlant principalement de l'entraînement des diaspores vers les bas-fonds, soit aussi limitant que le facteur hydrique.

C'est le contraire dans le glacis de Kolel. Compte tenu du fait que ce milieu en situation d'impluvium reçoit plus d'eau et que cependant la recharge est plus discrète, le facteur eau doit jouer un rôle plus limitant à l'égard de la végétation plus abondante. Dans le pédiment de Gountouré, à partir de la seconde décade de juin, il n'y a aucun rapport entre la recharge du profil et la pluviométrie locale.

Le réservoir se remplit jusqu'à un maximum correspondant à l'arrêt du flux hypodermique. La vidange commence alors aussitôt. La consommation végétale passe inaperçue face à l'importance des phénomènes de recharge et de vidange du réservoir.

L'établissement d'un bilan hydrique est impossible dans ces conditions. La mise en évidence d'une relation causale entre le bilan hydrique et la couverture végétale l'est encore moins.

On doit noter, et cette remarque est confirmée par l'observation de la végétation, que ce milieu est favorable à la strate ligneuse qui est particulièrement dense et florissante au niveau de la parcelle.

### 3) Constitution et utilisation de la réserve hydrique au niveau du bas-fond

Le cycle hydrique dans le bas-fond rappelle celui de Gountouré. Mais l'évolution n'est pas aussi brutale. On observe un palier de comptage avec des fluctuations en rapport avec les séquences pluvieuses et sèches. Ce palier manifeste aussi le refus du milieu à l'infiltration, par engorgement superficiel.

On doit signaler pour terminer le problème posé par l'existence d'une strate ligneuse dense et florissante, dans ce milieu où apparemment le front d'humectation s'arrête à 60-75 cm.

L'hypothèse de l'arrêt du système racinaire des arbres, à ce niveau n'est guère plausible, compte tenu d'observations fortuites effectuées dans d'autres milieux.

On se rallierait plutôt à la remarque suivante : le dessèchement profond du profil par les racines des arbres n'est pas détecté parce qu'on a pris soin d'installer les tubes de sondage hors de la zone d'absorption des arbres.

Il faudrait donc installer au moins un tube dans le voisinage immédiat d'un arbre, malgré les difficultés que cela représente, pour essayer de cerner, ne serait-ce que sur un plan qualitatif, le dessèchement occasionné par la strate ligneuse.

Cette strate ligneuse en bas-fond, avec les caractéristiques de végétation propre au type biologique, milite en faveur de l'existence de flux hydriques profonds dans ce milieu.

#### 453 - Le bilan hydrique dans les différents milieux étudiés

Sous sa forme actuelle, la réserve hydrique du sol ne permet pas d'établir "le bilan hydrique réel" de l'écosystème.

Mais se trouvent réunis tous les éléments d'un bilan théorique ne tenant pas compte de l'incidence de la réserve hydrique du sol.

Ce bilan, élaboré à l'échelle décadaire pour les différentes stations (cf. tableaux 11A à 11F et figures 44 à 49), permet de tirer d'utiles renseignements quant au régime de l'évapotranspiration.

Pour chaque station, les chroniques s'étendent de la 13<sup>e</sup> à la 30<sup>e</sup> décade, encadrant la saison des pluies qui se déroule généralement de la 16/17<sup>e</sup> décade à la 26/27<sup>e</sup> décade, exception faite pour le piémont où l'on note une pluie de 4 mm durant la 29<sup>e</sup> décade.

Dans les tableaux 11A à 11F, on trouve :

- les coefficients de ruissellement décadaire (sauf pour la dune et le bas-fond),
- la pluviométrie à 1 m du sol,
- la pluviométrie au sol,
- la pluie infiltrée, à partir de la pluviométrie à 1 m,
- la pluie infiltrée, à partir de la pluviométrie au sol (pluie efficace),
- l'ETP selon Penman,
- les indices de saturation du pouvoir évaporant de l'air (indice de satisfaction de la demande évaporative), d'après les différentes estimations de la pluviométrie.

Quelle que soit la pluviométrie considérée, le bilan est globalement déficitaire. Le déficit total est fonction du ruissellement qui est un facteur de différenciation des différents milieux. Rares sont les décades durant lesquelles l'ETP est satisfaite. En principe, l'effet tampon de la réserve hydrique à l'égard de la pluie et de l'évapotranspiration doit jouer encore plus rarement (cf. le tableau 11A relatif à la dune à ce propos).

Pour les détails, se reporter aux tableaux et graphiques correspondants.

L'indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air pour l'année 1977 a varié de :

- 0,65 à 0,50, d'après la pluviométrie à 1 m (ruissellement non décompté),
- 0,77 à 0,55, d'après la pluviométrie au sol (ruissellement non décompté),
- 0,77 à 0,37, d'après la pluviométrie efficace.

A ce niveau, ces valeurs constituent des majorants de l'indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air, en raison non seulement des limitations imposées à l'évaporation par le sol et la végétation, mais aussi parce que l'ETP selon Penman doit être augmentée de l'énergie advective. Mais même selon ces normes minimales, l'ETP n'est pas assurée. Les différents écosystèmes fonctionnent donc selon des régimes hydriques basés sur l'ETR.

Le décomptage de l'hivernage en séquences pluvieuses et sèches peut à certains moments élever ces régimes au niveau de l'ETRM. Mais, on le répète, ces moments sont isolés et rares.

Sans régulation stomatique ou rétention édaphique, toute l'eau infiltrée devrait normalement s'évaporer.

Le constat de l'élévation de la réserve hydrique du sol dans la plupart des milieux, si infime soit elle, amène à admettre l'existence de telles régulations.

Elles sont basées sur :

- l'ouverture de la couverture végétale,
- la réduction de l'évapotranspiration et, par voie de conséquence, la modulation de la croissance végétale, au moyen de la régulation stomatique,

et s'applique au niveau :

- de la sélection des espèces (voir rapport M. Grouzis),
- de leur succession dans l'espace et dans le temps (Grouzis, idem),
- de la croissance et du développement du peuplement, où se notent des phénomènes de nanisme, de noténie... (cf. observations écophénologiques, Sicot 1976).

Ces considérations confirment que le découpage phéno-climatique de P. Franquin (Cocheme et Franquin) n'est pas valable dans le bassin de la Mare d'Oursi et sur un plan général dans la zone sahélienne, fait déjà signalé en 1976 (Sicot 1976). Selon ce modèle, il ne devrait y avoir pour le cycle végétatif que des amorces et des avortements par accident physiologique.

On constate bien des échecs répétés de toute une suite de germinations successives. Mais la végétation finit par s'installer et le cycle végétatif s'accomplit généralement jusqu'au bout, avant la fin de la saison des pluies, pour les espèces locales. Il y a donc une adaptation de la végétation naturelle aux conditions de la zone, adaptation qui implique l'utilisation du concept d'ETR, à la rigueur celui d'ETRM, dans la représentation schématique sus-mentionnée.

Dans le pédiment de Gountouré et le bas-fond Winde-Tiuluki, le déficit hydrique est réduit par les apports d'eau extérieurs : écoulement hypodermique, submersion... C'est seulement dans ces stations que l'on peut envisager d'utiliser les concepts d'ETRM et d'ETP sur de longues périodes.

#### 454 - Conséquences agrologiques

Ce rapport est émaillé de considérations agrologiques découlant des faits hydriques ou physico-chimiques examinés. Quelques unes, parmi les plus significatives, sont rappelées en ce paragraphe, en préliminaire à la synthèse des résultats bio-physiques déjà recueillis.

La distribution des pluies en début d'hivernage et la réaction des milieux édaphiques posent le problème de l'installation de la végétation. Deux stratégies de croissance et de développement sont utilisées par la végétation naturelle pour résoudre ce problème.

La première est suivie en milieu sableux par les plantes précoces douées de grande résistance à la sécheresse. Ces plantes démarrent leur cycle dès les premières pluies et se mettent à l'état de vie ralentie en conditions difficiles. Les avantages de ce comportement sont la possibilité de pouvoir bénéficier :

- d'une longue période végétative, pour assurer une forte production,
- de conditions éco-physiologiques favorables : jours courts...

Les inconvénients sont la probabilité élevée d'accidents physiologiques en début de cycle : jaunissement, flétrissement et même interruption définitive du cycle par la mort de l'appareil végétatif (Sicot 1976).

L'homme, pour ses cultures, utilise cette stratégie. Le meilleur exemple est le semis du mil en plein mois de mai de l'année 1978, après une grosse pluie.

La plupart des semis ont évidemment échoué mais quelques uns ont résisté, par endroit, aux effets de la sécheresse rigoureuse qui a sévi pendant tout un mois.

La seconde stratégie est utilisée en milieu de sol lourd. Il s'agit d'attendre l'établissement d'un certain état hydrique du sol, état qui coïncide avec un stade avancé de l'hivernage, autrement dit à des fréquences élevées de pluviosité. Les avantages sont des conditions écologiques facilitant le démarrage et la croissance en début de cycle.



Les inconvénients sont les risques élevés d'accidents physiologiques en fin de cycle, accidents qui entraînent couramment des phénomènes de nanisme, de néoténie, compromettant la production et peuvent occasionner la mort du végétal.

La croissance végétale étant conditionnée par une bonne alimentation hydrique, la disparité du déficit par rapport au pouvoir évaporant de l'air contribue à accuser l'hétérogénéité spatiale de la couverture et de la production végétale.

Sur la dune et en piémont sableux, la densité de la couverture végétale est discontinue, très irrégulière et la production médiocre.

Dans le pédiment de Gountouré, les réseaux d'infiltration conditionnent l'installation du couvert végétal, celui des flux hypodermiques sa croissance, particulièrement celle de la strate ligneuse.

Les bas-fonds, qui bénéficient très tôt de conditions hydriques favorables, sont propices aux deux stratégies de développement, à conditions que les plantes puissent supporter la submersion (Panicum laetum).

Tout apport d'eau d'origine externe, en augmentant l'indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air, favorise la végétation et augmente sa biomasse. D'une façon générale, la situation d'impluvium conditionne dans la majorité des cas l'installation des principaux éléments de la couverture végétale.

Toutes ces remarques se réfèrent à l'action limitante du facteur hydrique. Mais l'eau n'est pas le seul facteur écologique à mettre en cause, à propos de la couverture et de la production végétale. On doit aussi considérer l'incidence des fluctuations spatio-temporelles des caractéristiques propres à la végétation.

Cette analyse est plutôt du ressort du programme de M. Grouzis, mais l'évolution de la réserve hydrique à Kouni-Kouni, comparée à celle de la réserve dans le glacis de Kolel, permet de supposer que la médiocrité de la couverture végétale est aussi limitante que le déficit hydrique.

Dans ces conditions, les effets spectaculaires des travaux de régénérations de paturage entrepris par Toutain (Toutain 1978) dans le même glacis seraient dûs autant à la fixation des diaspores qu'à la pénétration de l'eau dans le sol.

Par ailleurs, l'analyse chimique des matériaux indique que, pour certains éléments, des carences sévères sont à craindre : carence général en azote et peut-être en phosphore, sub-carence des autres éléments par lessivage superficiel dans le bas-fond et le piémont, profond dans la dune.

Pour terminer, on signale que les caractéristiques physiques déficientes, telles que : la compacité, le gonflement, la fissuration, l'imperméabilité..., peuvent être aussi néfastes à l'installation et à la croissance végétale que les facteurs susmentionnés.

## CONCLUSION

L'hétérogénéité constitutionnelle du bassin a conduit à discriminer un certain nombre d'écosystèmes parmi lesquels six milieux types ont été choisis pour les deux programmes d'étude de la végétation et du bilan hydrique. Cet échantillonnage a été ordonné en trois classes de comportements hydrodynamiques, après l'analyse de la pluviométrie et de la dynamique de l'eau dans le sol.

Il s'agit du groupe des écosystèmes :

- des milieux sableux : caractérisés par une faible capacité au champ, mais une bonne perméabilité qui permet un stockage de l'eau sur une grande épaisseur de sol,
- des glacis et bas-fond à texture limono-argileux : où la médiocrité de la perméabilité occasionne l'engorgement superficiel du profil et un fort ruissellement de surface,
- et des milieux de pédiments à texture grossière: où le bilan hydrique ordinaire est faussé par des écoulements souterrains.

Sur le plan à la fois théorique et pratique, des informations capitales ont été tirées et peuvent l'être encore du référentiel de données, tel qu'il se constitue. Mais l'existence des phénomènes tels que :

- le drainage profond, en milieu sableux,
- le ruissellement et le drainage oblique en glacis,
- le ruissellement hypodermique avec des remontées capillaires dans les pédiments, fait que la plupart des hypothèses de base, permettant l'utilisation d'une équation tronquée pour l'établissement du bilan hydrique, ne sont pas valables.

Un contrôle strict des postes des entrées et sorties s'avère nécessaire et implique d'adjoindre aux relevés de pluviométrie et de profil neutronique, des mesures de ruissellement et de flux hydriques : flux de drainage oblique ou latéral et vertical.

Ce ruissellement peut-être cerné en multipliant les relevés de profil hydrique avant et après la pluie.

La mesure des flux hydriques apparaît plus difficile. La mesure directe n'étant pas au point, on a le choix de l'estimation indirecte, à partir du bilan énergétique ou des mesures tensiométriques.

Les mesures tensiométriques sont plus accessibles, pour ce qui est des implications matérielles.

Mais l'appareillage est assez délicat à manipuler et semble surtout adapté aux investigations en milieu sableux.

En tout état de cause, les hypothèses retenues pour l'établissement du bilan hydrique doivent être vérifiées et les vérifications passent par la mise en oeuvre de telles mesures.

Par ailleurs, du fait de l'existence des phénomènes sus-mentionnés, les résultats sont entachés d'erreurs aléatoires (ce terme signifiant que le sens des erreurs : par défaut (pertes d'eau), par excès (gain), ne peut être déterminé) non contrôlables et non estimables.

De plus l'analyse du bilan hydrique indique qu'il n'y a aucune possibilité de calcul des termes de drainage par simulation du bilan hydrique.

En effet, les écosystèmes fonctionnant au régime d'ETR ou d'ETRM, les sorties d'eau vers l'atmosphère sont inconnues et ne peuvent l'être que calculées d'après le bilan hydrique établi suivant l'équation générale de conservation du flux hydrique (Sicôt 1978).

Il s'en suit que les estimations du drainage par simulation fondées sur l'ETP aboutit d'une part à des normes de drainage qui peuvent être sans rapport avec la réalité, d'autre part à une véritable pétition de principe en ce qui concerne l'évapotranspiration. Sur un plan plus pratique et en considérant le problème du ruissellement comme résolu, on est en droit de se demander quelle est l'importance des erreurs commises en négligeant les flux hydriques profonds ou latéraux.

Malheureusement, il n'existe pas de normes en ce domaine.

Daudet et Valancogue ont montré, en milieu tempéré, que ces erreurs étaient variables, au cours du cycle climatique annuel, d'une année à l'autre et que, par moments, elles pouvaient avoisiner 200 % (Daudet, Valancogue).

En ce qui concerne le bassin de la Mare d'Oursi, on peut se convaincre finalement de leur importance considérable au vu des graphiques de la station de Gountouré et, dans une moindre mesure (lorsque les comptages neutroniques seront transformés en humidités volumiques), en se reportant aux données de la station du glacier de Kolel...

## Bibliographie

- AUDRY P. et al., 1972 - Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Définition, méthodologie, techniques, limitations actuelles. Quelques voies de recherches possibles.  
ORSTOM, bull. groupe trav. dyn. act. sol, n° 1, rapport mult., 18 p.
- BRUNET - MORET Y., 1963 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale République de Haute-Volta.  
ORSTOM - CIEH, rapport mult., 23 p.
- CLAUDE J., BERNARD A., SAADOUN N., 1978 - Etude hydrologique de sept bassins versant alimentant la mare d'Oursi.  
Rapport des campagnes 1976 et 1977  
ORSTOM, rapport mult., 76 p + annexes.
- COCHEME J., FRANQUIN P., 1967 - Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique Occidentale.  
FAO, UNESCO, OMM, rapport mult., 325 p.
- CTFT / HAUTE-VOLTA, 1978 - 1ère campagne d'étude du ruissellement et de l'érosion hydrique à Oursi.  
ACC lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).  
Rapport mult., 14 p.
- DAUDET F.A., VALANCOGUE C., 1976 - Mesure des flux profonds de drainage ou de remontée capillaire, leur importance dans le bilan hydrique.  
Ann. Agron. 27 (2), 165-182.
- DERRUAN M., 1972 - Les formes du relief terrestre.  
Masson, éd. 120 p.
- FISHER R.A., YATES F., 1963 - Statistical tables for biological, agricultural and medical research.  
Longman éd., 6ème éd. 146 p.
- GAUCHER G., 1968 - Traité de pédologie agricole. Les sols et ses caractéristiques agronomiques.  
Dunod éd., 578 p.
- GROUZIS M., 1978 - Rapport de campagne (en préparation).
- HENIN S., GRAS R., MONNIER, 1969 - Le profil cultural.  
Masson et Cie, éd. 332 p.
- JOLY F., DEWOLF Y., 1976 - Rapport préliminaire sur la mission géomorphologique dans la région d'Oursi. Mars - Avril 1976.  
Rapport mult. 11 p.
- LEPRUN J.C., 1977a - Rapport de mission pédologique.  
ACC lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).  
Rapport mult. 19 p.

- LEPRUN J.C., 1977b - Esquisse pédologique à 1/5000ème des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols.  
Rapport mult. 53 p.
- ORSTOM, 1978 - Observations climatologiques à la station de Djalafanka.  
Mare d'Oursi, juin 1976 - décembre 1977.  
Rapport mult. 91 p.
- PUECH J., MAERTENS C., PARTY J.R., 1969 - Modalités du dessèchement du sol sous des cultures plantées en lignes espacées.  
Ann. Agron., 1969, 20 (6), 597-607.
- RAMBAL S., ROMANE F., AGUILAR . MARTIN J., - Modélisations de la production de biomasse végétale de la steppe sud tunisienne par une méthode globale d'estimation des paramètres et par filtrage non linéaire.
- SAADOUN N., 1978 - Rapport de fin d'études.  
ORSTOM, rapport mult. 49 p.
- SICOT M., 1975 - Initiation à la mesure de l'humidité du sol par radiométrie.  
Application à la détermination de la capacité au champ.  
DEA écologie végétale, 31 p. annexes.
- SICOT M., 1976 - Evaluation de la production fourragère.  
ACC lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute-Volta).
- SICOT M., ZEGANADIN J.P., 1977 - La rétention hydrique des sols du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta).  
I - Considérations sur la capacité au champ des sols sableux.  
Rapport mult. 24 p.
- SICOT M., 1978 - Note technique. De la nécessité de compléter les mesures de teneur en eau des sols, par des mesures tensiométriques, pour l'établissement du bilan hydrique en milieu sahélien.  
ORSTOM, rapport mult. 11 p.
- STROOSNIJDER, 1977 - Aspects of soil and water in the Sahel in Mali.  
Rapport mult. 32 p.
- TOUTAIN B., - Carte des ressources fourragères au 1/50 000ème.  
Cartographie et notice.
- TOUTAIN B., 1978 - Etude des effets de la mise en repos temporaire de quelques formations végétales sahéliennes dégradées, sur leur évolution.  
Rapport mult. 67 p. + annexes.

A N N E X E I

Tableaux de données

Tableau 1 : Principaux critères de choix des sites parcellaires

Site parcellaire	Exposition	Géomorphologie	Situation topographique	Pente
Kolel piémont	Nord	Piémont	Haut de pente	5 %
Oursi-Ouest Oursi-Est	Sud	"Pénéplaine" inter dunaire	Replat de bas de pente	1 % 5 %
Kolel glacis ou Bas-Kolel	Nord	Glacis de transit	Pente	3 %
Kouni-Kouni et Djalafanka	Nord-Est	Glacis de transit	Haut de pente	1-2 %
Gountouré Polaka	Nord-Est Sud-Ouest	Pédiment de transit et de colmatage (placages sableux)	Mi-pente	3 %
Winde-Tiuluki	Nord-Est	Zone d'épendage	Bas-fond	nulle



Tableau 1 : (suite)

Substrat géologique	Unité pédologique	Groupement végétal <sup>x</sup>	Efficiéce de l'échantillonnage (%)
Sables éoliens gabbros	Sol ferrugineux tropical peu différencié	Cep	2,3
Sables éoliens	- sol peu évolué à faciès brun-rouge sur	AMs	4,9
	- sol brun-rouge subaride bien différencié hydromorphe	Cdc	4,9
gabbros	Sol brun tropical subaride modal	Sgr	20,7
Micro-gabbros ou roches vertes	Sol brun tropical subaride modal	Sgl	8,9
Débris de cuirasse latéritiques granite migmatite	Sol ferrugineux tropical évoluant sur matériaux divers	Ase	4,2
		Asc	4,3
Colluvions divers migmatites	Sol brun tropical subaride vertique	Spt	9,9

Tableau 2 : Caractéristiques pédologiques des différentes stations

CARACTERISTIQUES		OURSI AMs	KOLEL piémont	
graméométrique (% de matière sèche)	Argile	8,7 → 3,1	3,5 → 17,4	
	kaolinite (% total)			
	montmorillonite ( " )			
	beidellite ( " )			
	illite			
	Limon fin	2,9 → 0,1	1,9 → 5,6	
	Limon grossier	1,2 → 0,1	0,7 - 3,3	
	Sable fin	54,4 → 69,4	48 → 35,4	
	Sable grossier	27,5 - 46,0	47,4 → 36,3	
	Matière organique totale	0,2 → 0,1	0,4 - 0,3	
	Carbone	1,24 → 0,64	2,36 - 2,0	
	Matière humique totale	0,43 → 0,33	0,47 - 0,81	
	Acide humique	0,19 → 0,14	0,26 → 0,39	
	Acide fulvique	0,24 → 0,19	0,21 → 0,43	
	Taux d'humidification %	31,9 → 35,9	19,9 → 40,5	
organiques : % de carbone	Azote total (% MS)	0,14 → 0,04	0,26 - 0,20	
	C / N	8,9 - 16,0	9,1 → 10	
	chimiques (me/100g)	p H eau	6,2 - 6,8	6,9 - 7,5
		p H KCE	4,6 - 5,2	5,4 - 5,9
		Bases totales	0,58 - 3,28	2,11 → 5,69
Capacité d'échange		4,30 → 1,42	2,32 → 4,73	
Taux de saturation (%)		33 - 76	80 → 100	
Hydrodynamiques	Densité cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	1,57 - 1,65	1,48 - 1,60	
	Porosité totale (%)	33,1 - 36,8	32,0 - 35,5	
	Indice d'instabilité structurale	0,5 -	0,3 - 0,5	
	Perméabilité (cm/h)	4,7 - 18,0	3,2 → 1,3	
	Humidité pF 2,5	4,5 - 1,6	2,9 → 9,6	
	(% poids sec) " 3,0	3,3 - 0,9	2,0 → 6,8	
	" 4,2	2,9 - 0,5	1,7 → 10,1	

**Tableau 2 : (suite)**

KOUNI-KOUNI	KOLEL glacis	WINDE-TIULUKI	GOUNTOURE
33,2 - 36	33,5 - 6,4	37,2 - 47,6	9,2 → 34,6
11 - 20	10 - 27	47 - 61	
80 - 89	73 - 90	31 - 51	
< 0,10 - 0,6	0,17 - 0,9	0 - 0,47	
0	0	0 - 7	
9,5 → 16,5	12,7 → 8,0	9,1 - 12,7	2,5 - 6,9
3,3 → 7,1	3,0 - 8,3	2,0 - 5,1	2,5 → 0,8
26,3 - 27,4	23,2 - 28,0	16,1 - 27,9	46,7 → 15,4
21,0 → 10,4	18,8 → 53,6	13,6 - 22,5	38,1 - 36,7
	0,7 → 0,3	1,1	0,4
	3,82 → 1,62	6,3	2,08
	1,48 - 0,48		0,59
	1,27 → 0,25		0,41
	0,21 → 0,23		0,18
	38,7 - 29,6		28,4
	0,24 → 0,10	0,58	0,14
	15,9 → 10,1	10,9	14,9
7,6 - 8,7	7,5 → 9,5	6,9 - 8,6	6,6 - 7,4
6,0 - 7,3	5,7 → 8,1	5,2 - 6,7	5,2 - 6,1
18,61 → 29,63	3,88 → 18,66	5,66 - 18,68	2,58 → 9,71
12,80 → 30,27	4,38 - 18,24	13,93 - 18,77	4,29 → 9,27
≥ 100	88 → 100	38 → 100	60 → 100
1,50 → 1,75	1,59 → 1,90	1,42 - 1,61	1,54 2,15 <sup>x</sup>
18,6 - 31,4	19,2 - 32,7	25,5 - 18,3	24,5 → 32,3
4,9 - 8,0	5,4 - 5,6	4,4 - 4,7	3,0
2,1 - 0,8	0,5 - 1,5		0,4 → 1,2
18,3 - 31,4	21,6 9,4		7,2 → 16,7
14,0 - 24,8	15,5 6,9	17,5 - 21,2	5,0 → 14,2
4,4 - 16,4	11,1 3,8	11,0 - 13,9	2,7 → 10,2

<sup>x</sup>Roche-mère altérée

Tableau 3 : Echelle spatiale pour l'exécution des mesures

Echantillon ou unité d'échelle	Dimension ou aire d'extension	Fondement théorique	Techniques utilisées pour accéder aux coefficients d'intégration
Carotte de tarière	$\emptyset = 40 - 50 \text{ mm}$	micro-morphologie	unité de base
Sphère d'influence de l'humidimètre	$R = 20 - 60 \text{ cm}$	texture	Etalonnage de l'humidimètre
Unité de micro-relief	50 cm à 10-12 m	micro-morphologie	micro-relief
Plage de sol nu ou couverte de végétation	idem	Recouvrement végétal	mesure du recouvrement végétal
Parcelle	$100 \times 100 \text{ m}^2$	Critères écologiques Echantillonnage parcellaire	Relevé du micro-relief du recouvrement végétal mesure de la biomasse
Unité de groupement végétal (Toutain)	$2-4 \text{ km}^2$	Géomorphologie pédologie-phyto-sociologie	idem intégration géomorphologique
Bassin de la Mare d'Oursi	$64\ 000 \text{ km}^2$	idem Echantillonnage du bassin	idem intégration de l'échantillonnage

Tableau 4 : Echelle temporelle présidant à l'exécution des mesures

(	:	)
(	Fréquences	Relations avec les
(	:	phénomènes observés
(	:	)
(	instantanée	intensité
(	:	)
(	journalière	durée
(	:	(unité technique)
(	:	)
(	évènementielle	fréquence
(	:	)
(	séquentielle	distribution
(	:	(regroupement)
(	:	)
(	décaidaire	unité technique
(	:	(modélisation)
(	:	)
(	phénologique	développement
(	:	végétal
(	:	)
(	saisonnière	cycle végétatif
(	(annuelle)	:
(	:	)
(	pluriannuelle	variations
(	:	interannuelles
(	:	)

Tableau 5 : Liaisons bisérielles entre l'E T P (Penman) et les mesures d'évaporation en bacs

Instrument ou méthode	Paramètre de la régression	Bac colorado			Bac classe A			E T P (Penman)		
		Décades	13-16 28-30	17-27	13-20	13-16 28-30	17-27	13-20	13-16 28-30	17-27
Piche	$r^2$	0,011	0,86 <sup>++</sup>	0,54 <sup>++</sup>	0,028	0,93 <sup>++</sup>	0,52	0,47 <sup>+</sup>	0,59 <sup>++</sup>	0,42 <sup>++</sup>
	a	14,06	3,405	62,847	12,369	1,456	54,956	50,00	45,834	52,36
	b	0,141	1,125	0,744	0,286	1,382	0,836	0,15	0,251	0,14
Bac colorado	$r^2$				0,99 <sup>++</sup>	0,97 <sup>++</sup>	0,98 <sup>++</sup>	0,79 <sup>+</sup>	0,59 <sup>++</sup>	0,49 <sup>++</sup>
	a				3,517	1,903	-17,006	27,70	40,22	44,87
	b				1,232	1,158	1,134	0,24	0,206	0,15
Bac classe A	$r^2$							0,72 <sup>+</sup>	0,60 <sup>++</sup>	0,30 <sup>++</sup>
	a							36,17	43,599	54,07
	b							0,18	0,177	0,08

Tableau 6 : Paramètres des lois décrivant les distributions pluviométriques décadame à GOROM-GOROM et MARKOYE

Décade	13	14	15	16	17	18	19	20	
	0	1,102	1,034	1,772	1,401	1,460	1,343	1,729	
GOROM	S	0	4,506	11,517	21,785	12,223	29,374	18,673	22,853
	FO	0	0,647	0,529	0,412	0,235	0,176	0,294	0,176
	X0	0	0	0	0	0	0	0	
		0	1,322	1,585	1,154	0,932	1,240	1,150	0,976
MARKOYE	S	0	4,646	7,067	12,645	22,729	25,377	25,749	21,709
	FO	0	0,650	0,500	0,350	0,200	0,200	0,200	0,100
	X0	0	0	0	0	0	0	0	

: paramètre de forme

S : paramètre d'échelle

FO : probabilité pour qu'il n'y ait pas de pluie à la période considérée

X0 : borne inférieure de l'intervalle de définition (paramètre de position).





Tableau 7 : Comparaison de la pluviométrie décadaire en 1977 à DJALAFANKA, GOROM-GOROM et MARKOYE aux chroniques pluviométriques de ces deux dernières stations.

		MAI			JUIN			JUILLET		
Localité	Probabilité (%)	Décade			Décade			Décade		
		13	14	15	16	17	18	19	20	21
GOROM-GOROM	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	1,6	3,1	0	6,9	4,9
	50	0	0	0	6,3	16,0	10,8	17,0	20,9	28,3
	75	0	1,9	3,9	19,4	35,0	21,6	42,4	39,2	53,4
	90	0	9,5	9,5	33,4	58,0	34,7	73,1	60,6	81,7
	Moyenne	0	1,8	2,9	12,0	23,4	14,7	27,8	26,6	35,3
GOROM-GOROM 1977		0	21,1	4,2	12,5	10,8	0	8,7	88,2	63,3
DJALAFANKA 1977		0,8	18,3	1,1	12,6	71,2	5,3	30,5	60,0	18,8
MARKOYE 1977		0	5,8	1,1	5,6	54,5	5,7	4,9	73,8	18,4
MARKOYE	Moyenne	3,9	2,2	5,6	9,5	17,0	25,2	23,7	19,1	35,0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	1,2	3,2	2,6	3,7	9,7
	75	0	2,6	9,0	14,3	24,5	37,3	34,8	27,1	51,0
	50	0	0	0	4,4	9,5	16,8	15,2	12,3	27,0
	90	0	7,8	17,2	26,7	44,7	62,6	59,8	46,8	79,7

Tableau 7 : (suite)

AOÛT			SEPTEMBRE			OCTOBRE			TOTAL
Décade			Décade			Décade			
22	23	24	25	26	27	28	29	30	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15,3	15,5	22,2	7,2	13,0	0,4	0	0	0	
40,1	39,3	45,1	28,7	27,4	8,4	3,2	0	0	
70,1	67,9	69,5	48,6	43,3	22,1	8,3	0	0	
104,1	100,1	95,4	69,9	60,3	40,1	14,1	0	0	
47,7	46,5	48,0	32,1	29,8	15,1	5,3	2,0	1,5	378,6
25,5	71,1	16,1	23,8	35,7	6,6	0	17,3	0	404,9
57,0	45,6	28,4	48,1	30,0	52,5	0	0,3	0	480,5
19,1	58,5	12,9	43,1	6,5	2,0	0	0	0	313,9
46,4	42,9	43,3	36,7	22,2	21,2	8,7	4,1	1,9	351,4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40,1	23,8	23,7	20,7	14,6	10,3	0	0	0	
64,5	59,1	60,6	53,0	31,7	32,1	12,7	4,5	0,8	
42,1	39,8	38,3	31,8	20,2	14,7	0	0	0	
89,3	80,1	85,6	76,7	44,2	52,9	27,8	14,1	6,8	

Tableau 7 : (fin)

Djalafanka/Gorom-Gorom	$Y = 13,36 + 0,77x$	$r = 0,75^{++} \quad r^2 = 0,57$
Djalafanka/Markoye	$Y = 15,00 + 0,46x$	$r = 0,49 \quad r^2 = 0,24$
Gorom-Gorom/Markoye	$Y = 8,36 + 0,82x$	$r = 0,73^{++} \quad r^2 = 0,53$
Djalafanka/Gorom-Gorom/Markoye	$Z = 14,72 - 0,16x + 0,90z$	$r = 0,76^{++} \quad r^2 = 0,58$

**Tableau 8** : Chronique de la pluviométrie décadaire parcellaire, ajustée à partir du 1er Juin.

Station Temps (+)	Kolel piémont	Kolel glacis	Oursi	Winde- Tiuluki	Kouni- Kouni	Gountouré
0	0	0	0	0	0	0
10	11,4	18,4	0	16,0	13,3	0
20	48,2	53,6	17,1	52,8	51,7	5,3
30	85,1	88,8	53,3	89,6	90,2	44,9
40	121,9	124,0	101,5	126,4	128,6	84,5
50	158,8	159,2	143,7	163,3	167,0	124,1
60	195,6	194,4	185,9	200,1	205,4	163,7
70	232,5	229,7	228,0	236,9	243,8	203,3
80	269,3	264,9	270,2	273,7	282,2	242,9
90	306,2	300,1	312,4	310,5	320,7	282,5
100	343,0	335,3	354,6	347,3	359,1	322,1
110	380,0	370,5	396,8	384,1	397,5	361,7
120	416,7	405,7	439,0	420,9	435,9	401,3
Total final	422	420	469	430	430	410

Régression globale	$Y = 3,807 X - 24,2$	$r^2 = 0,97$
Kolel	$Y = 3,685 X - 25,49$	$r^2 = 0,99$
Kolel glacis	$Y = 3,521 X - 13,31$	$r^2 = 0,98$
Oursi	$Y = 4,22 X - 58,8$	$r^2 = 0,95$
Winde-Tiuluki	$Y = 3,681 X - 2,38$	$r^2 = 0,99$
Kouni-Kouni	$Y = 3,842 X - 2,04$	$r^2 = 0,99$
Gountouré	$Y = 3,96 X - 46,17$	$r^2 = 0,97$

Tableau 9 : Comparaison des résultats des différentes méthodes de mesures de l'évaporation à l'évapotranspiration potentielle calculée selon Penman.

Décade	Mesure			Calcul E T P Penman	
	Piche	Bac colorado	Bac classe A		
13	148	198	215	70	
14	106	162	162	73	
15	124	195	204	73	
16	122	178	179	73	
H I V E R N A G E	17	116	160	73	
	18	100	168	72	
	19	84	122	134	71
	20	76	117	116	70
	21	73	112	115	67,3
	22	71	107	106	64,8
	23	56	97	92	62
	24	47	97	89	59,7
	25	50	96	86	57,2
	26	67	97	93	55
27	71	112	121	56	
28	99	121	114	57	
29	118	129	121	58	
30	169	126	124	53	

Tableau 10 : Analyse globale du micro relief en différentes stations  
 (rapport de la surface occupée à la surface totale en %)

Station	Micro relief positif	Micro relief nul	Micro relief négatif
Oursi parcelle 1	30,0	32,1	37,9
Oursi parcelle 2	19,3	28,2	52,5
Kolel piémont	41,7	19,5	38,8
Kouni-Kouni	9,3	49,0	41,7
Kolel glacis	6,7	55,2	38,1
Gountouré	20,4	58,9	20,7

Tableau 11A : Bilan hydrologique décadaire dans la dune d'Oursi

N°	Dates		Entrées		Sorties	Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air	
	Pa	P	E	T	P	Ka	Ks
13	3/05	12/05	0	0	70	0	0
14	13/05	22/05	0	0	73	0	0
15	23/05	1/06	0	0	73	0	0
16	2/06	11/06	9	11,4	73	0,12	0,15
17	12/06	21/06	6	7,5	73	0,08	0,10
18	22/06	1/07	22	26,9	72	0,31	0,37
19	2/07	11/07	19	23,3	71	0,27	0,33
20	12/07	21/07	96	116,7	70	1,37	1,67
21	22/07	31/07	1	1,4	67	0,01	0,02
22	1/08	9/08	52	63,3	65	0,80	0,97
23	10/08	19/08	50	60,9	62	0,81	0,98
24	20/08	29/08	139	168,9	60	2,33	2,82
25	30/08	8/09	1	1,4	57	0,62	0,02
26	9/09	18/09	38	46,3	55	0,69	0,84
27	19/09	28/09	36	43,9	56	0,64	0,78
28	29/09	8/10	0	0	57	0	0
29	9/10	18/10	0	0	58	0	0
30	19/10	28/10	0	0	53	0	0
Décades	16 / 27		469	571,9	781	0,60	0,73
Décades	17 / 27		460	560,8	725	0,63	0,77
Décades	17 / 29		469	571,9	896	0,52	0,64

Pa = pluie à 1 m du sol

Ps = pluie au sol

ETP = évapotranspiration potentielle

Ka = indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air par la pluviométrie à 1 m

Ks = indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air par la pluviométrie au sol

Tableau 11B : Bilan hydrologique décadaire dans le piémont de Kolel

Décade		Coefficient de ruissellement		Entrées				Sorties	Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air			
N°	Dates	C	C'	Pa	Pai	Ps	Psi	ETP	Ka	Kai	Ks	Ksi
13	1/05 - 10/05	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0
14	11/05 - 20/05	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
15	21/05 - 30/05	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
16	31/05 - 9/06	0	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
17	10/06 - 19/06	40,2	43,7	60	35,9	73,0	43,7	73	0,83	0,49	1,0	0,6
18	20/06 - 29/06	0	0	2	2	2,6	2,6	72	0,03	0,03	0,04	0,04
19	30/06 - 9/07	9,1	23,9	37	33,6	45,1	41,0	71	0,52	0,47	0,64	0,58
20	10/07 - 19/07	18,5	29,4	65	53,0	79,1	64,5	70	0,93	0,76	1,13	0,92
21	20/07 - 29/07	13,1	24,2	29	25,5	35,4	28,5	67	0,43	0,38	0,53	0,42
22	30/07 - 9/08	11,9	19,4	47	41,4	57,3	50,5	65	0,72	0,64	0,88	0,78
23	10/08 - 19/08	14,7	4,3	39	33,2	47,6	40,6	62	0,63	0,54	0,77	0,65
24	20/08 - 29/08	3,5	11,7	26	25,1	31,8	30,7	60	0,43	0,42	0,53	0,51
25	30/08 - 8/09	4,7	0	40	38,1	48,8	46,5	57	0,73	0,69	0,89	0,81
26	9/09 - 18/09	3,6	3,1	29	28,0	35,4	34,1	55	0,53	0,51	0,64	0,62
27	19/09 - 28/09	6,8	14,6	48	44,7	58,5	54,5	56	0,86	0,80	1,04	0,99
28	29/09 - 9/10	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0
29	10/10 - 19/10	0	0	4	4	5,1	5,1	58	0,07	0,07	0,09	0,09
Décades 17 / 27		0,15	0,20	422	360	514,6	437,2	708	0,60	0,51	0,73	0,62
Décades 17 / 29		0,15	0,20	426	364	519,7	442,3	823	0,52	0,44	0,63	0,54

C = coefficient de ruissellement, données laboratoire d'HYdrologie ORSTOM

C' = coefficient de ruissellement, données CTFT

Pa = pluviométrie à 1 m du sol

Pai = infiltration sur la base de la pluviométrie à 1 m du sol

Ps = pluviométrie au sol

Psi = infiltration à partir de la pluviométrie au sol

ETP = évapotranspiration potentielle

Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air

Ka = d'après la pluviométrie à 1 m

Kai = d'après l'infiltration de la pluviométrie à 1 m

Ks = d'après la pluviométrie au sol

Ksi = d'après l'infiltration de la pluviométrie au sol.



Tableau 11C : Bilan hydrologique décadaire dans le glacier de Kouni-Kouni

Décade		Coef. de ruissellement	Entrées				Sorties	Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air			
N°	Dates	C (%)	Pa	Pai	Ps	Psi	E T P	Ka	Kai	Ks	Ksi
13	7/05 - 16/05	0	0	0	0	0	71,5	0	0	0	0
14	17/05 - 26/05	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
15	27/05 - 5/06	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
16	6/06 - 15/06	31	58	40,0	70,6	48,8	73	0,79	0,55	0,99	0,68
17	16/06 - 25/06	0	2	2	2,7	2,7	72,5	0,03	0,03	0,04	0,04
18	26/06 - 5/07	30	40	28	48,8	34,2	71,5	0,56	0,39	0,70	0,50
19	6/07 - 15/07	21	32	22,1	39,1	27,0	70,5	0,45	0,31	0,57	0,39
20	16/07 - 25/07	29	53	37,6	64,6	45,9	68,7	0,77	0,55	0,96	0,68
21	26/07 - 4/08	34	59	38,9	71,8	47,4	66,1	0,89	0,59	1,11	0,73
22	5/08 - 14/08	51	30	14,7	36,6	18,1	63,4	0,47	0,23	0,59	0,29
23	15/08 - 24/08	41	30	17,7	36,6	21,7	60,9	0,49	0,29	0,61	0,36
24	25/08 - 3/09	51	49	24,0	59,7	29,4	58,9	0,83	0,41	1,04	0,51
25	4/09 - 13/09	0	0	0	0	0	56,1	0	0	0	0
26	14/09 - 23/09	45	77	42,4	93,7	51,7	55,5	1,39	0,76	1,72	0,95
27	24/09 - 3/10	0	0	0	0	0	56,5	0	0	0	0
28	4/10 - 13/10	0	0	0	0	0	57,5	0	0	0	0
29	14/10 - 23/10	0	0	0	0	0	55,5	0	0	0	0
Décades 16 / 26		0,38	430	267,5	524,2	326,8	717,7	0,60	0,37	0,73	0,46
Décades 16 / 29		0,38	430	267,5	524,2	326,8	886,6	0,48	0,30	0,59	0,37

Pour la nomenclature, cf. Tableau 11B

Tableau 11D : Bilan hydrologique décadaire dans le glacier de Kolel

Décade		Coef. de ruissellement	Entrées				Sorties	Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air			
N°	Dates	C (%)	Pa	Pai	Ps	Psi	E T P	Ka	Kai	Ks	Ksi
13	2/05 - 11/05	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0
14	12/05 - 21/05	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
15	22/05 - 31/05	0	0	0	0	0	73	0	0	0	0
16	1/06 - 10/06	0	5	5	6,4	6,4	73	0,07	0,07	0,09	0,09
17	11/06 - 20/06	31	62	42,8	75,5	52,2	73	0,85	0,59	1,05	0,73
18	21/06 - 30/06	0	9	9,0	11,1	11,1	72	0,13	0,13	0,16	0,16
19	30/06 - 9/07	30	28	19,6	34,2	24,0	71	0,39	0,28	0,49	0,34
20	10/07 - 19/07	30	82	57,4	99,8	69,9	70	1,17	0,82	1,45	1,02
21	20/07 - 29/07	28	3	2,2	3,9	2,9	67	0,04	0,03	0,06	0,04
22	30/07 - 8/08	42	38	22,0	46,3	26,9	65	0,59	0,34	0	0,42
23	9/08 - 18/08	52	55	26,4	67,0	32,3	62	0,89	0,43	1,10	0,53
24	19/08 - 28/08	22	58	45,2	70,6	55,1	60	0,97	0,76	1,21	0,94
25	29/08 - 7/09	67	5	1,7	6,3	2,3	57	0,09	0,03	0,11	0,04
26	8/09 - 17/09	50	16	8,0	19,6	9,9	55	0,29	0,15	0,36	0,18
27	18/09 - 27/09	42	58	33,6	70,6	41,0	56	1,04	0,60	1,29	0,75
28	28/09 - 7/10	0	2	2	2,7	2,7	57	0,04	0,04	0,04	0,04
29	8/10 - 17/10	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0
30	18/10 - 27/10	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0
Décades	17 / 27	0,35	413	269,9	507,6	323,8	708	0,58	0,38	0,72	0,46
Décades	16 / 29	0,35	420	274,9	507,6	330,2	838	0,50	0,33	0,61	0,39

Pour la nomenclature, cf. Tableau 11B

Tableau 11E : Bilan hydrologique décadaire dans le bas-fond  
Winde-Tiuluki

Décade		Entrées		Sorties		Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air	
N°	Dates	Pa	Ps	E T P	Ka	Ks	
13	6/05 - 15/05	0	0	72	0	0	
14	16/05 - 25/05	0	0	73	0	0	
15	26/05 - 4/06	0	0	73	0	0	
16	5/06 - 14/06	60	73,1	73	0,82	1,02	
17	15/06 - 24/06	5	6,3	73	0,07	0,09	
18	25/06 - 4/07	39	47,6	72	0,55	0,68	
19	5/07 - 14/07	25	30,6	71	0,35	0,44	
20	15/07 - 24/07	49	59,7	69	0,71	0,89	
21	25/07 - 3/08	27	33,0	66	0,41	0,51	
22	4/08 - 13/08	55	67,0	63	0,87	1,08	
23	14/08 - 23/08	13	16,0	61	0,21	0,27	
24	24/08 - 2/09	80	97,3	59	1,27	1,70	
25	3/09 - 12/09	0	0	56	0	0	
26	13/09 - 22/09	77	93,7	56	1,39	1,72	
27	23/09 - 2/10	0	0	57	0	0	
28	3/10 - 12/10	0	0	58	0	0	
29	13/10 - 22/10	0	0	56	0	0	
Décades 16 / 26		430	491,3	719	0,60	0,68	
Décades 17 / 29		430	491,5	890	0,48	0,55	

Pa = pluie à 1 m du sol

Ps = pluie au sol

ETP = évapotranspiration potentielle

Ka = indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air par la pluviométrie à 1 m

Ks = indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air par la pluviométrie au sol

Tableau 11F : Bilan hydrologique dans le pédiment de Gountouré

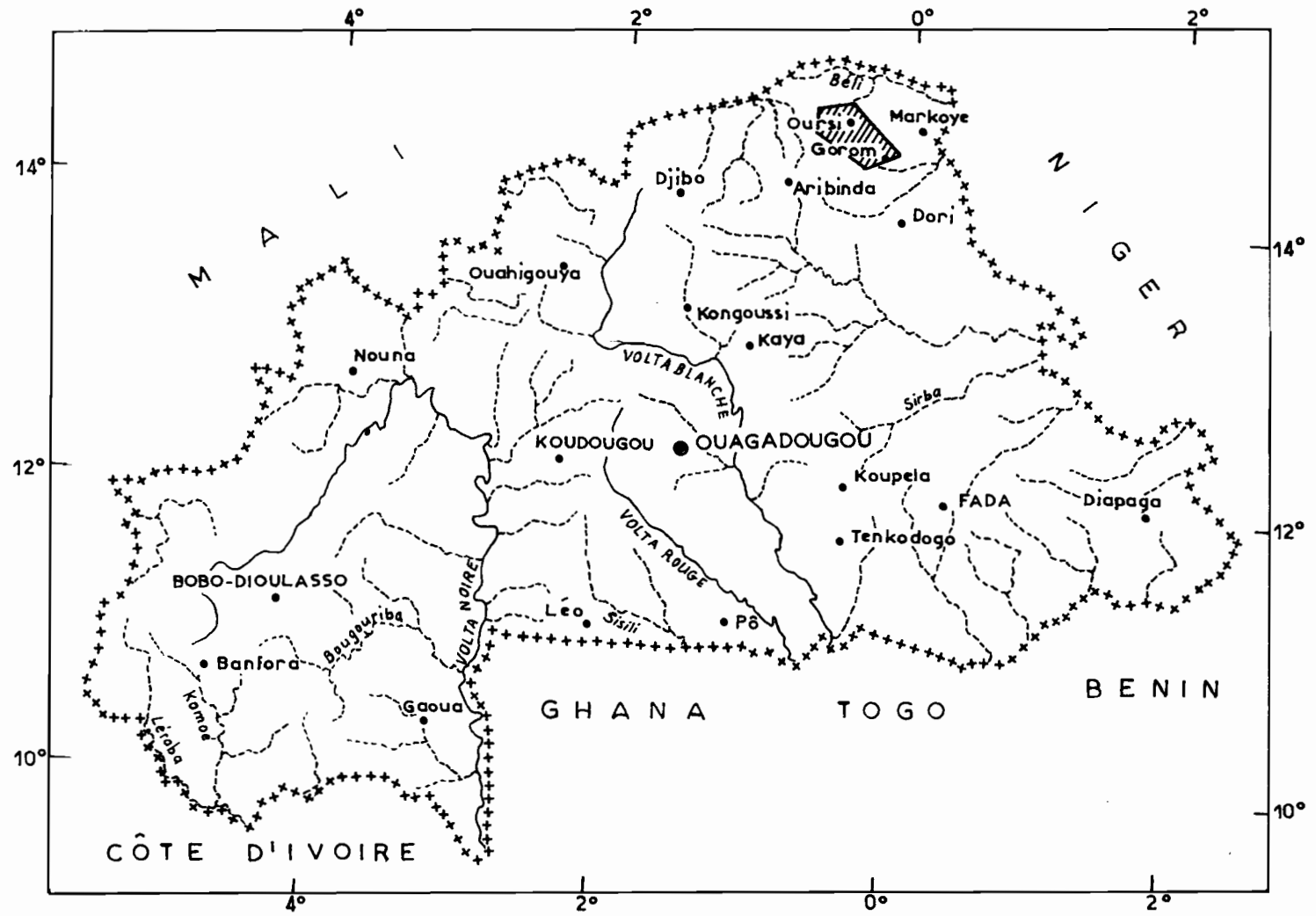
Décade		Coef. de ruissellement	Entrées				Sorties	Indice de saturation du pouvoir évaporant de l'air			
N°	Dates	C (%)	Pa	Pai	Ps	Psi	E T P	Ka	Kai	Ks	Ksi
13	8/05 - 17/05	0	0	0	0	0	71,5	0	0	0	0
14	18/05 - 27/05	0	0	0	0	0	73,0	0	0	0	0
15	28/05 - 6/06	0	0	0	0	0	73,0	0	0	0	0
16	7/06 - 16/06	13	5	4,4	6,3	5,6	73,0	0,07	0,06	0,09	0,08
17	17/06 - 26/06	0	12	12	14,8	14,8	72,5	0,17	0,17	0,21	0,21
18	27/06 - 6/07	10	30	27	36,6	33,0	71,5	0,42	0,38	0,52	0,47
19	7/07 - 16/07	22	54	42,1	65,8	51,3	70,5	0,77	0,60	0,95	0,74
20	17/07 - 26/07	25	52	39	63,3	47,6	68,7	0,76	0,57	0,94	0,71
21	27/07 - 5/08	21,9	25	19,5	30,6	23,9	66,1	0,38	0,30	0,47	0,37
22	6/08 - 15/08	4,5	36	34,4	43,9	42,0	63,4	0,57	0,54	0,71	0,67
23	16/08 - 25/08	0	3	3	3,9	3,9	60,9	0,05	0,05	0,06	0,06
24	26/08 - 4/09	54	128	58,9	155,6	71,7	58,5	2,19	1,01	2,71	1,25
25	5/09 - 14/09	15	26	24,7	31,8	30,2	56,1	0,46	0,44	0,58	0,49
26	15/09 - 24/09	24,2	43	32,6	52,4	39,8	55,5	0,77	0,59	1,00	0,73
27	25/09 - 4/10	0	0	0	0	0	56,5	0	0	0	0
28	5/10 - 14/10	0	0	0	0	0	57,5	0	0	0	0
29	15/10 - 24/10	0	0	0	0	0	55,5	0	0	0	0
Décades	16 / 26	0,28	414	297,6	504,9	363,8	717,1	0,58	0,42	0,70	0,51
Décades	17 / 27	0,28	409	293,2	498,6	358,2	886,6	0,46	0,33	0,56	0,40

Pour la nomenclature, cf. Tableau 11B

A N N E X E II

Cartes et Figures

# CARTE DE SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE



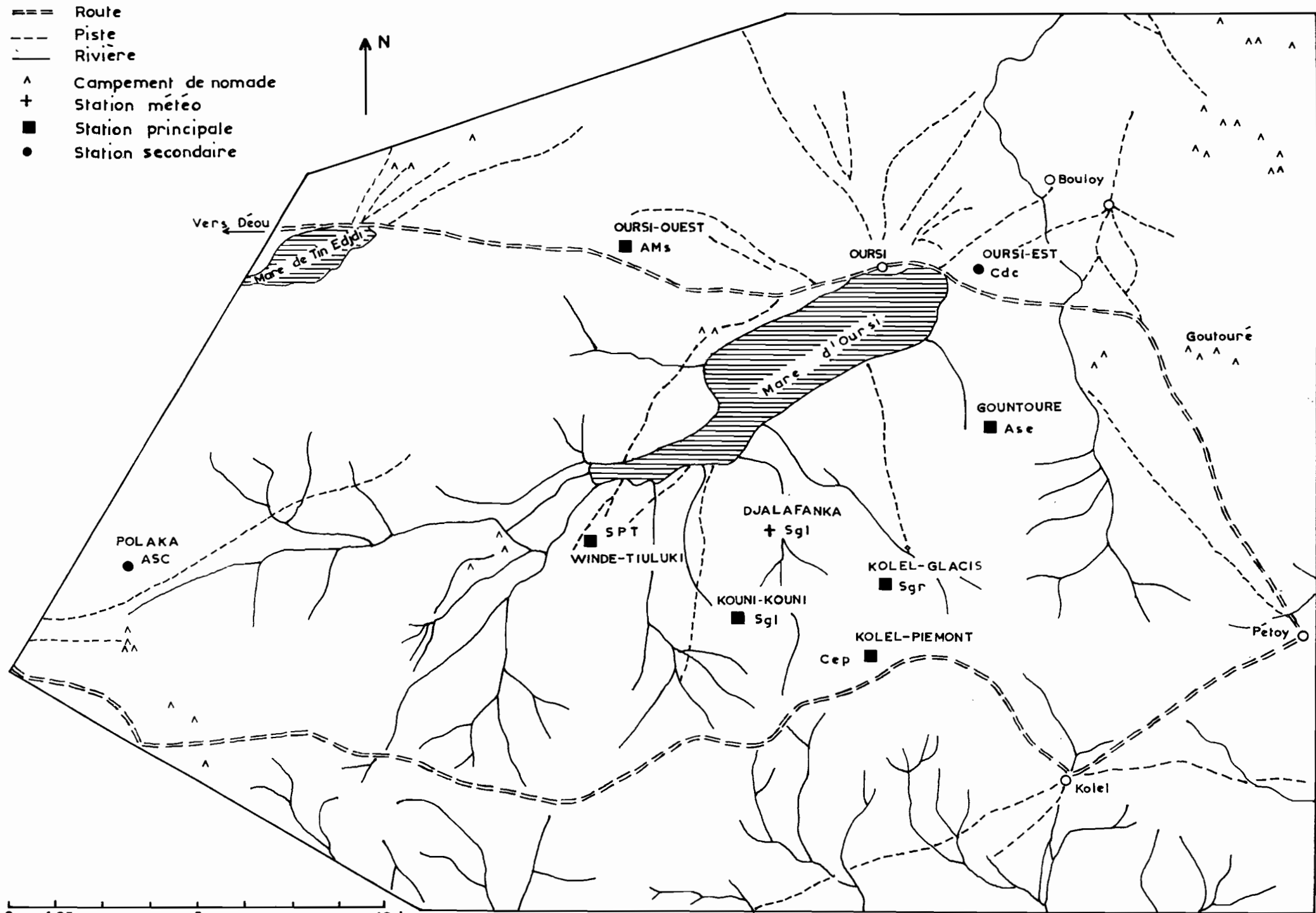
 Zone étudiée

Echelle : 1/5.000.000

Fig.1 PLAN DE SITUATION DES PARCELLES D'ETUDE

- == Route
- - - Piste
- Riviere

- ^ Campement de nomade
- + Station météo
- Station principale
- Station secondaire



0 1,25 5 10 km

Fig. 2 SCHEMA D'ORGANISATION DU BASSIN DE LA MARE D'OURS  
SUIVANT UNE TOPOSEQUENCE

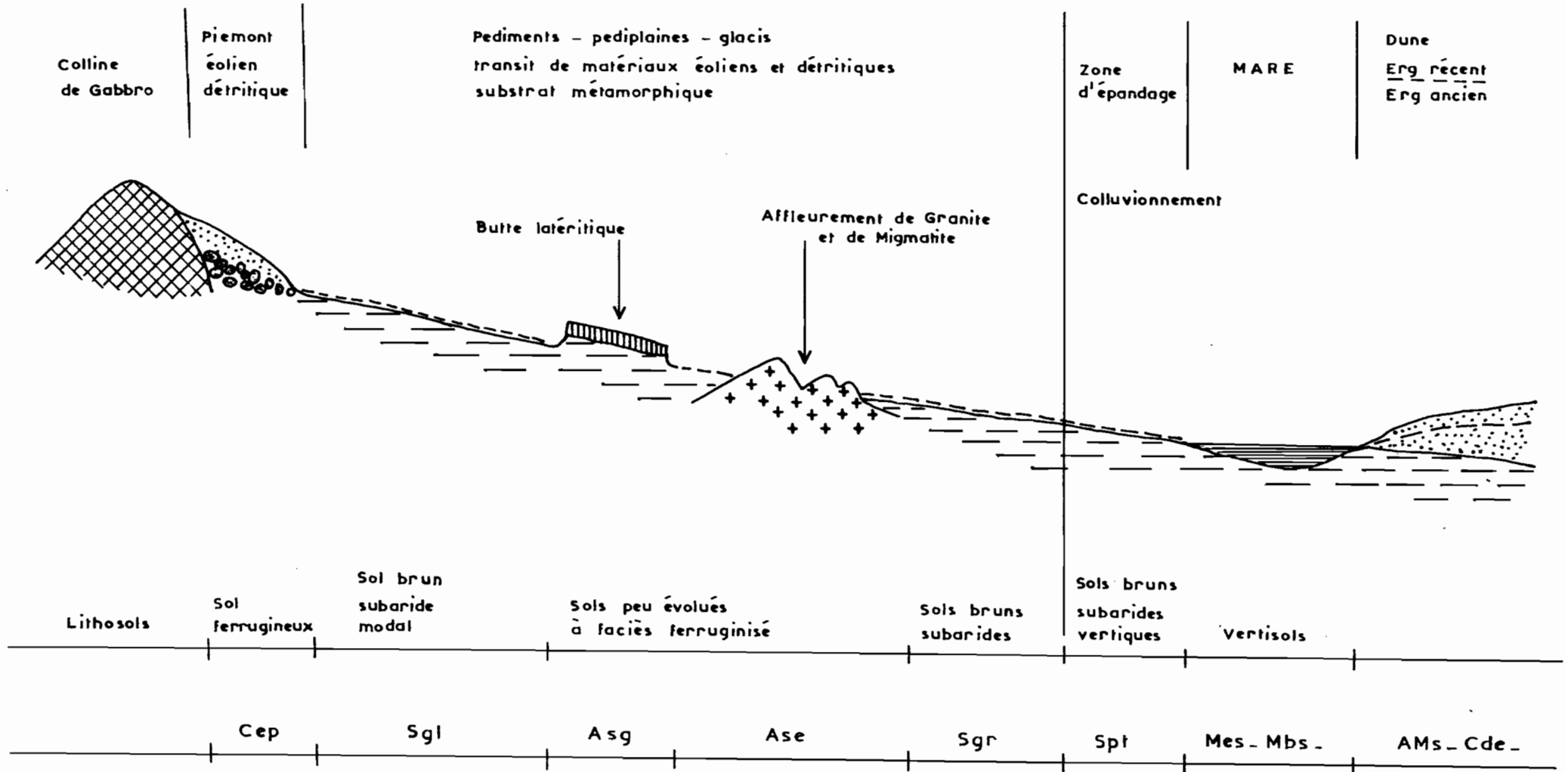
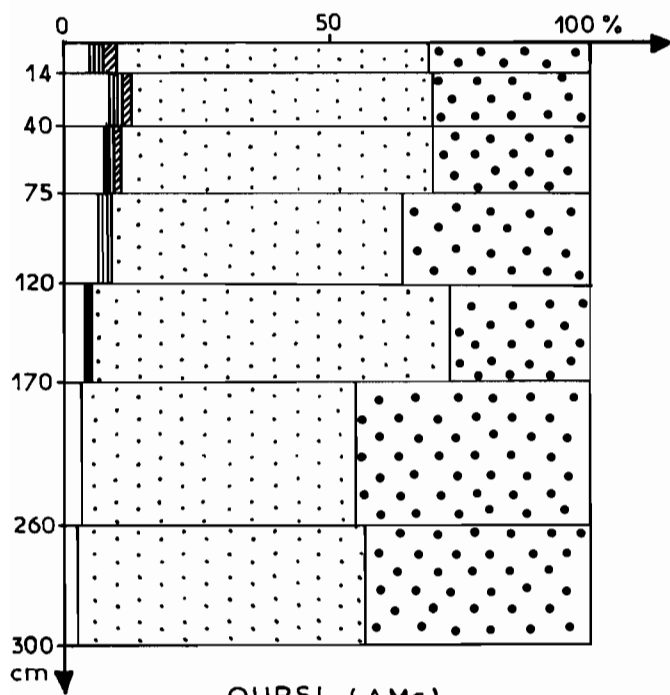
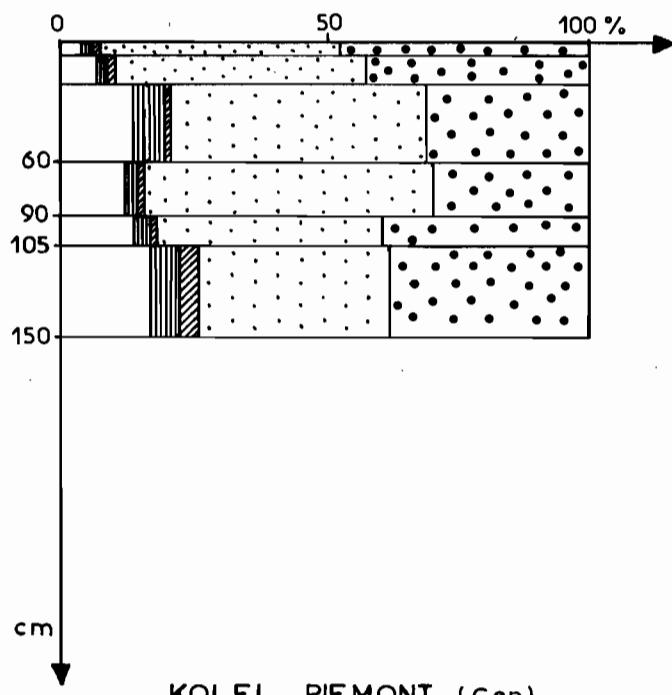




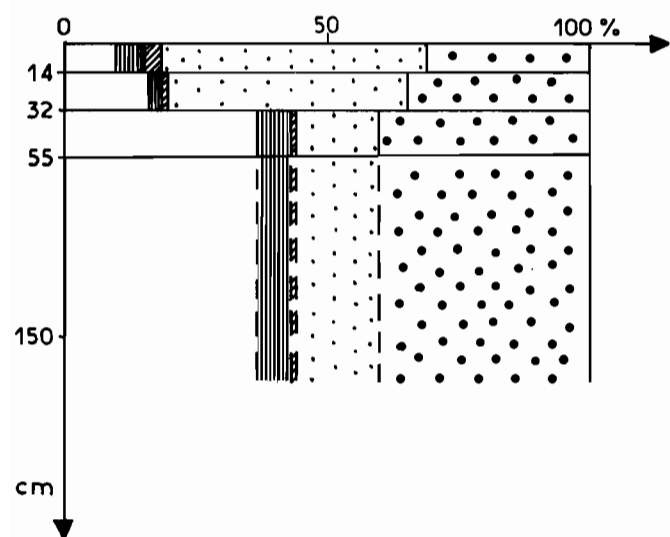
Fig. 3A CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES STATIONS PRINCIPALES



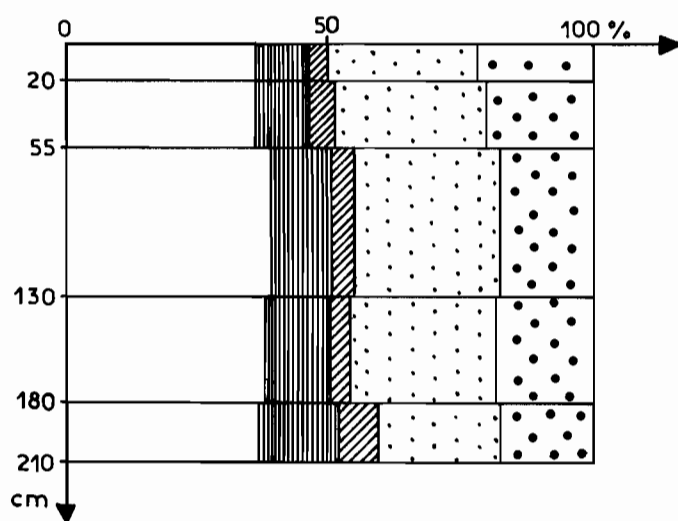
OURSI (AMs)



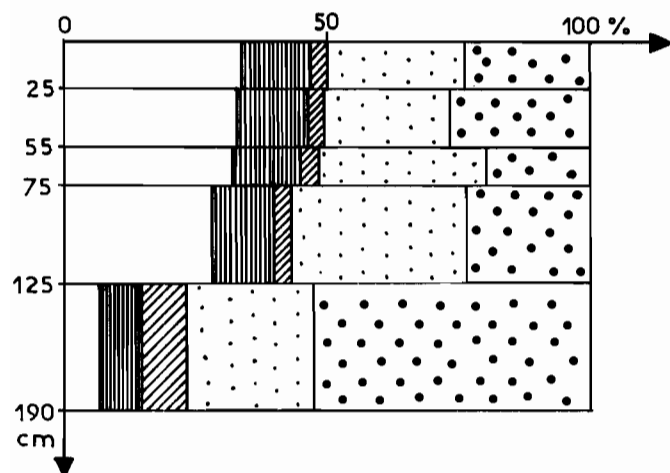
KOLEL PIEMONT (Cep)



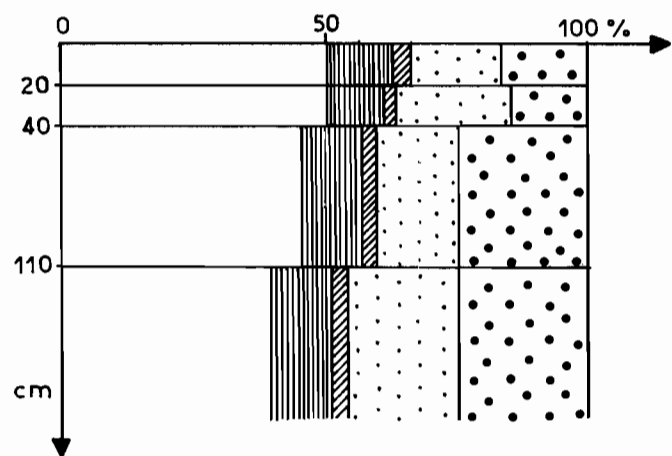
GOUNTOURE (Ase)



KOUNI-KOUNI (Sgl)



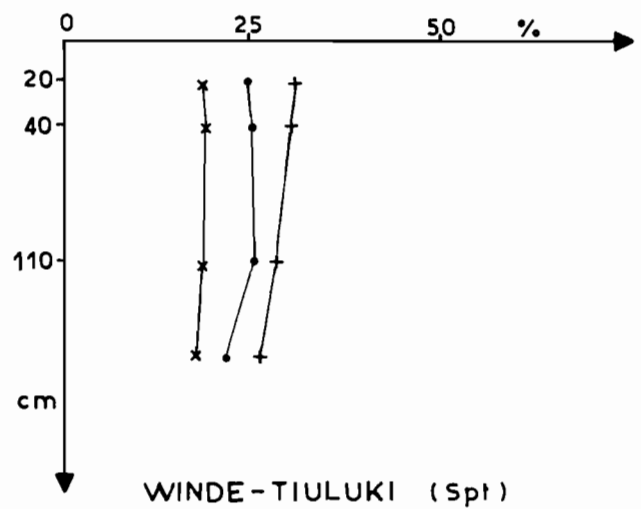
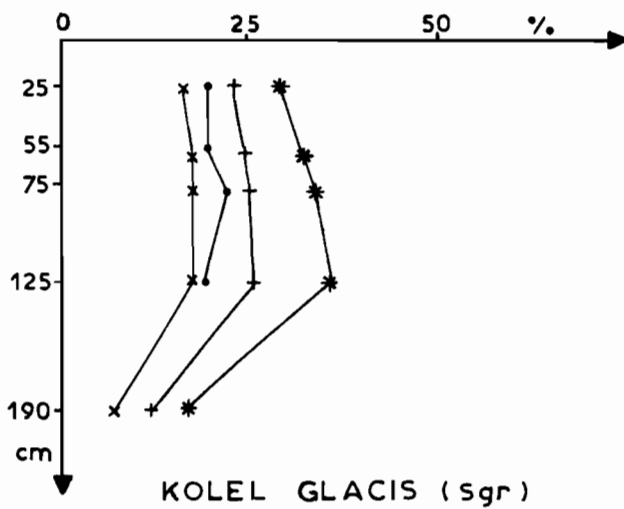
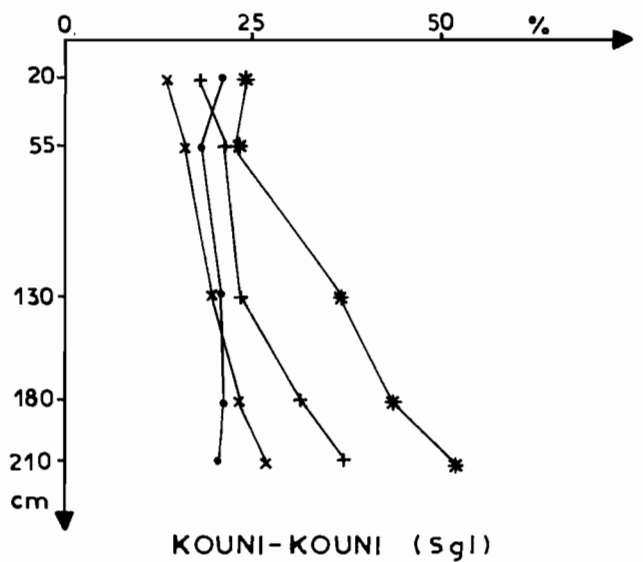
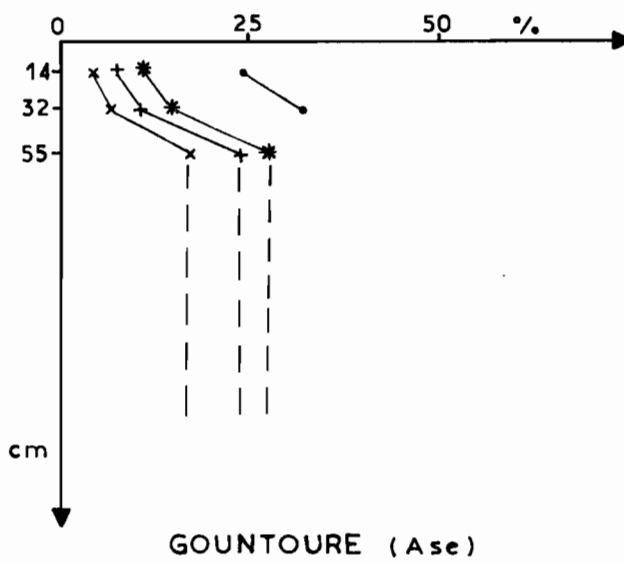
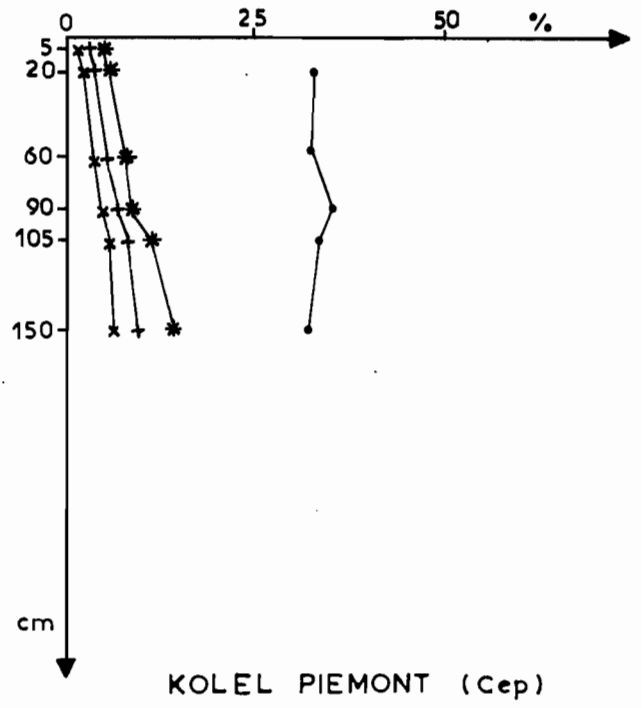
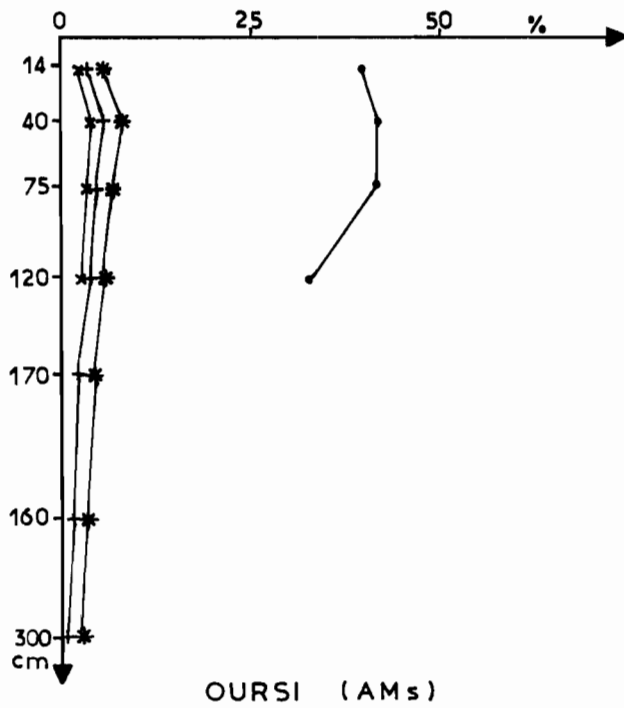
KOLEL GLACIS (Sgr)



WINDE-TIULUKI (Spt)

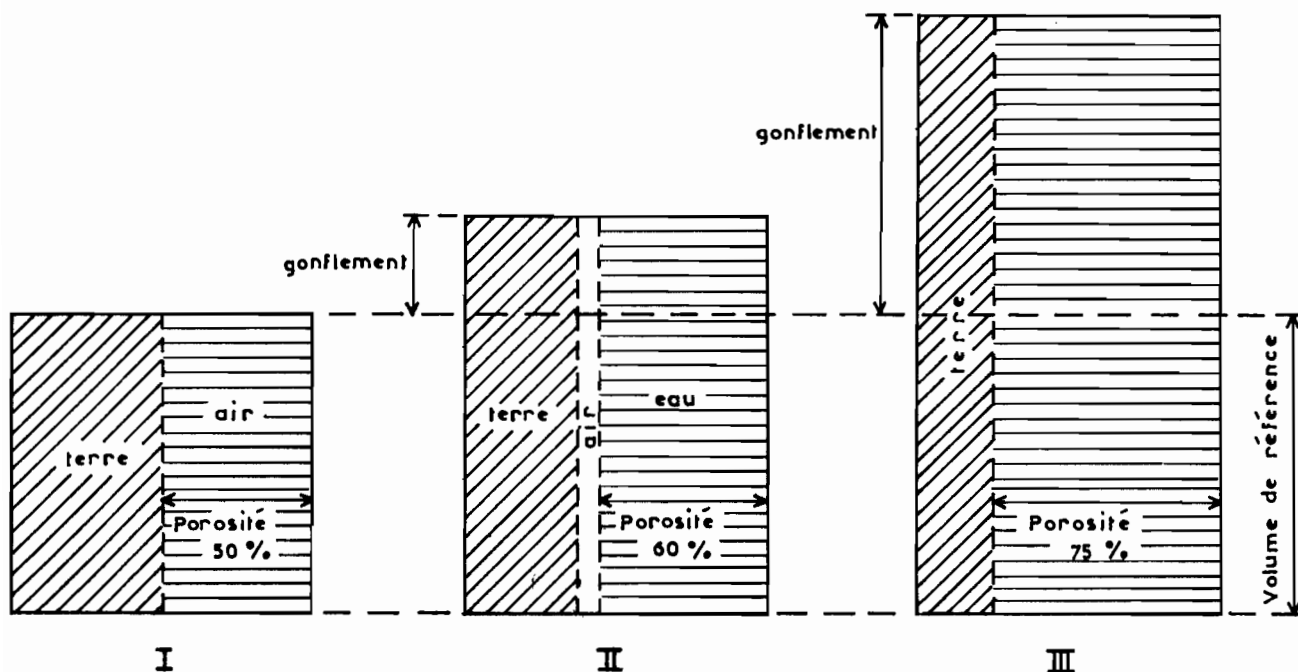


Fig. 3B RETENTION HYDRIQUE DES SOLS DES STATIONS PRINCIPALES



— Porosité totale      Humidité volumique à      x — pF 4.2, + — pF 3.0, \* — pF 2.5

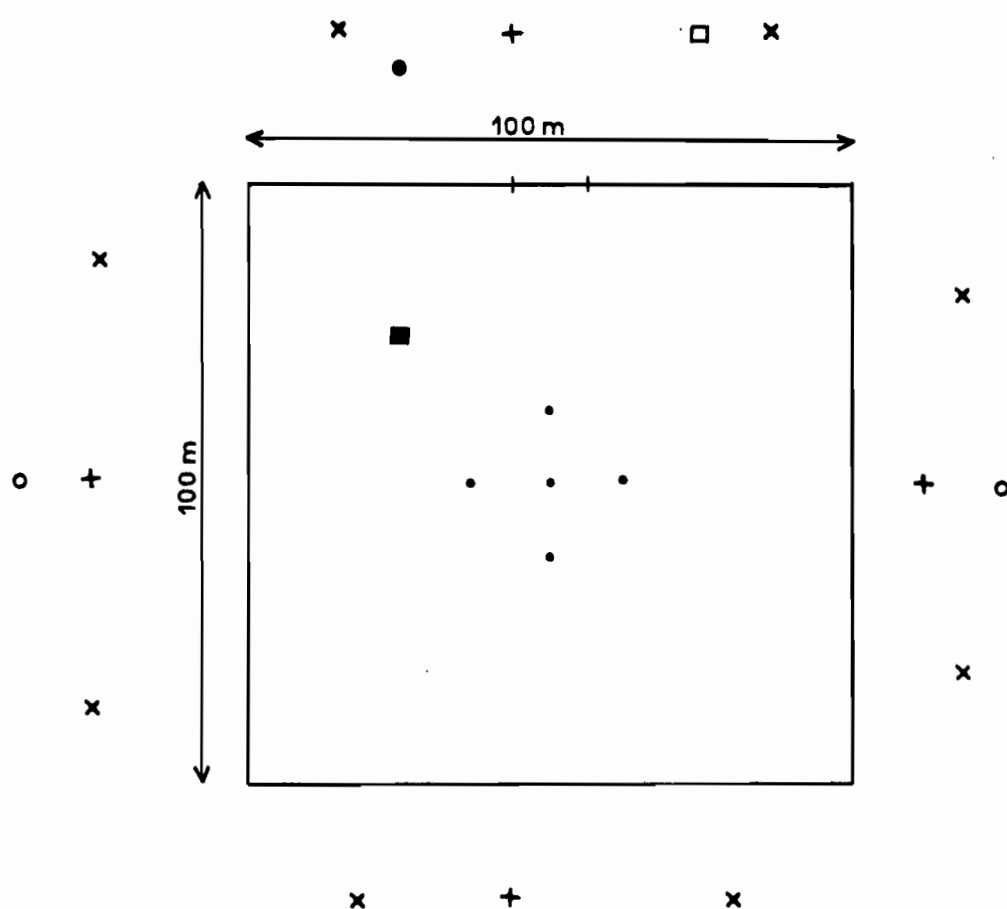
Fig. 3C SCHEMA DE LA VARIATION DU VOLUME APPARENT  
 D'UN PÂTON DE TERRE ARGILEUSE EN FONCTION  
 DE LA TENEUR EN EAU D'APRES S. HENIN



- I Terre sèche
- II Terre très humide : la teneur en air est déjà faible
- III Terre gorgée d'eau : la teneur en air est nulle

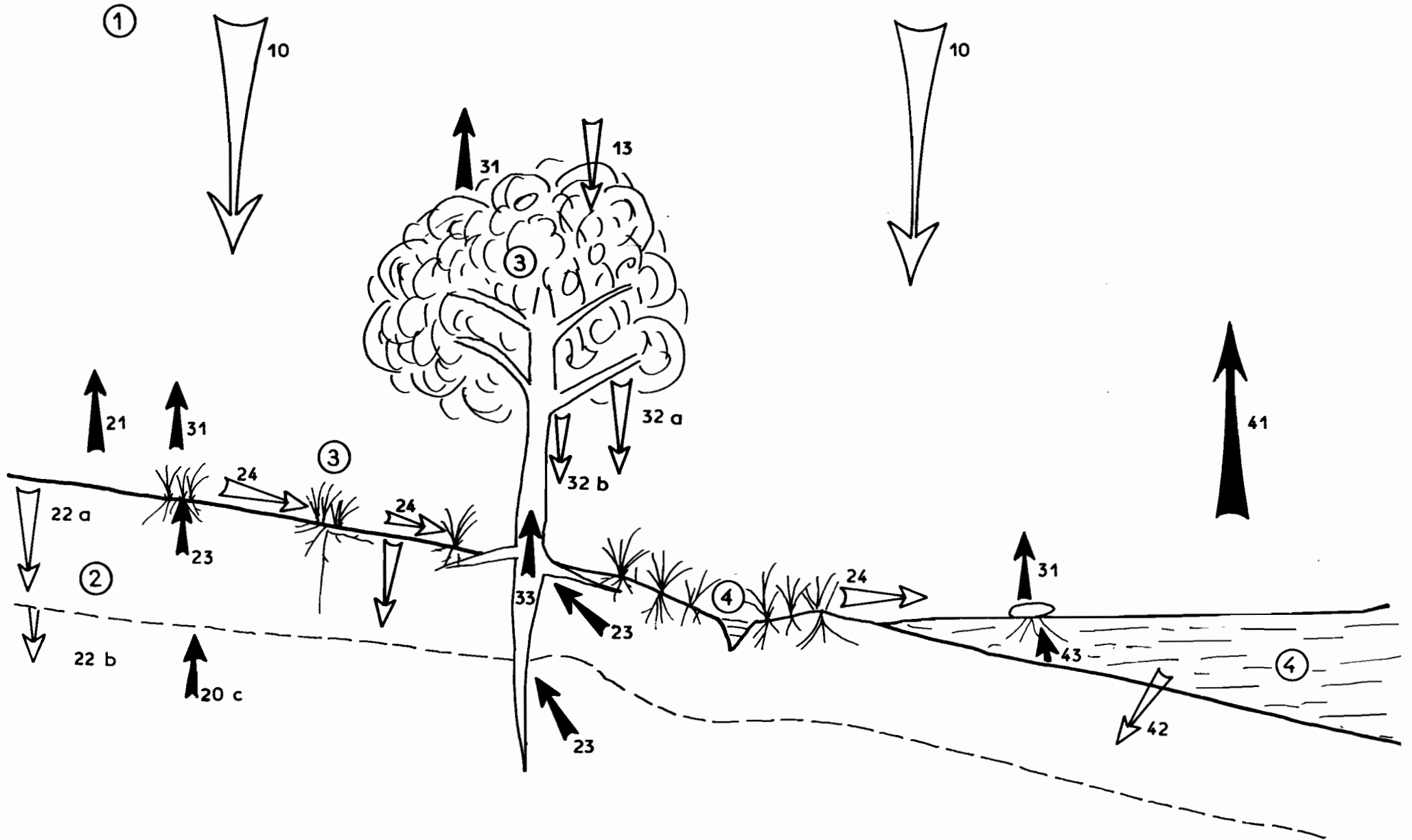
Le volume de terre est constant dans les trois cas (les surfaces hachurées sont égales) mais sa proportion va en diminuant. Ceci apparait nettement par comparaison avec le volume de référence ( S. HENIN )

Fig. 4 PLAN SCHEMATIQUE DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL  
DANS UNE PARCELLE PRINCIPALE



- Tube d'accès pour sonde à neutrons
- Tube pour l'étalonnage de l'humidimètre à neutrons
- Fosse pédologique
- ⊕ Site de mesure de capacité au champ
- × Site de mesure de perméabilité
- Pluviomètre totalisateur
- Pluviomètre journalier
- ⊢⊢ Porte

Fig. 5 CYCLE DE L'EAU DANS LES ECOSYSTEMES  
DU BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSIS



## LEGENDE DE LA FIGURE 5

Composants du cycle schématique de l'eau  
dans les écosystèmes du bassin versant  
de la mare d'OURS!

### 1 Compartiment atmosphérique

- 10 Eau atmosphérique
- 12 Précipitation, atteignant directement le sol
- 13 Précipitation, interceptées par le feuillage

### 2 Compartiment pédologique

- 20 Eau infiltrée dans le sol
- 21 Evaporation en sol nu
- 22 Mouvement interne
  - 22 a Eau suspendue dans la zone colonisée  
par les racines de la strate herbacée
  - Limite de la zone colonisée par les racines
  - 22 b Drainage profond
  - 22 c Remontée capillaire
- 23 Absorption végétale
- 24 Ruissellement

### 3 Compartiment végétal

- 30 Eau absorbée par la végétation
- 31 Evapotranspiration
- 32 Mouvement vers le sol
  - 32 a Egouttement
  - 32 b Ecoulement le long des troncs
- 33 Mouvement interne (translocation)

### 4 Réservoirs d'eau libre

- 40 Eau des talwegs et dépression
- 41 Evaporation de la nappe libre
- 42 Infiltration vers le sol
- 43 Absorption végétale

Fig. 5' ORGANIGRAMME DU BILAN HYDRIQUE  
TEL QU'IL EST SAISI PAR LES DIFFERENTES MESURES

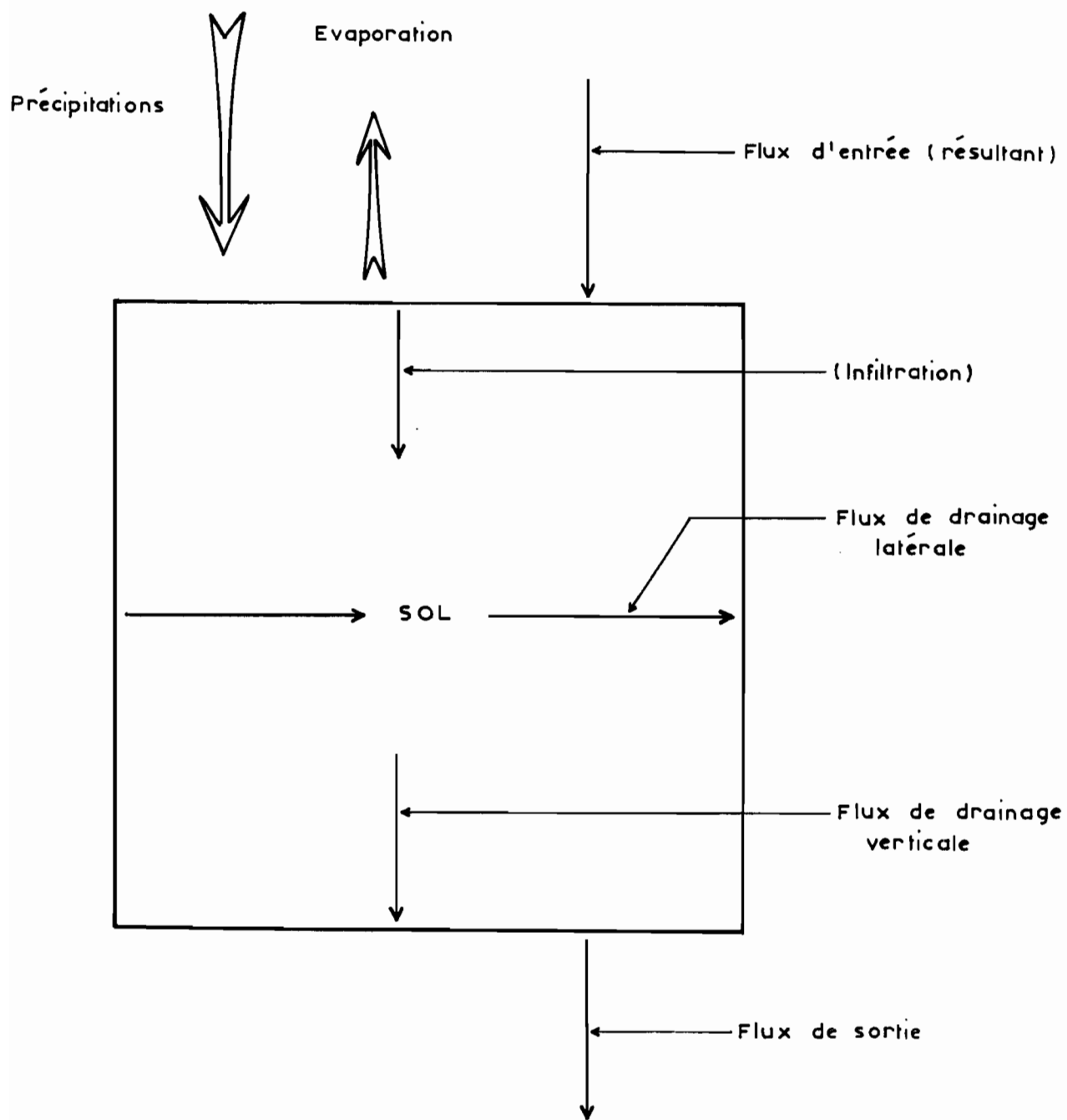


Fig. 6 ISOHYETES ANNUELLES AUTOUR DE LA MARE D'OURSI ANNEE 1977

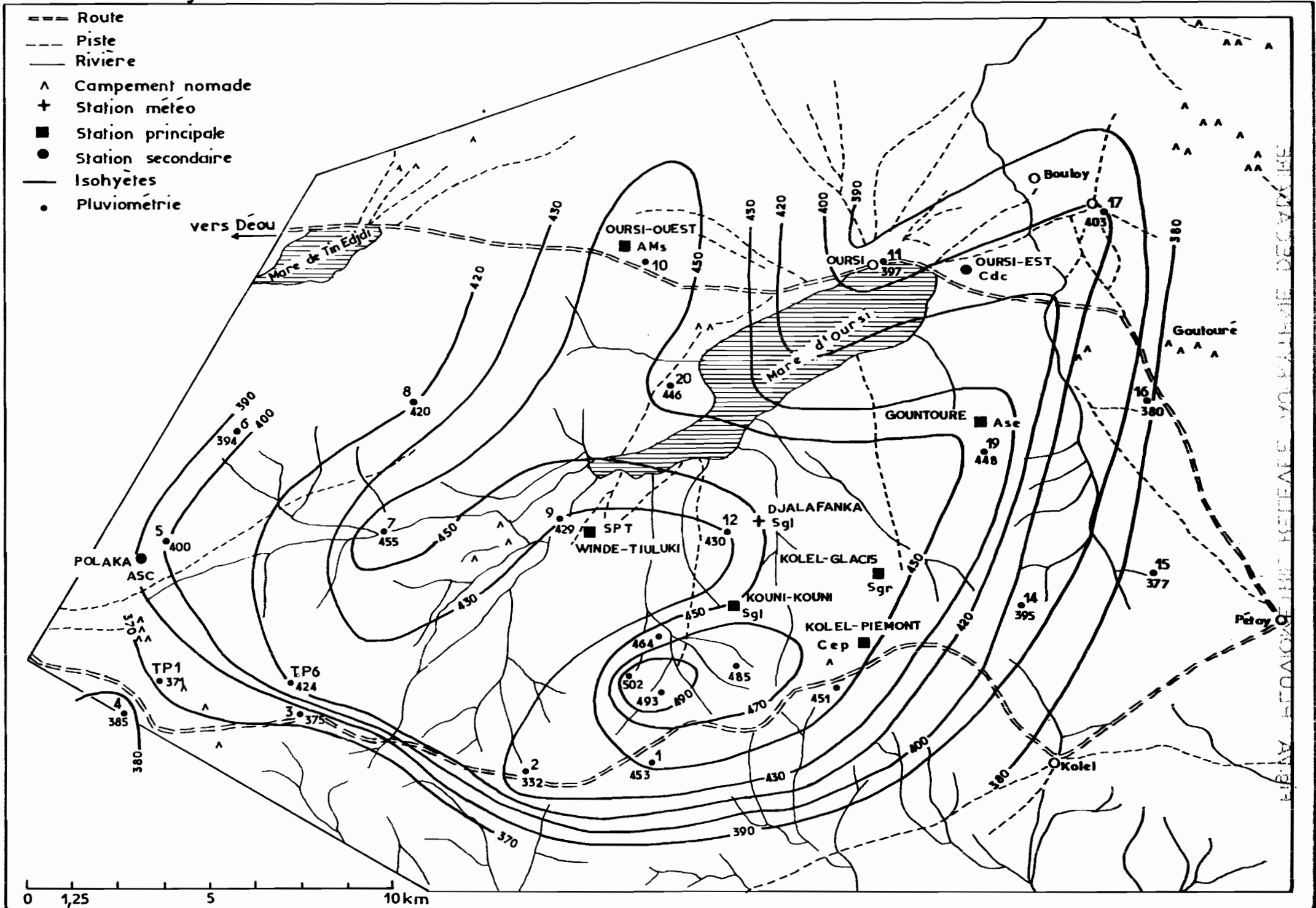




Fig.7A PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DÉCADAIRE  
 DES PRÉLEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
 à l'ouest d'OURSIS (AMs)

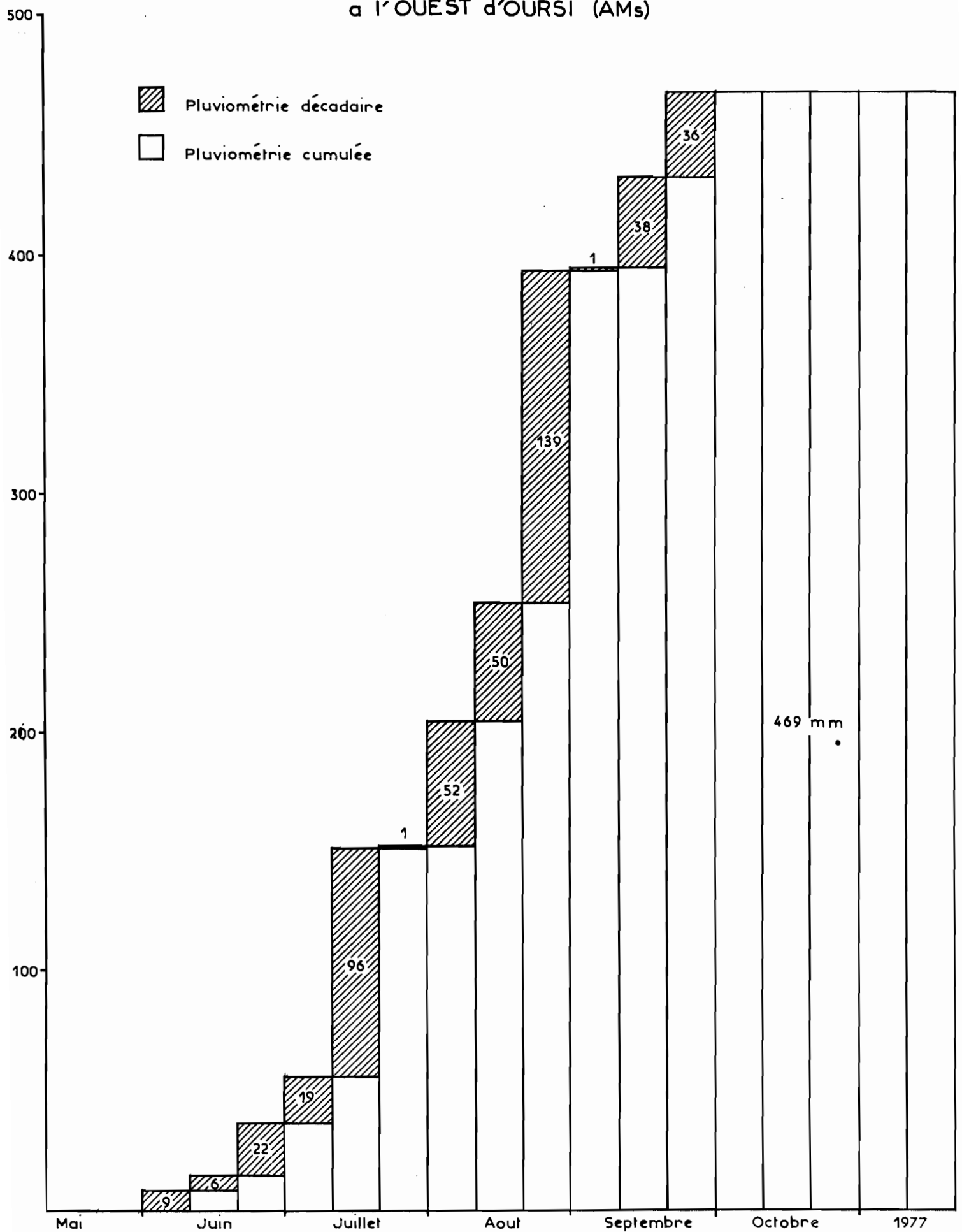


Fig.7B PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DECADAIRE  
DES PRELEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
DU PIEMONT DE KOLEL (Cep)

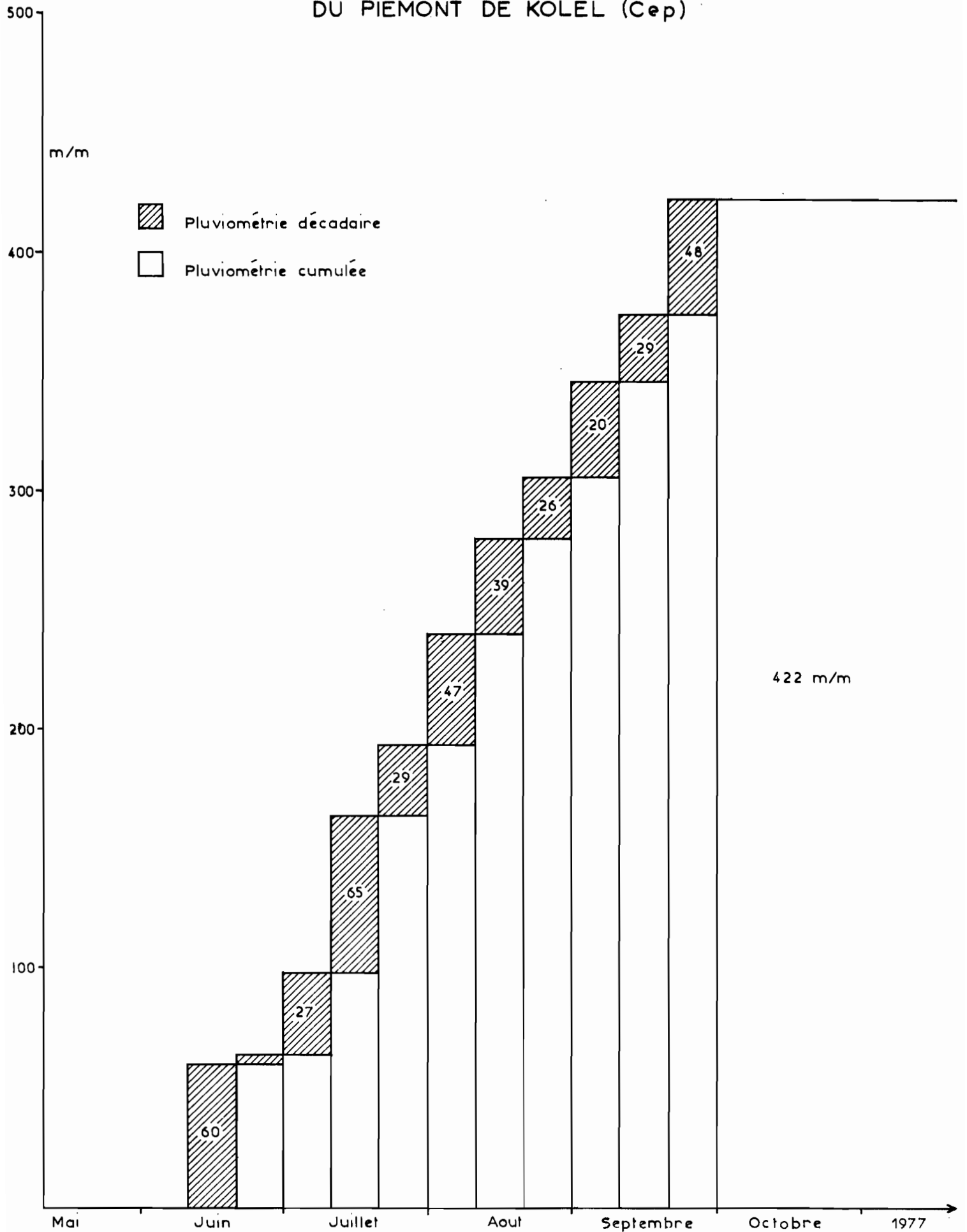


Fig.7C PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DECADAIRE  
 DES PRELEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
 DE KOUNI - KOUNI (Sg1)

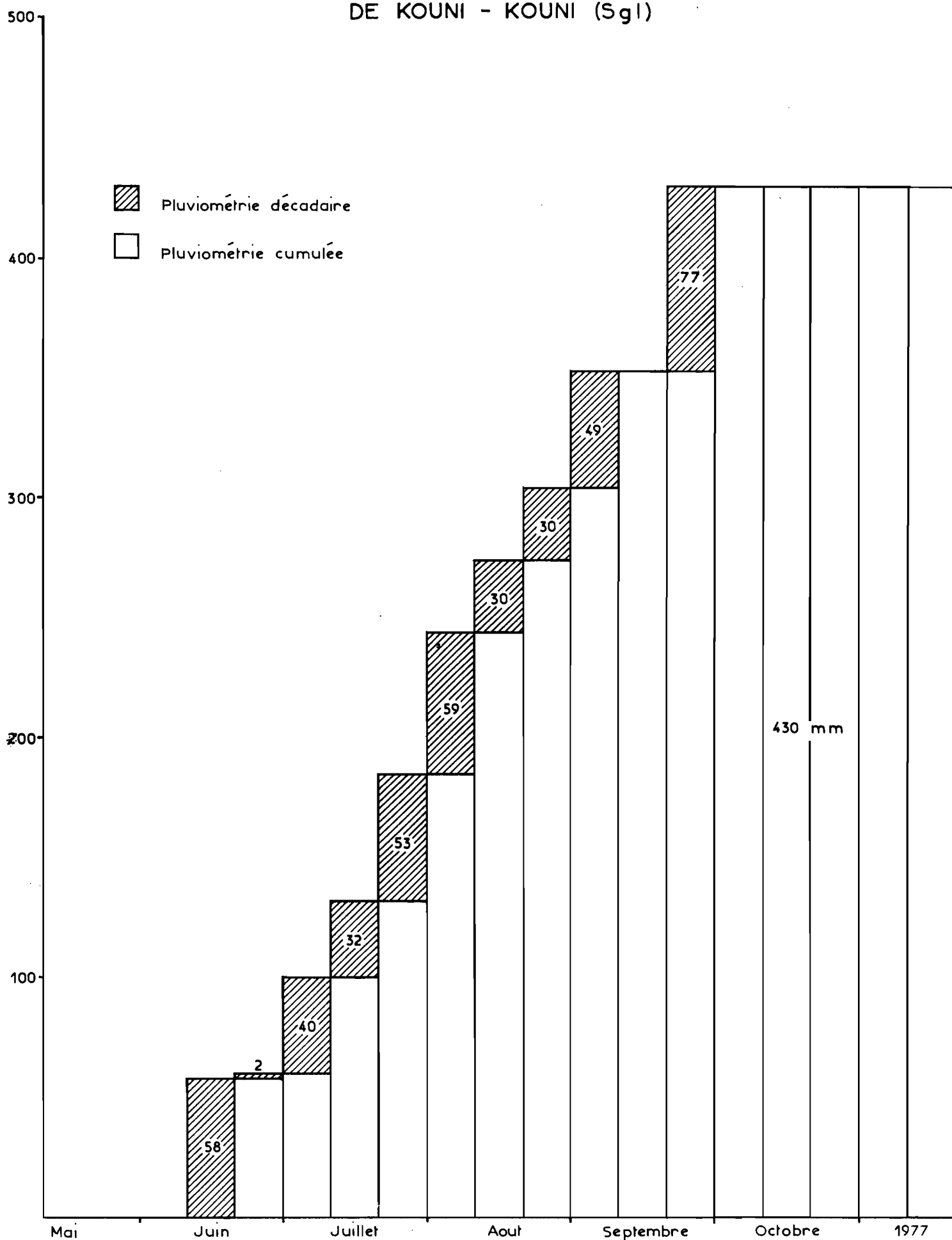


Fig. 7D PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DECADAIRE  
 DES PRELEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
 DU GLACIS DE KOLEL (Sgr)

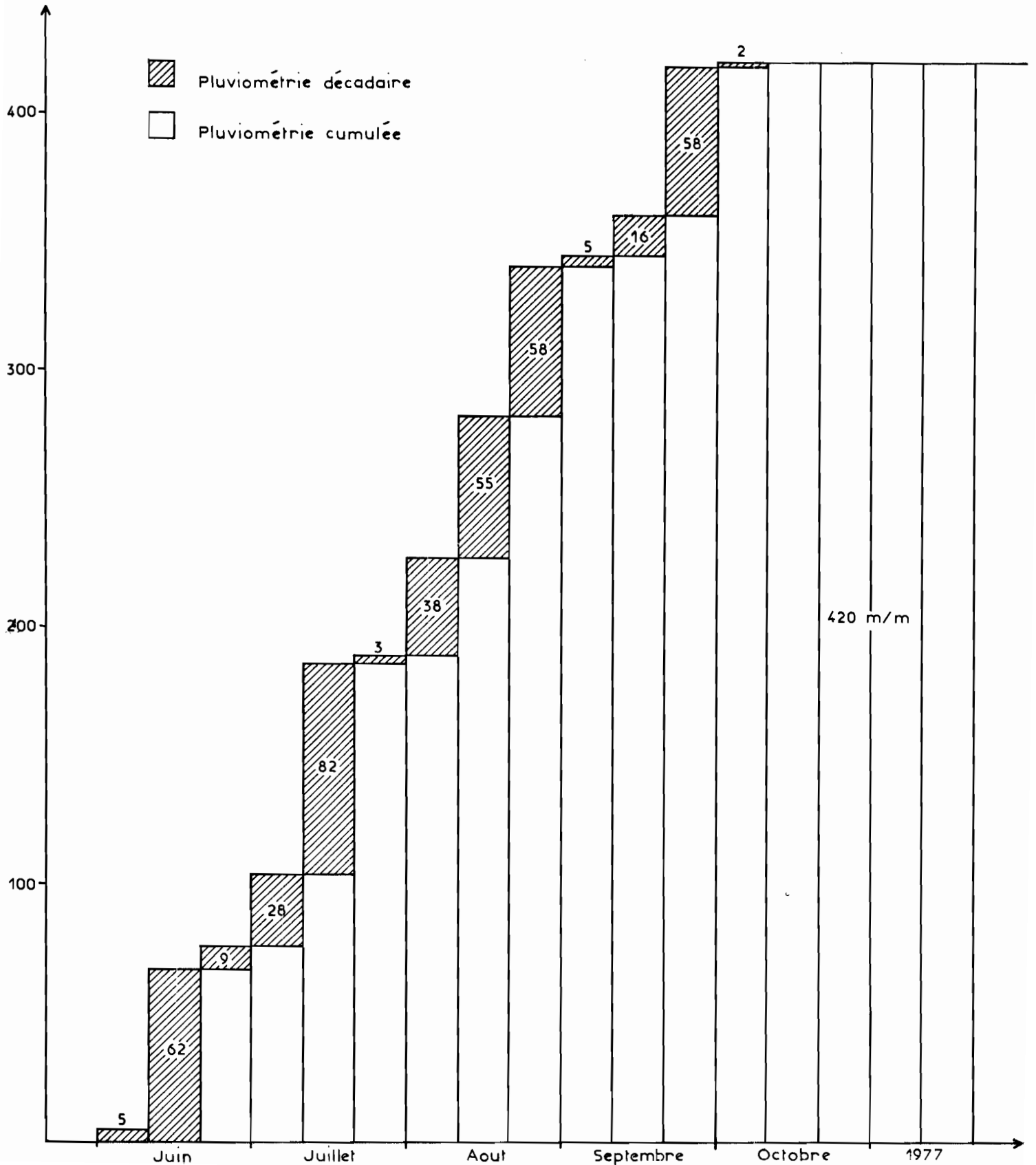


Fig.7E PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DECADAIRE  
 DES PRELEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
 DE WINDE\_TIULUKI (Spt)

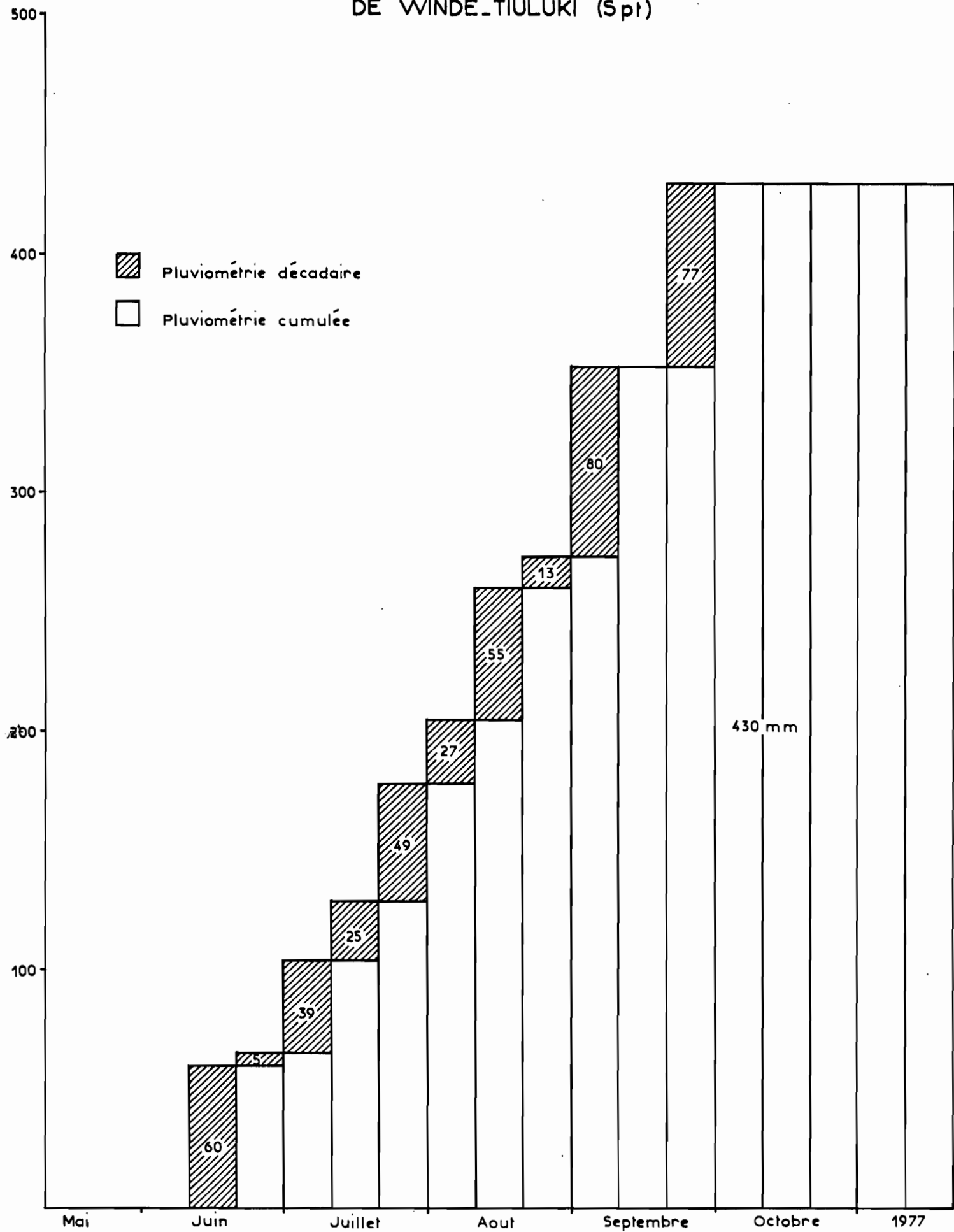


Fig.7F PLUVIOMETRIE RELEVÉE AU RYTHME DÉCADAIRE  
 DES PRÉLEVEMENTS DANS LA PARCELLE  
 DE GOUNTOURE (Ase)

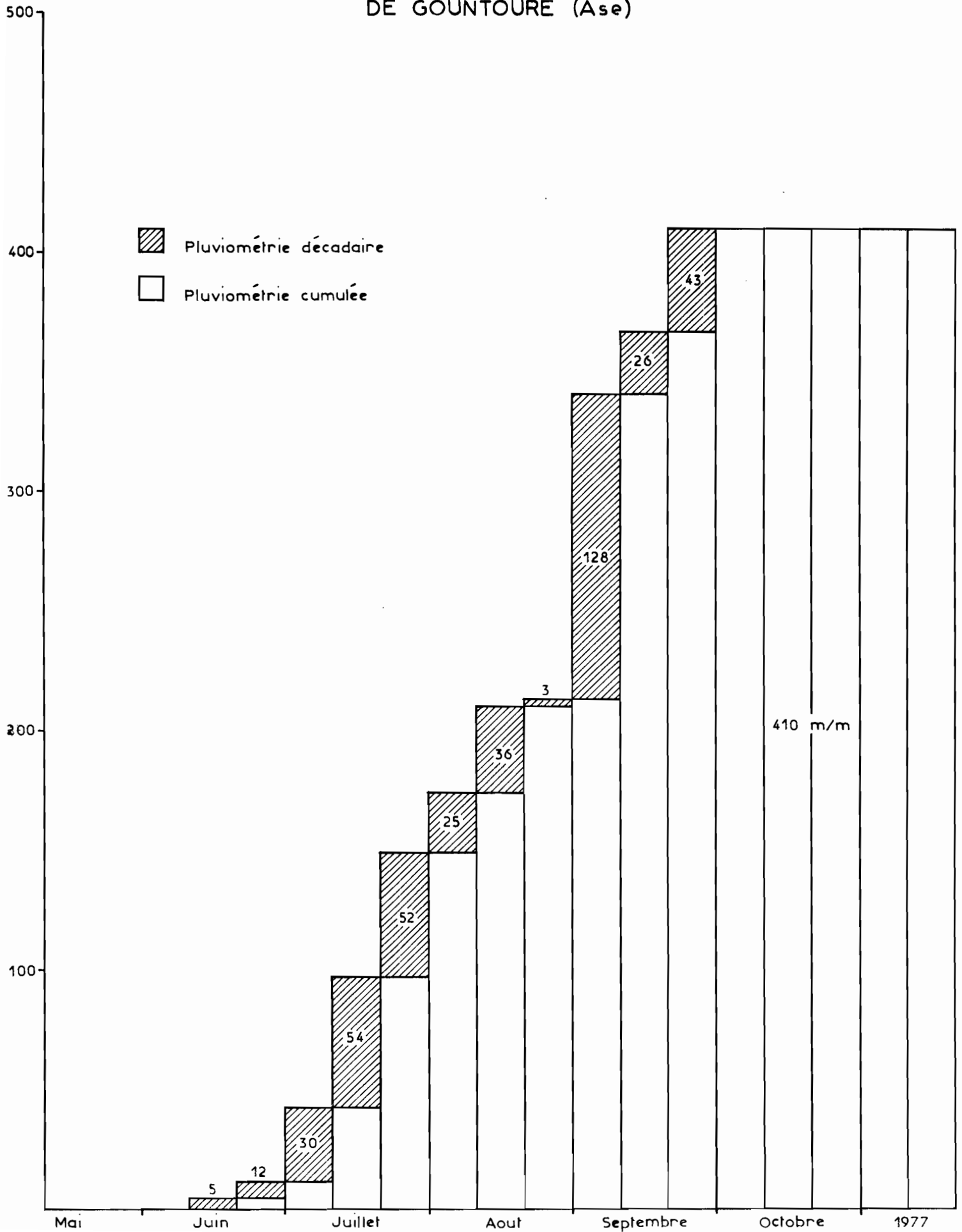


Fig. 8 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE CUMULEE  
DANS LES DIFFERENTES STATIONS

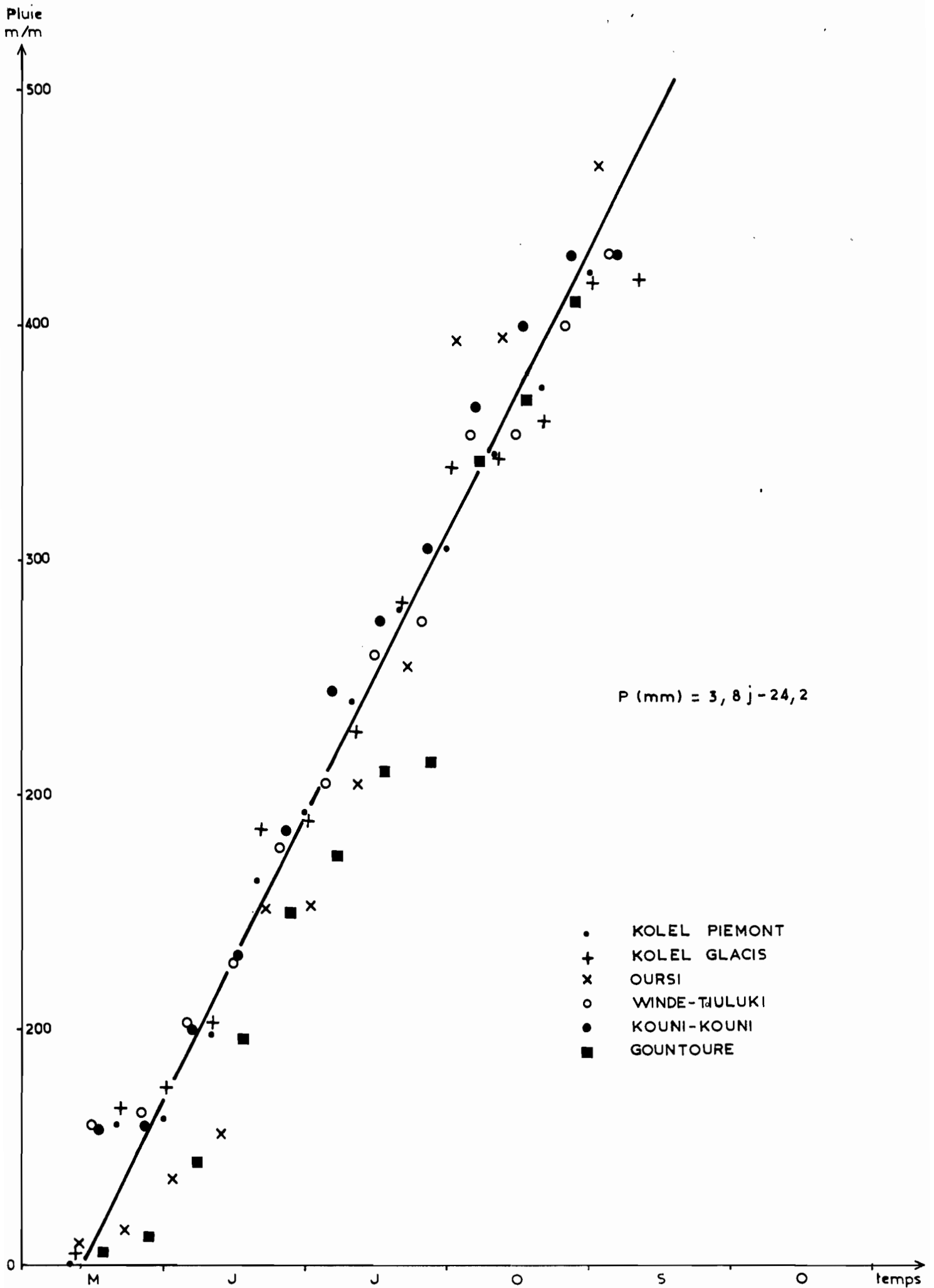


Fig. 9 COMPARAISON DE LA PLUVIOMETRIE MOYENNE DU DISPOSITIF  
A CELLE DE LA STATION DE KOLEL

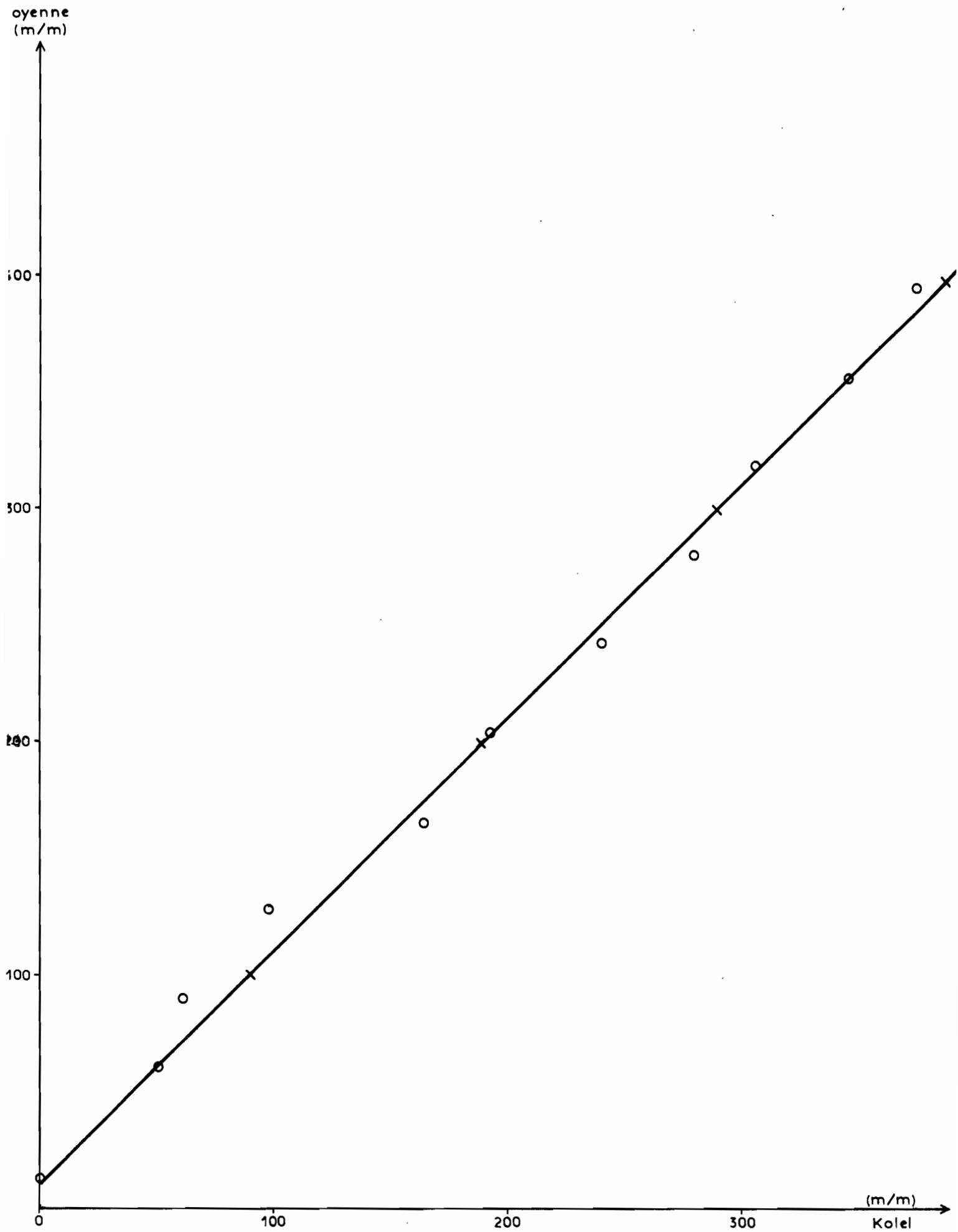




Fig. 10 COMPARAISON DE LA PLUVIOMETRIE à 1m  
ET AU SOL A DJALAFANKA

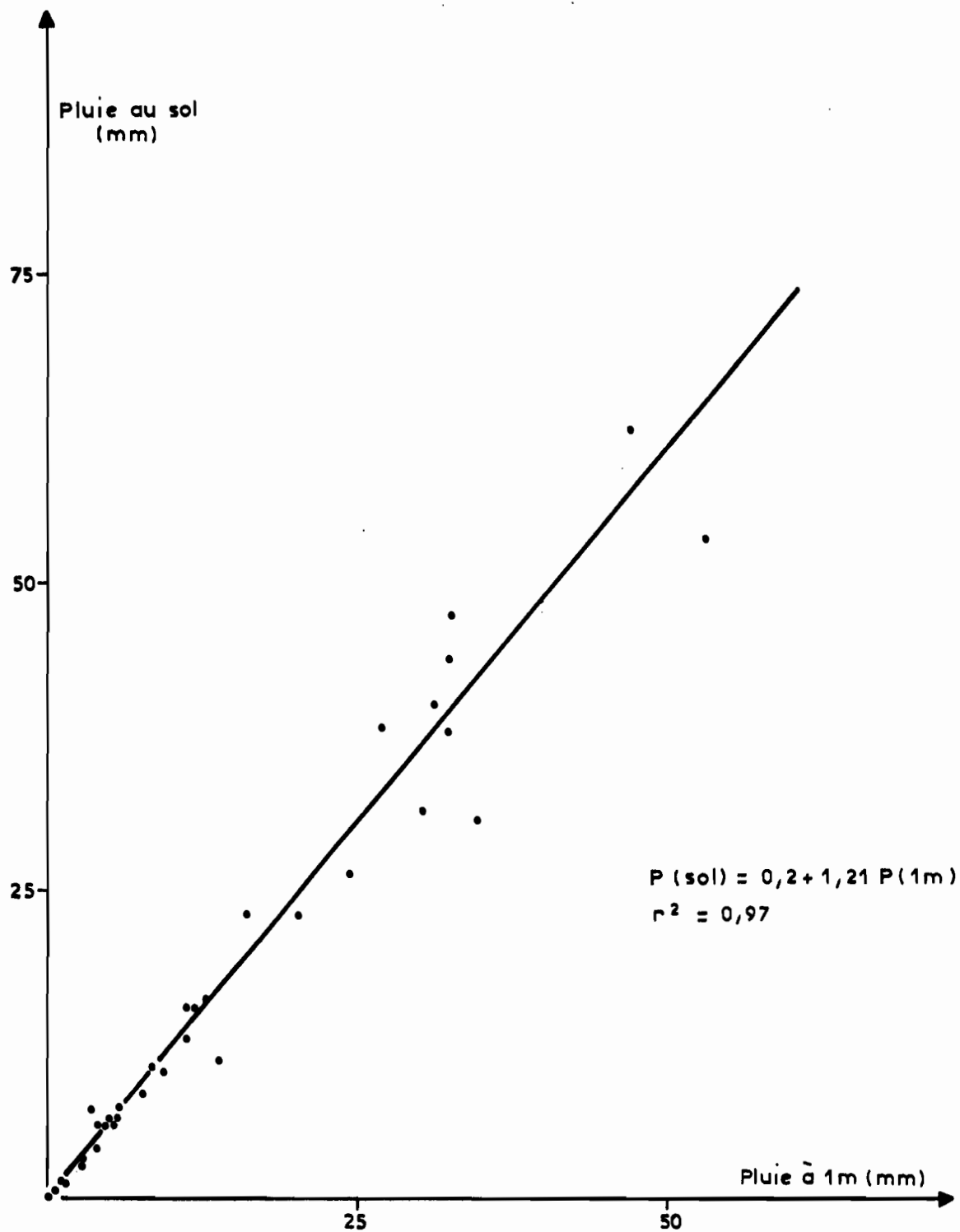


Fig. 11 INTERPOLATION DECADAIRE DES VALEURS MENSUELLES DE L'ETP  
CALCULEE A MARKOYE PAR LA FORMULE DE PENMAN

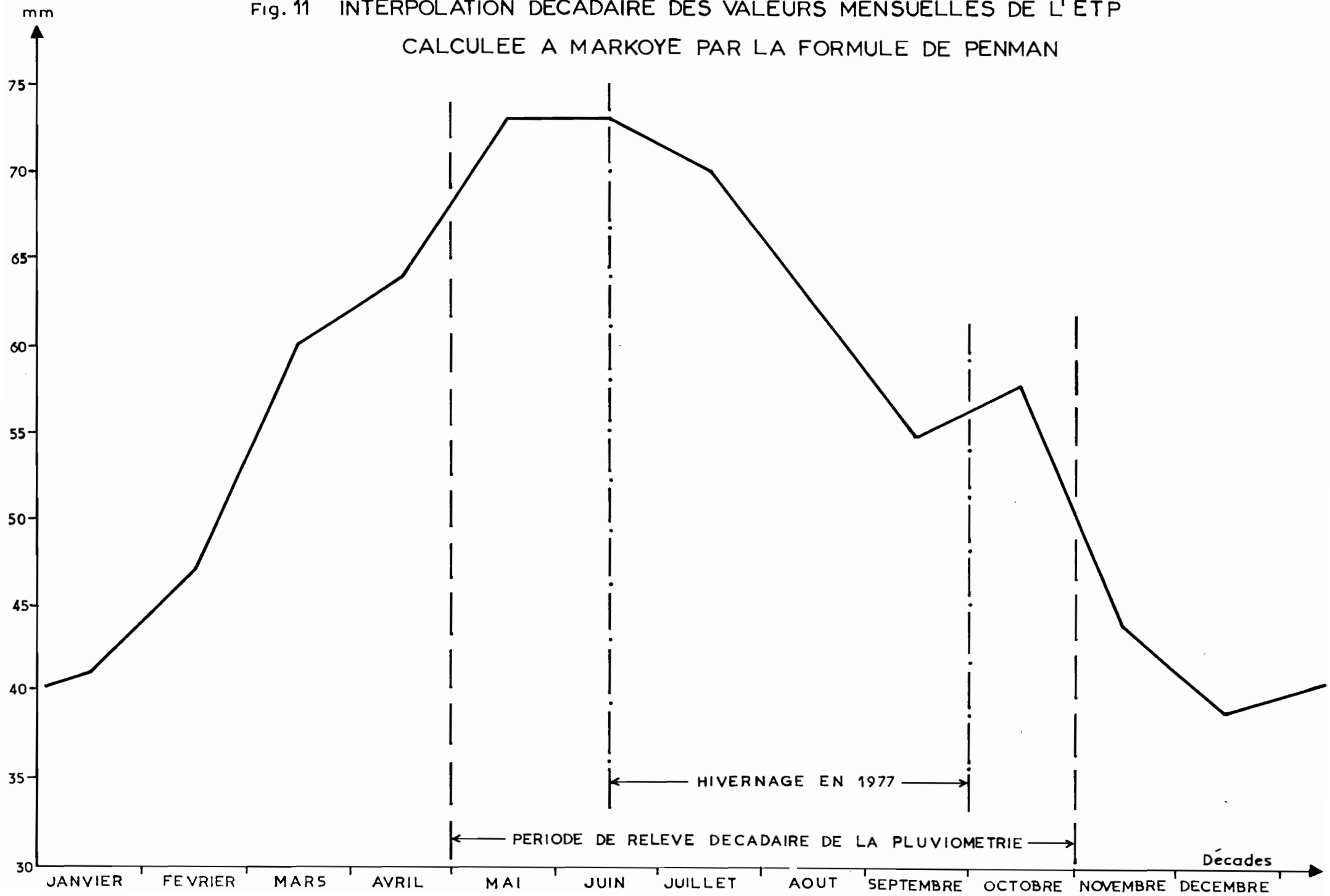


Fig.12A VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN  
 DANS LA PARCELLE DUNAIRE à L'OUEST, D'OURSIS (AMs)

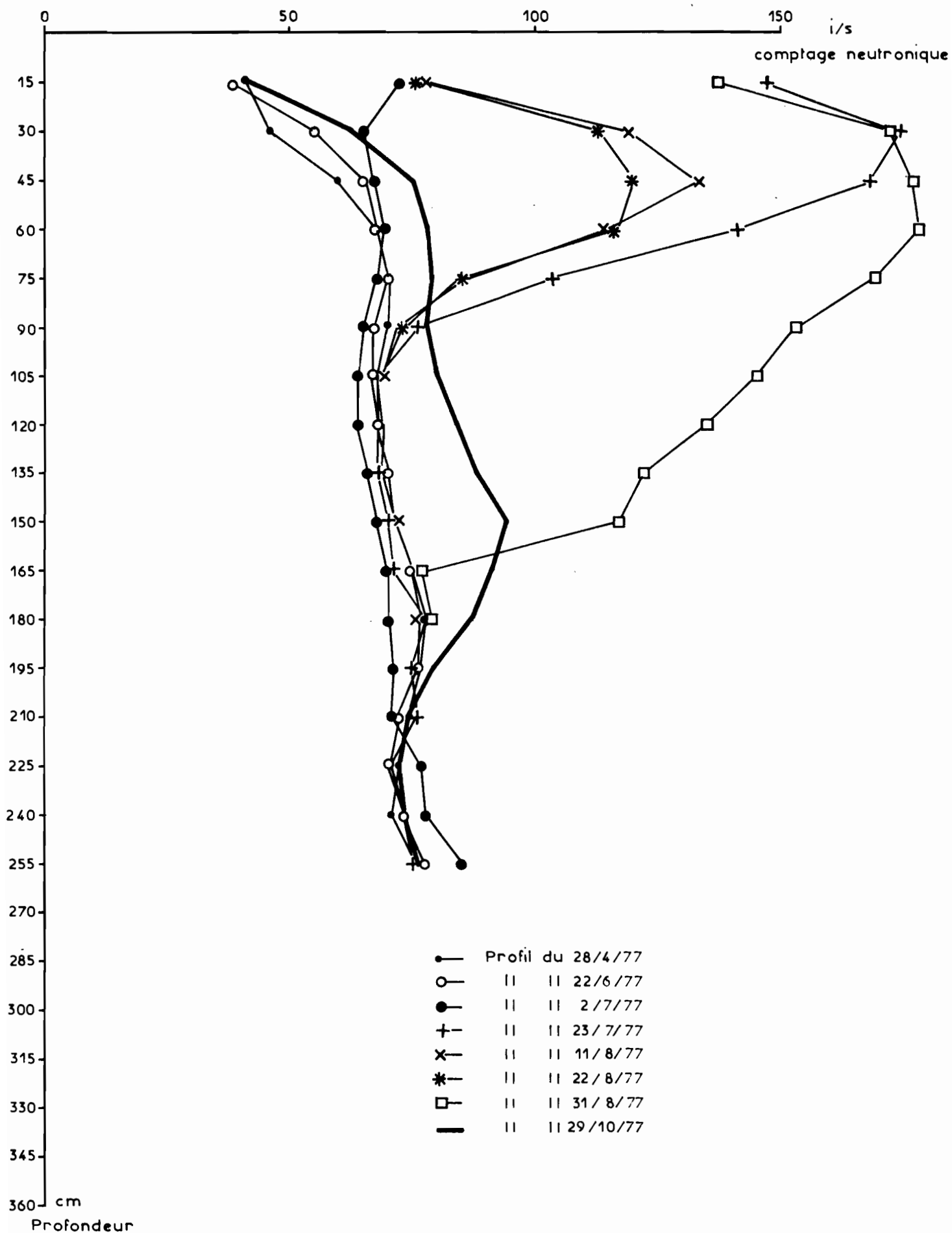


Fig. 12B EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 0  
DE LA STATION PRINCIPALE DE LA DUNE D'OURSIS (AMs)

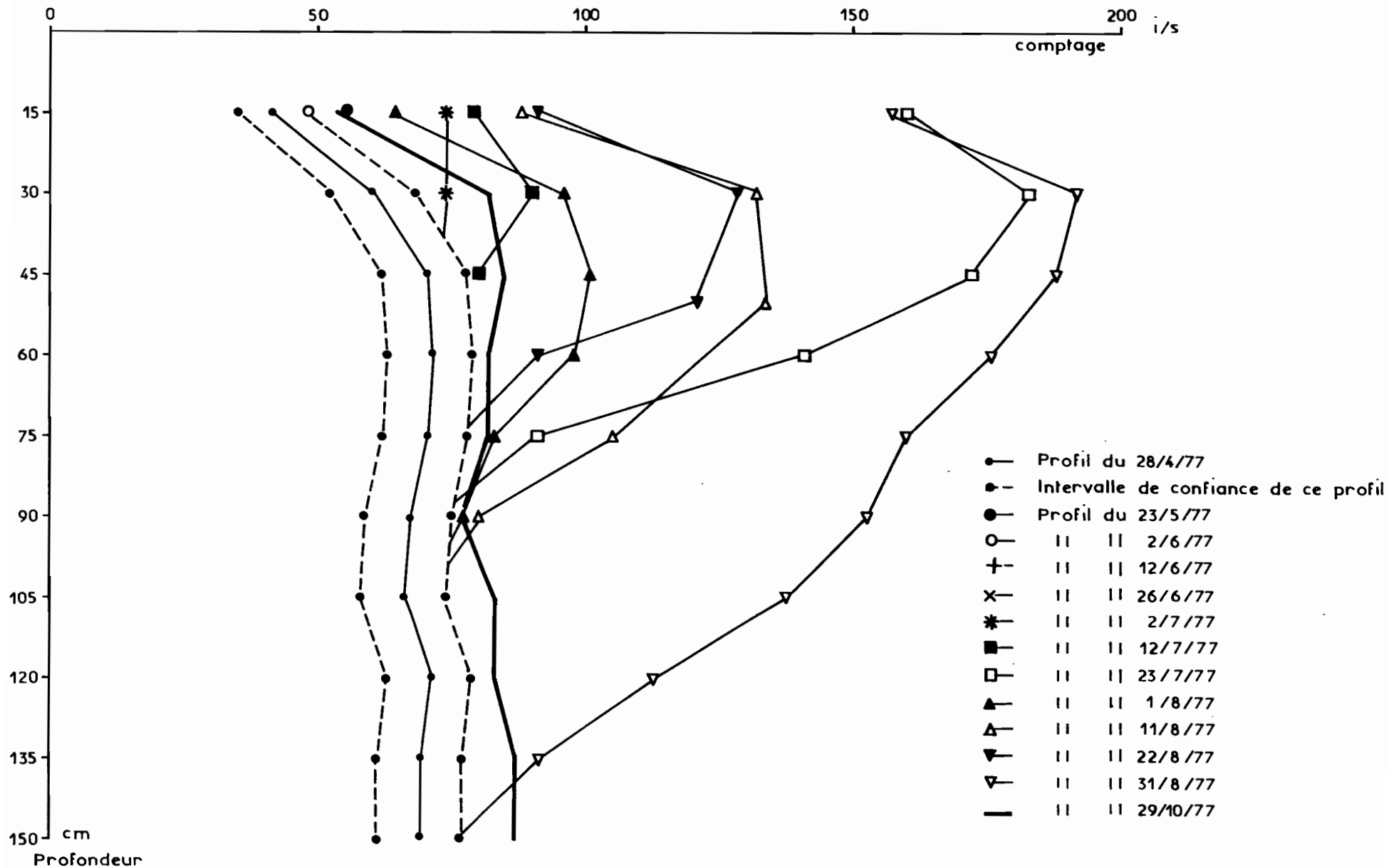


Fig.12C EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 1  
DE LA STATION PRINCIPALE DE LA DUNE D'OURSIS (AMs)

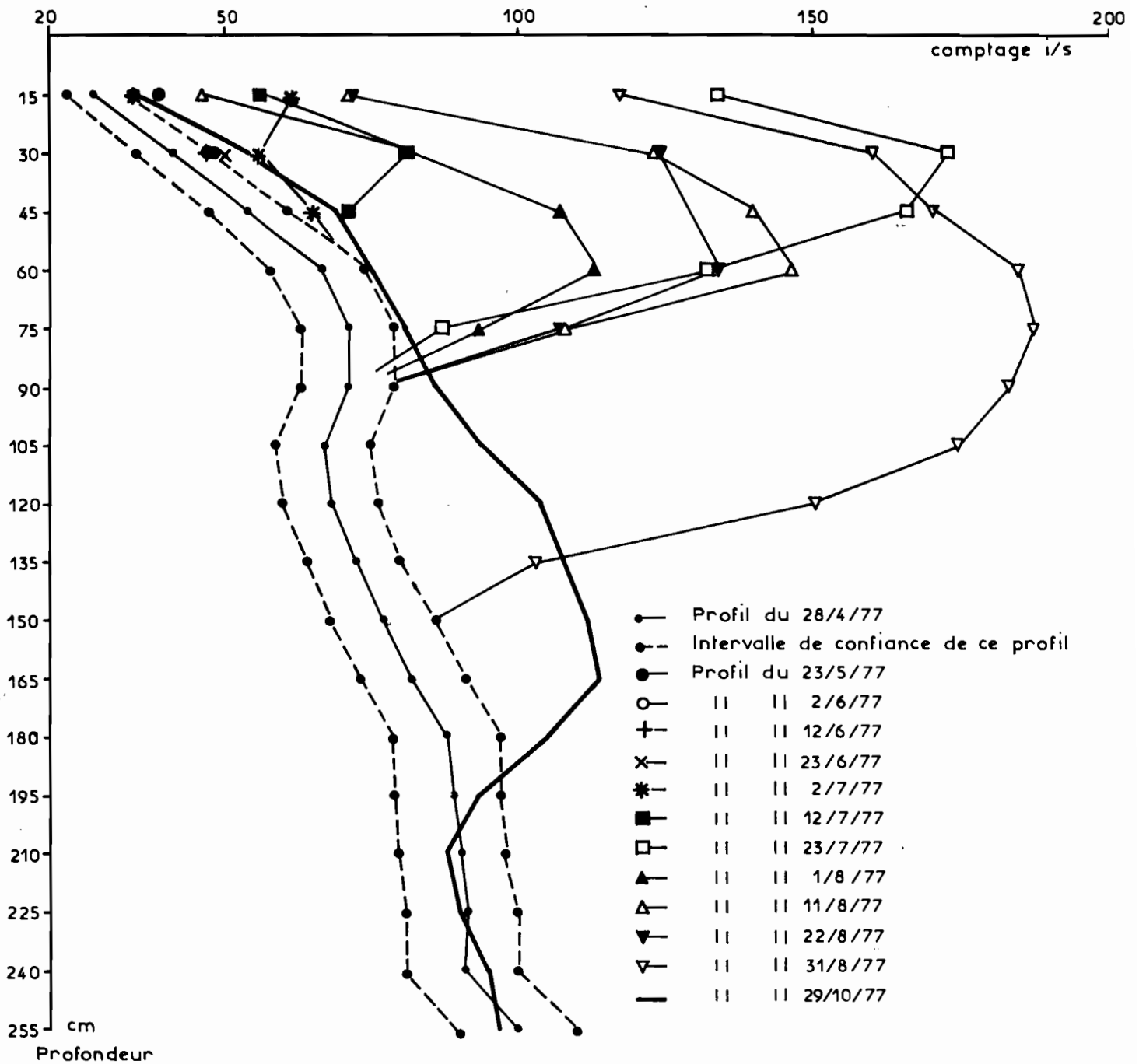


Fig . 12D EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 2  
DE LA STATION PRINCIPALE DE LA DUNE D'OURSIS (AMs)

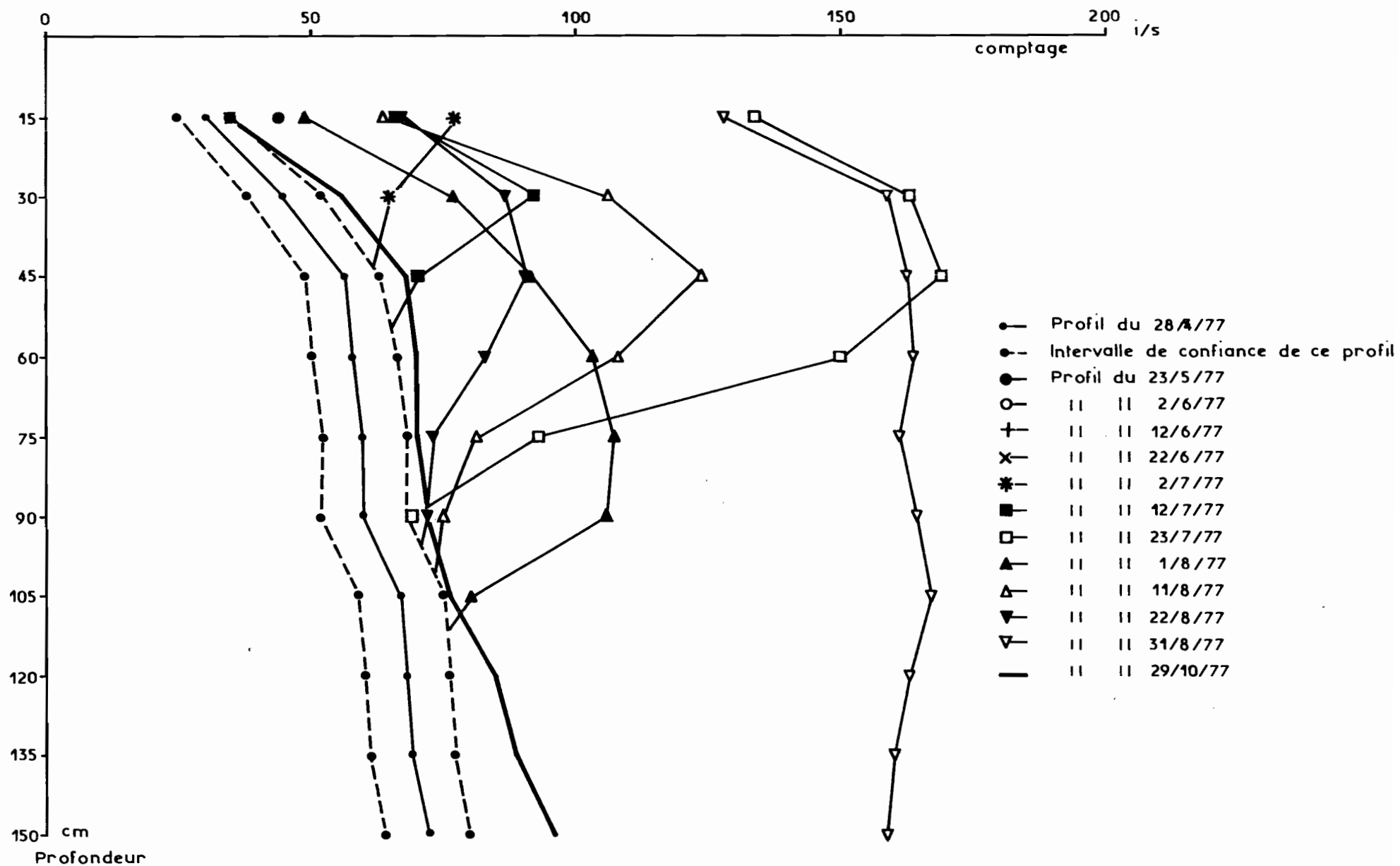


Fig. 12E EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 3  
DE LA STATION PRINCIPALE DE LA DUNE D'OURSIS (AMs)

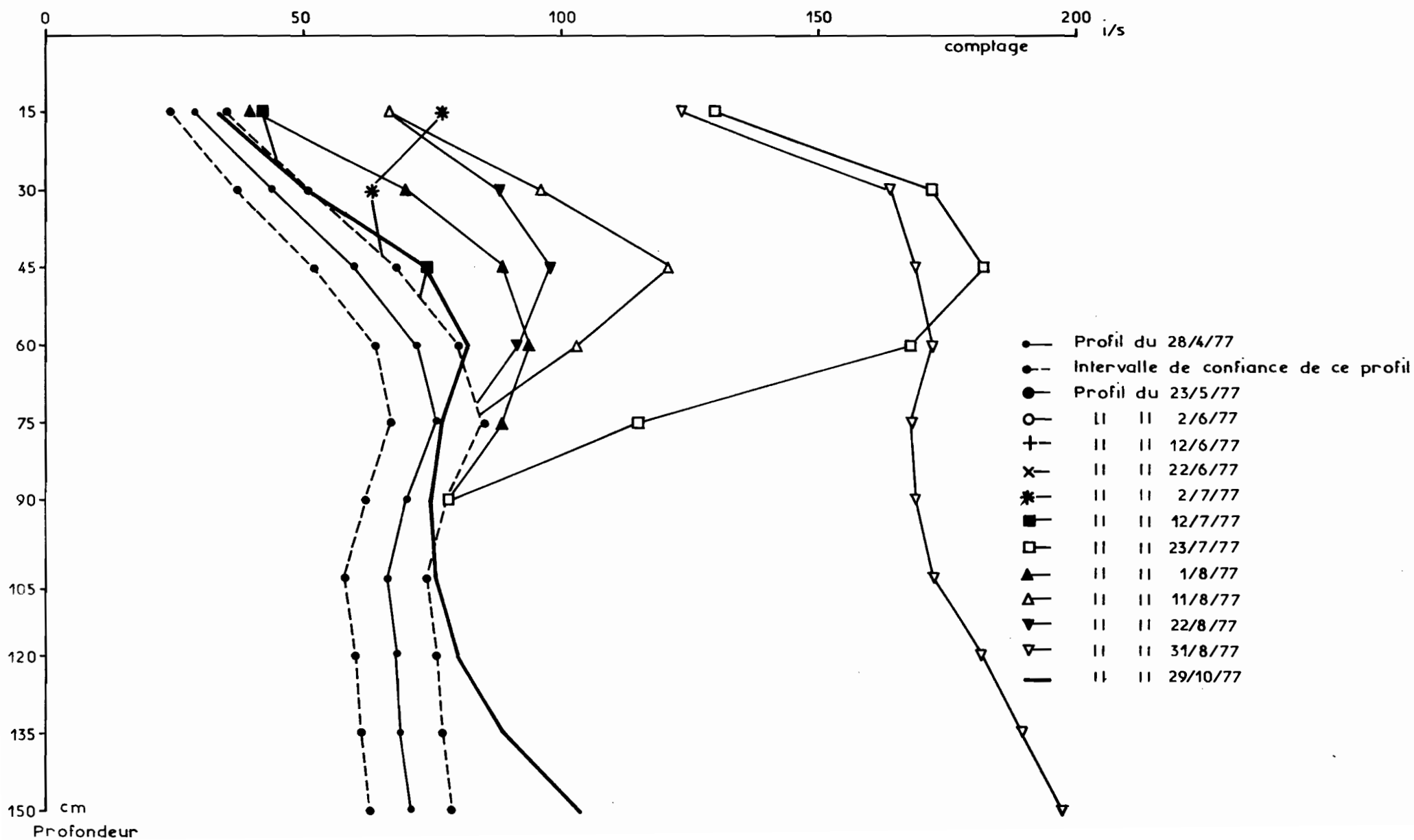


Fig.12F EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 4  
DE LA STATION PRINCIPALE DE LA DUNE D'OURSIS (AMs)

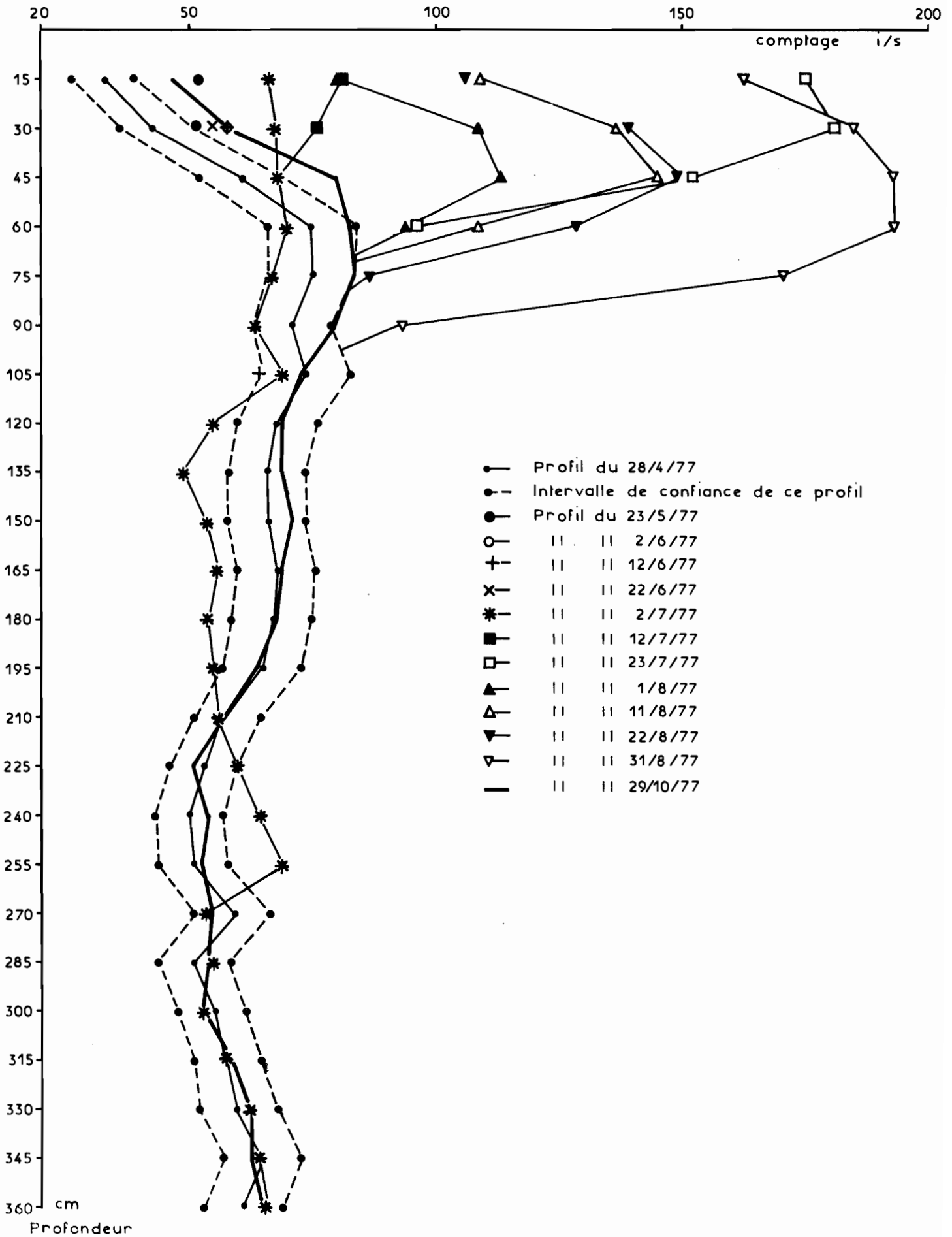




Fig.13 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LA PARCELLE DUNAIRE A L'EST D'OURSI (Cdc)

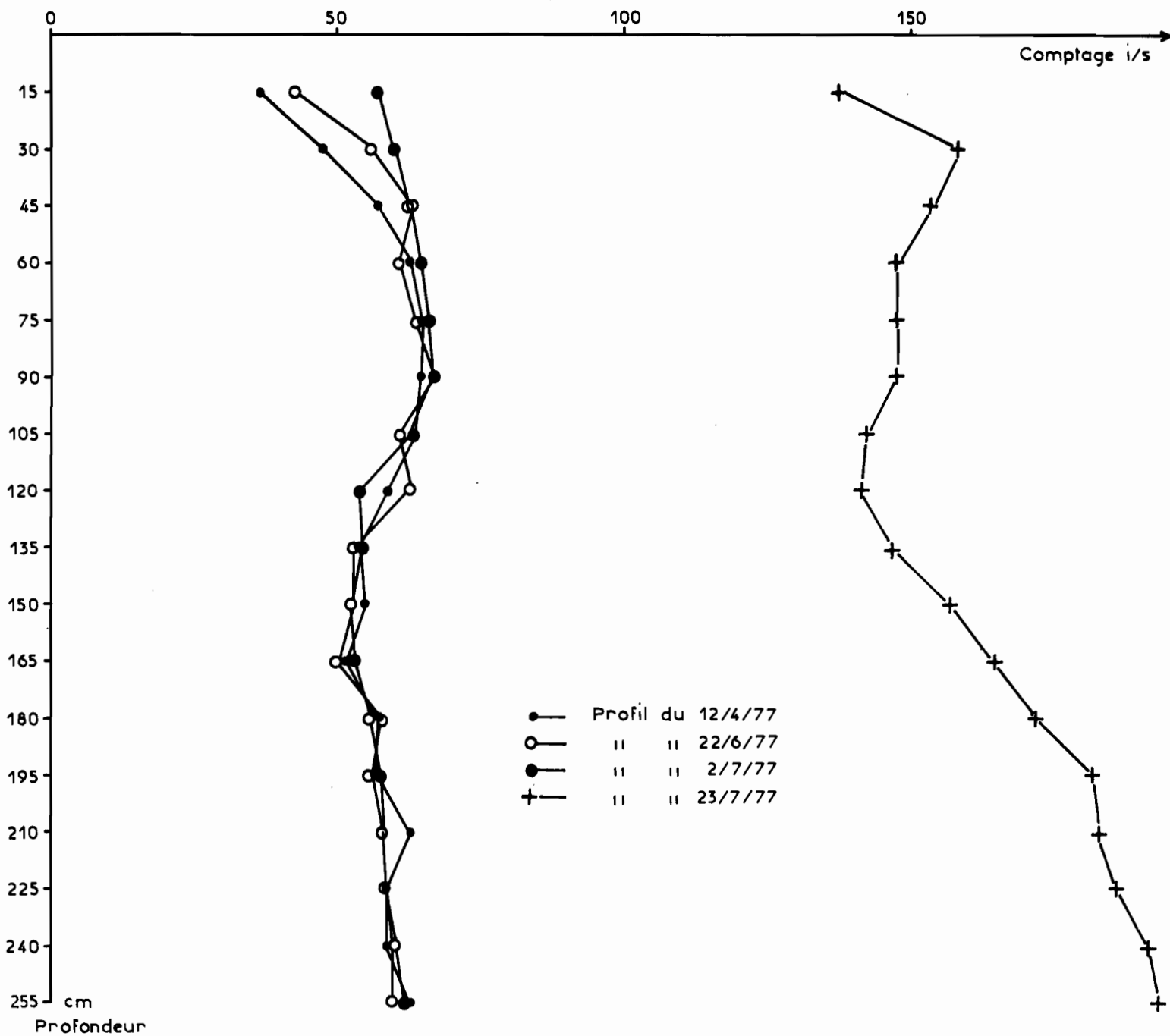


Fig.14A VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN

DANS LE PIEMONT DE KOEL (Cep)

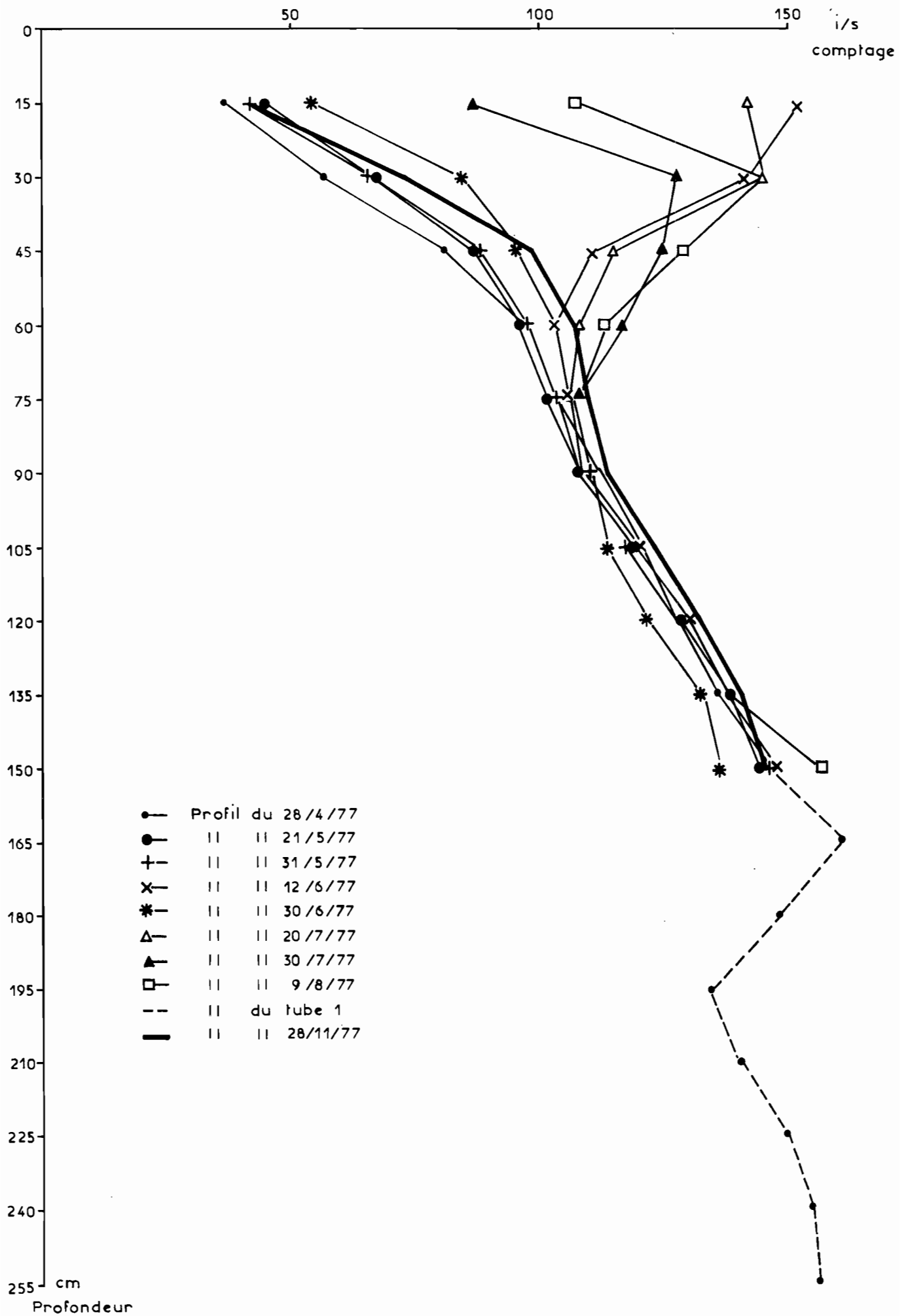


Fig.14B KOEL PIEMONT  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 0

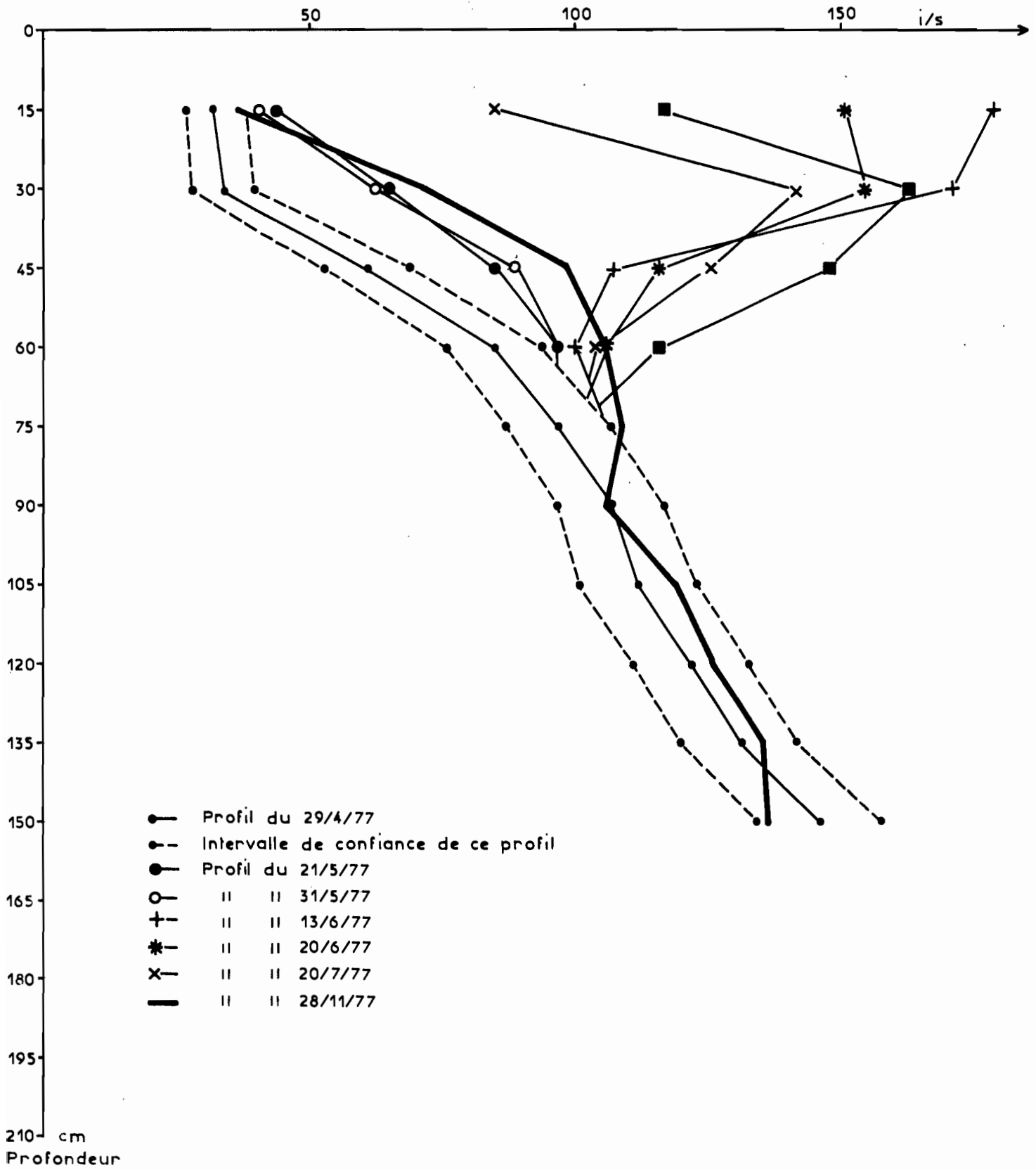


Fig. 14C KOEL PIEMONT  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 1

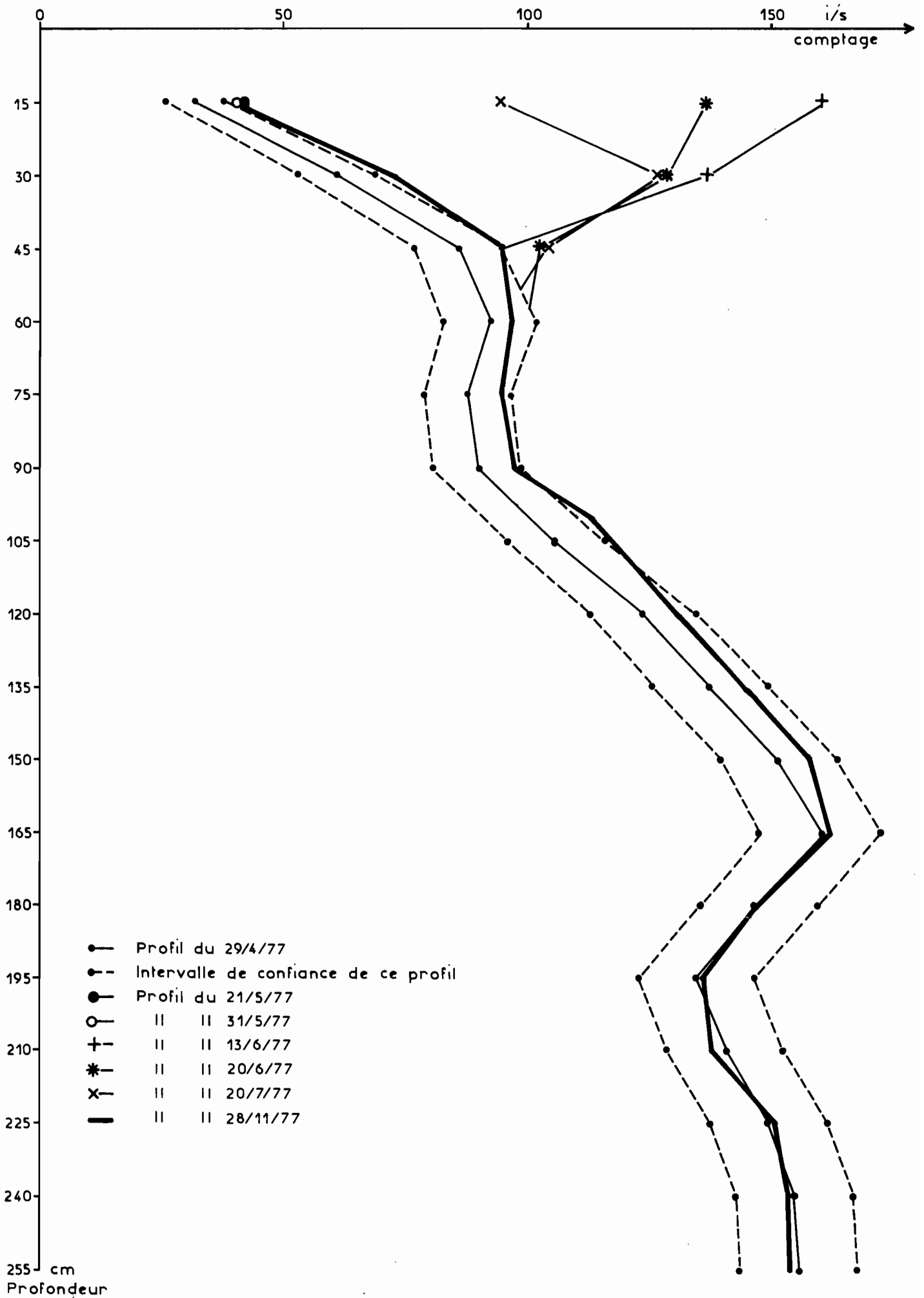


Fig.14D KOEL PIEMONT

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE

AUTOUR DU TUBE 2

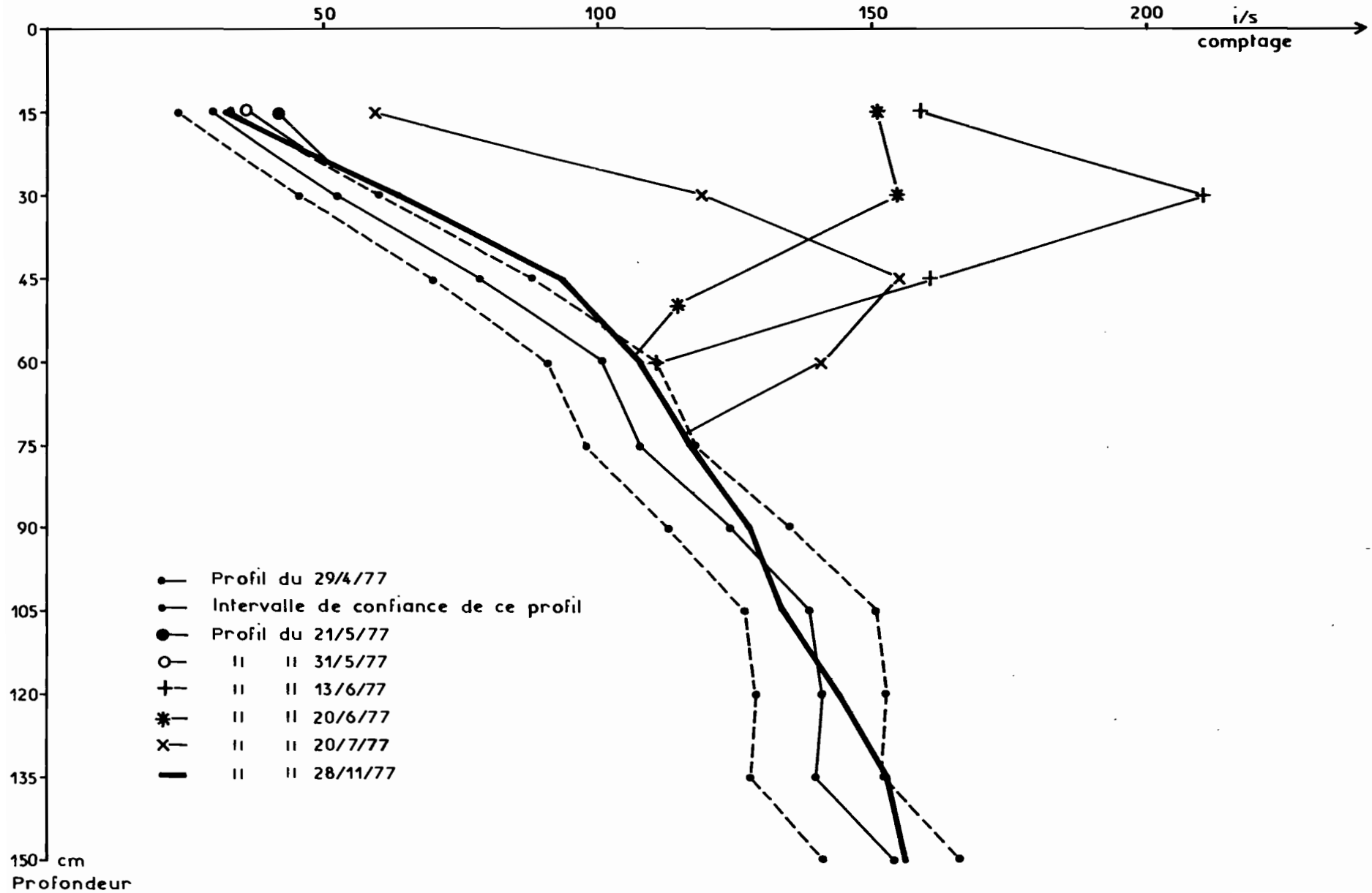


Fig. 14E KOEL PIEMONT  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 3

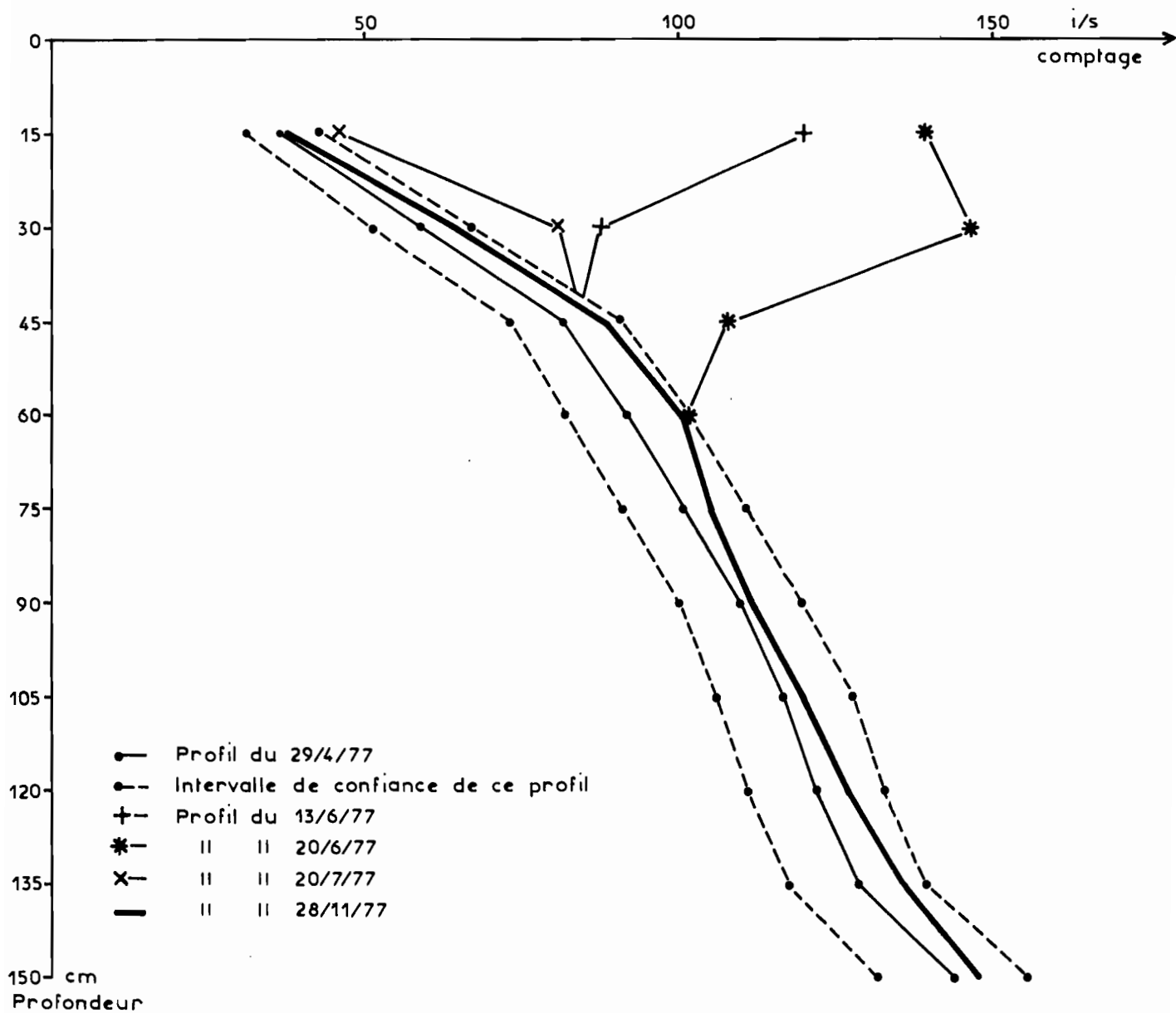


Fig. 14F KOEL PIEMONT  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 4

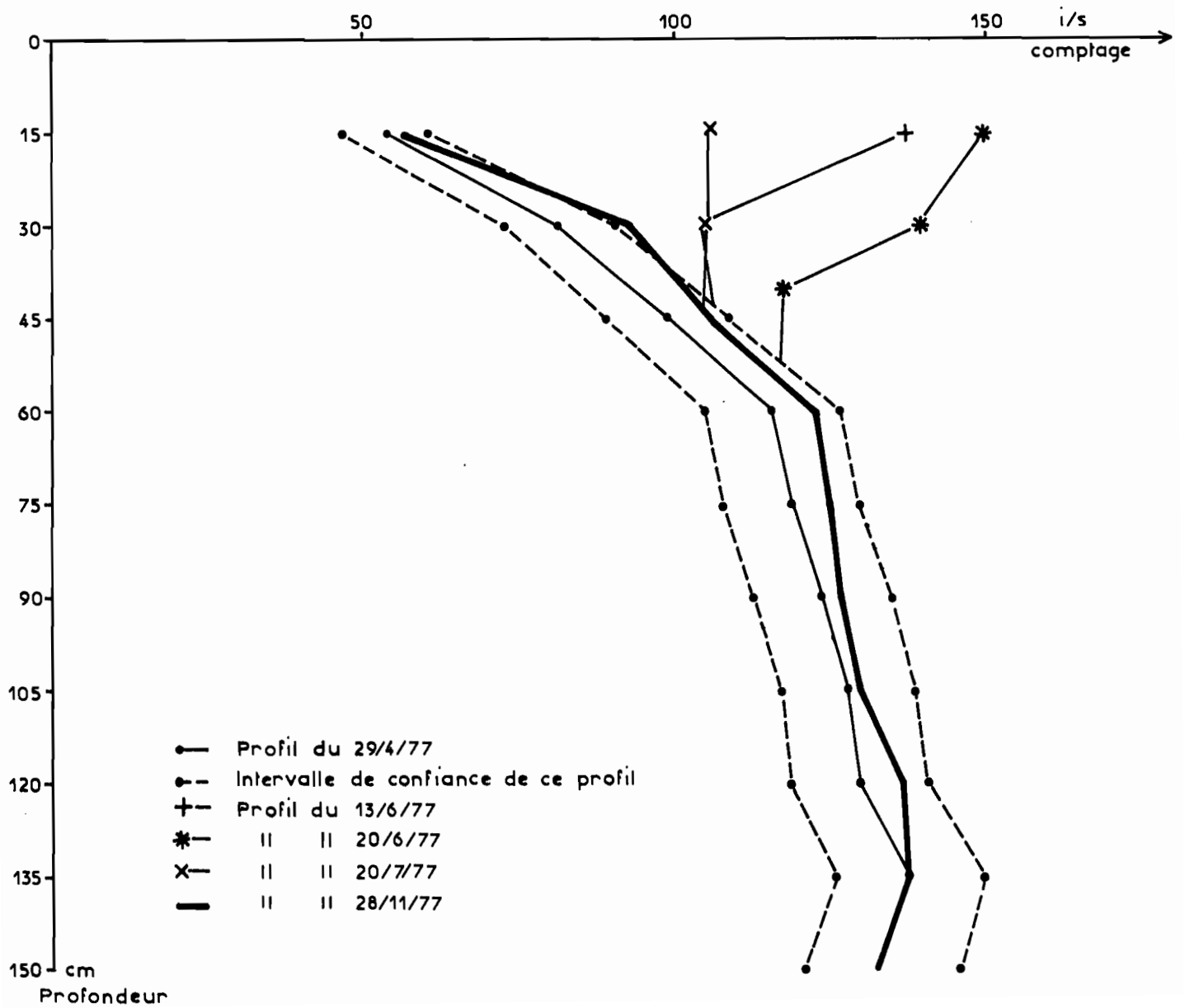






Fig. 16A VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN  
DANS LE GLACIS DE KOUNI-KOUNI (S<sub>g</sub>I)

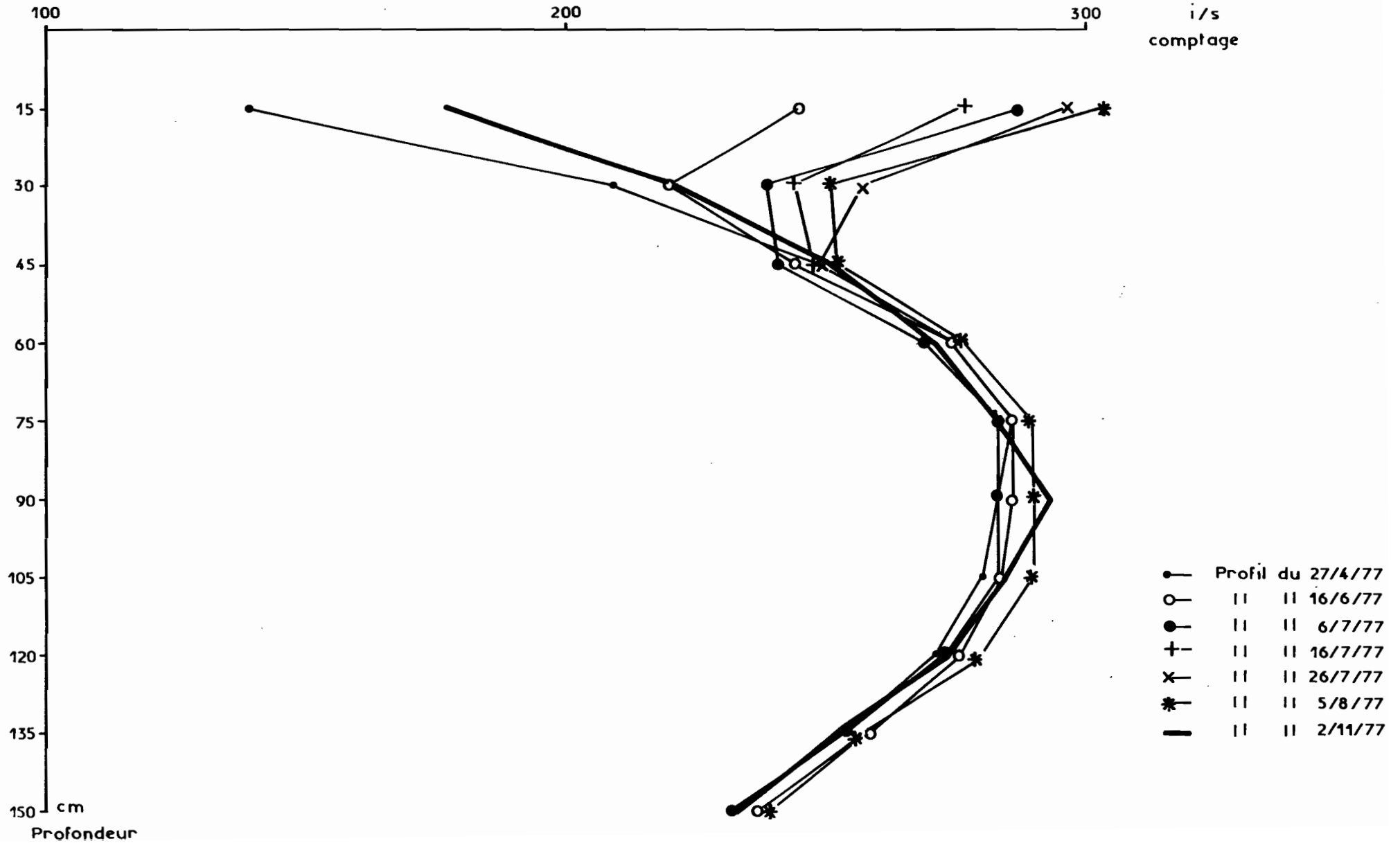


Fig. 16B PARCELLE DE KOUNI KOUNI

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 0

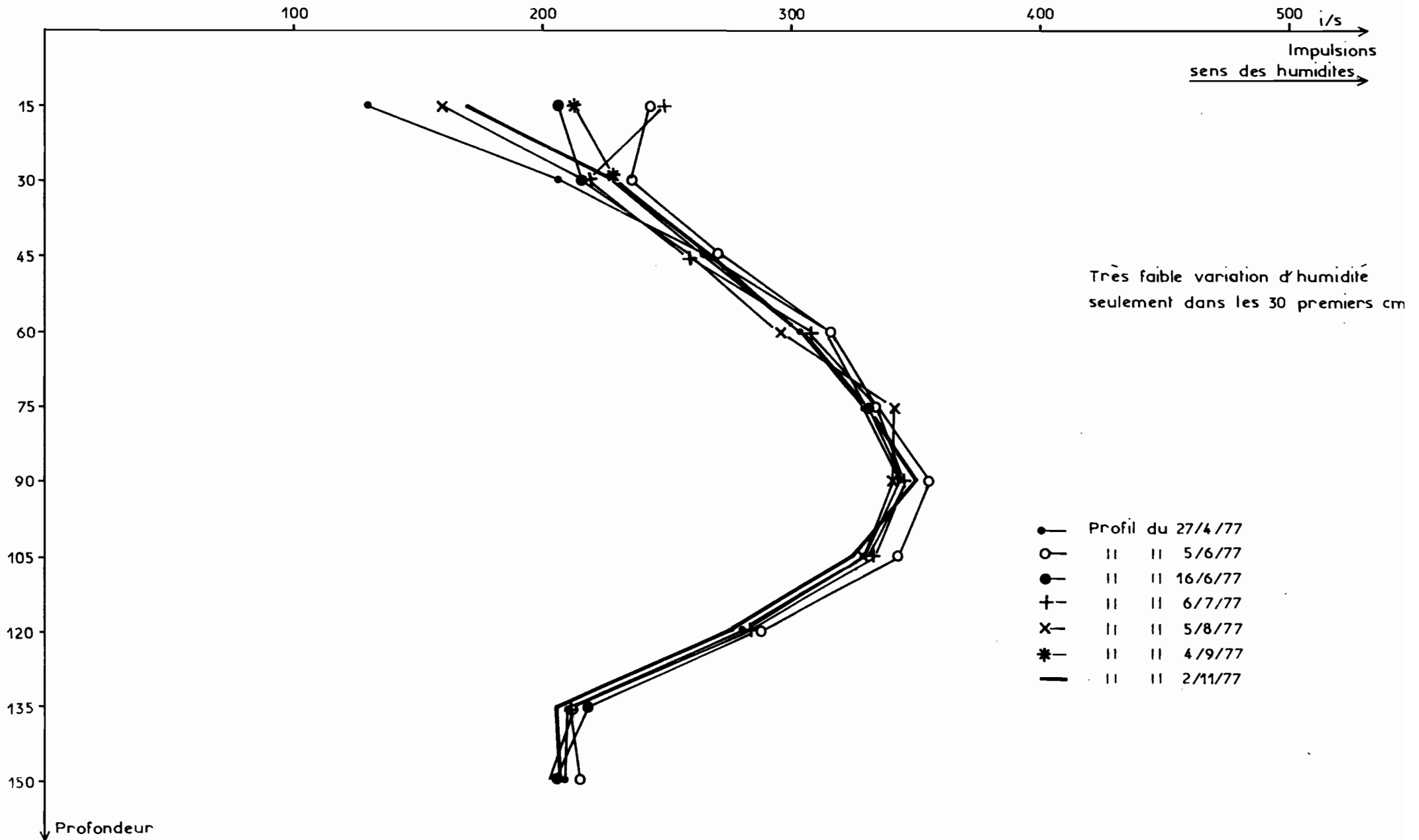


Fig. 16C PARCELLE DE KOUNI-KOUNI

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 1

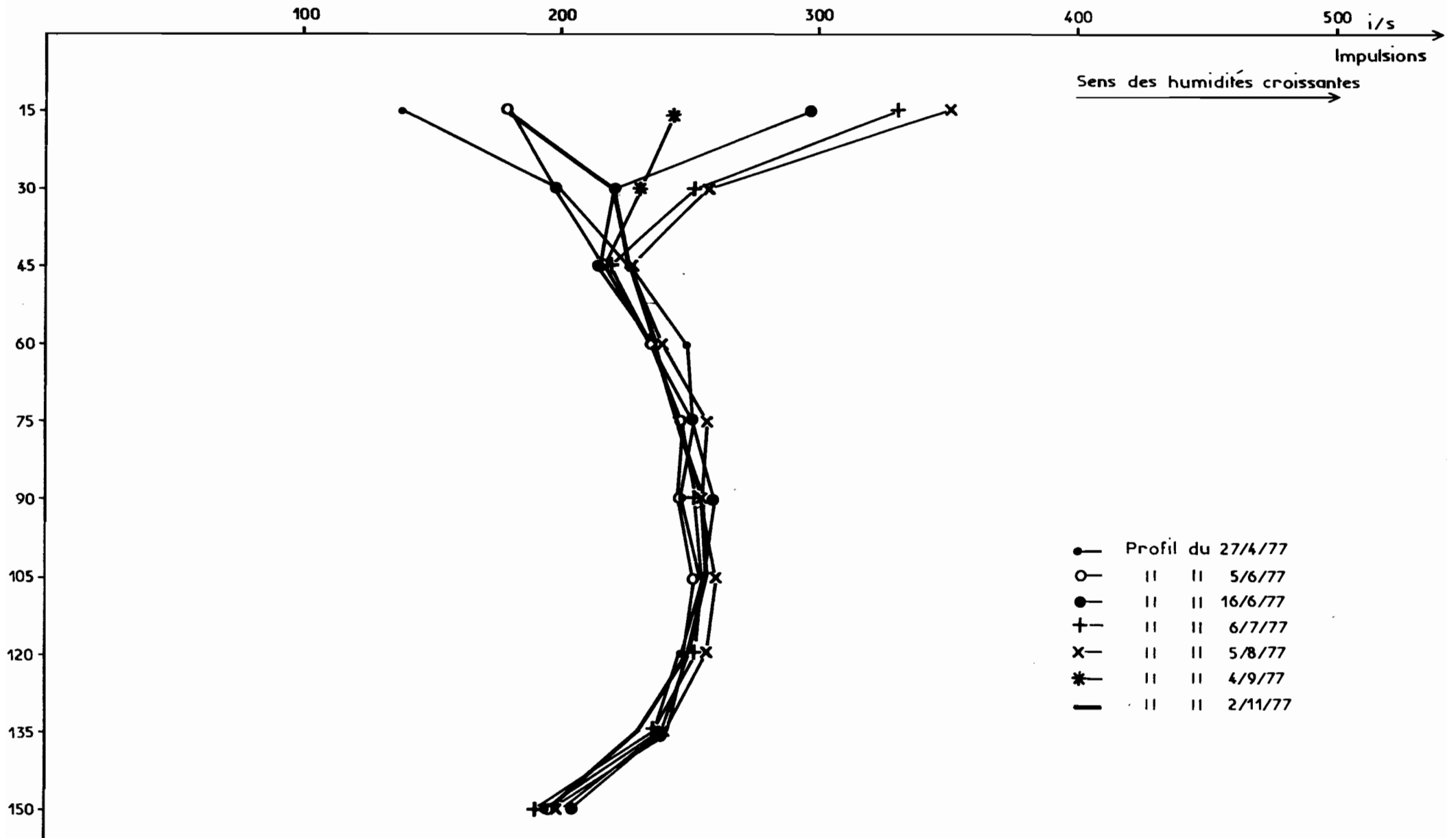


Fig. 16D PARCELLE DE KOUNI-KOUNI

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 2

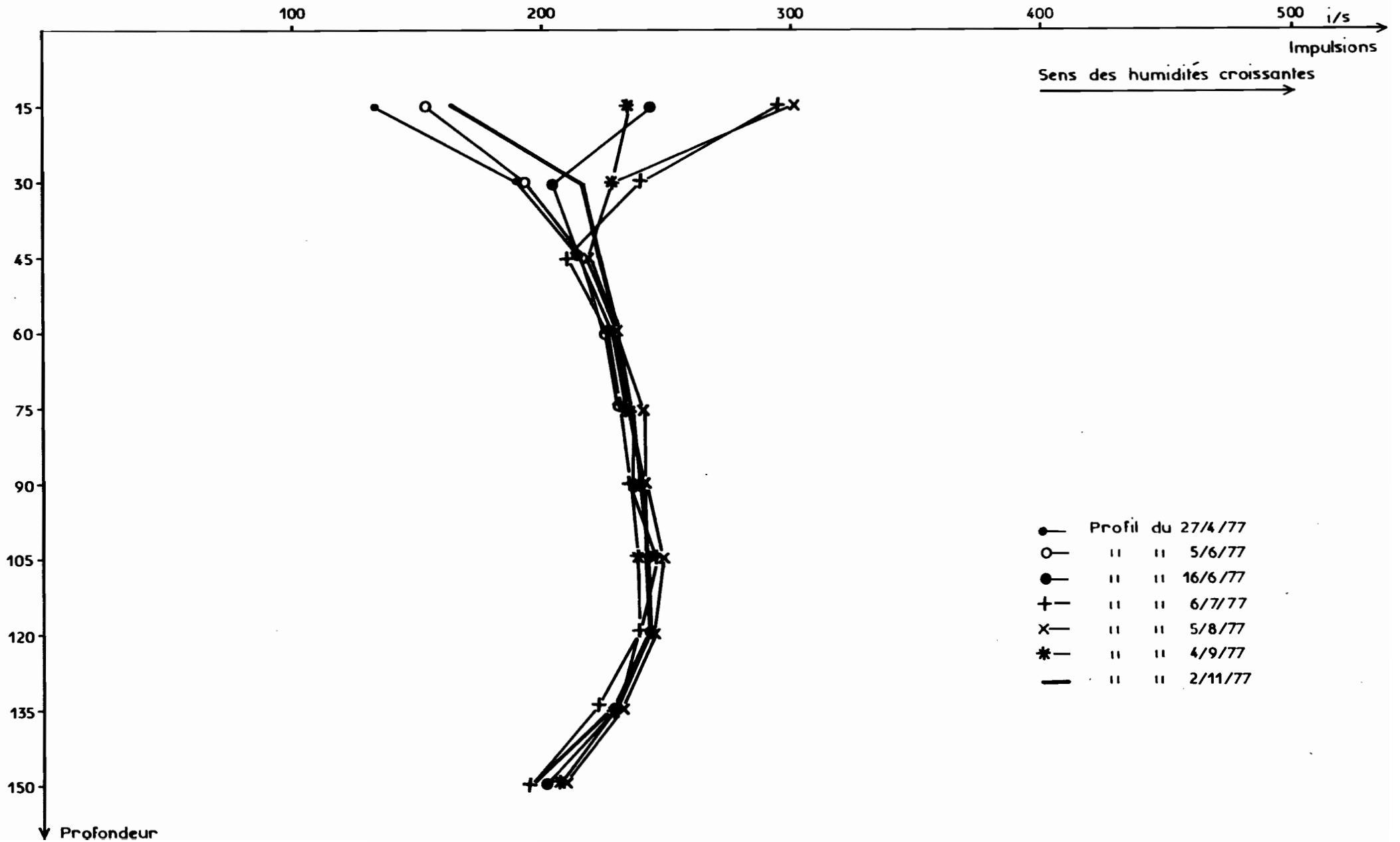


Fig. 16E PARCELLE DE KOUNI-KOUNI

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 3

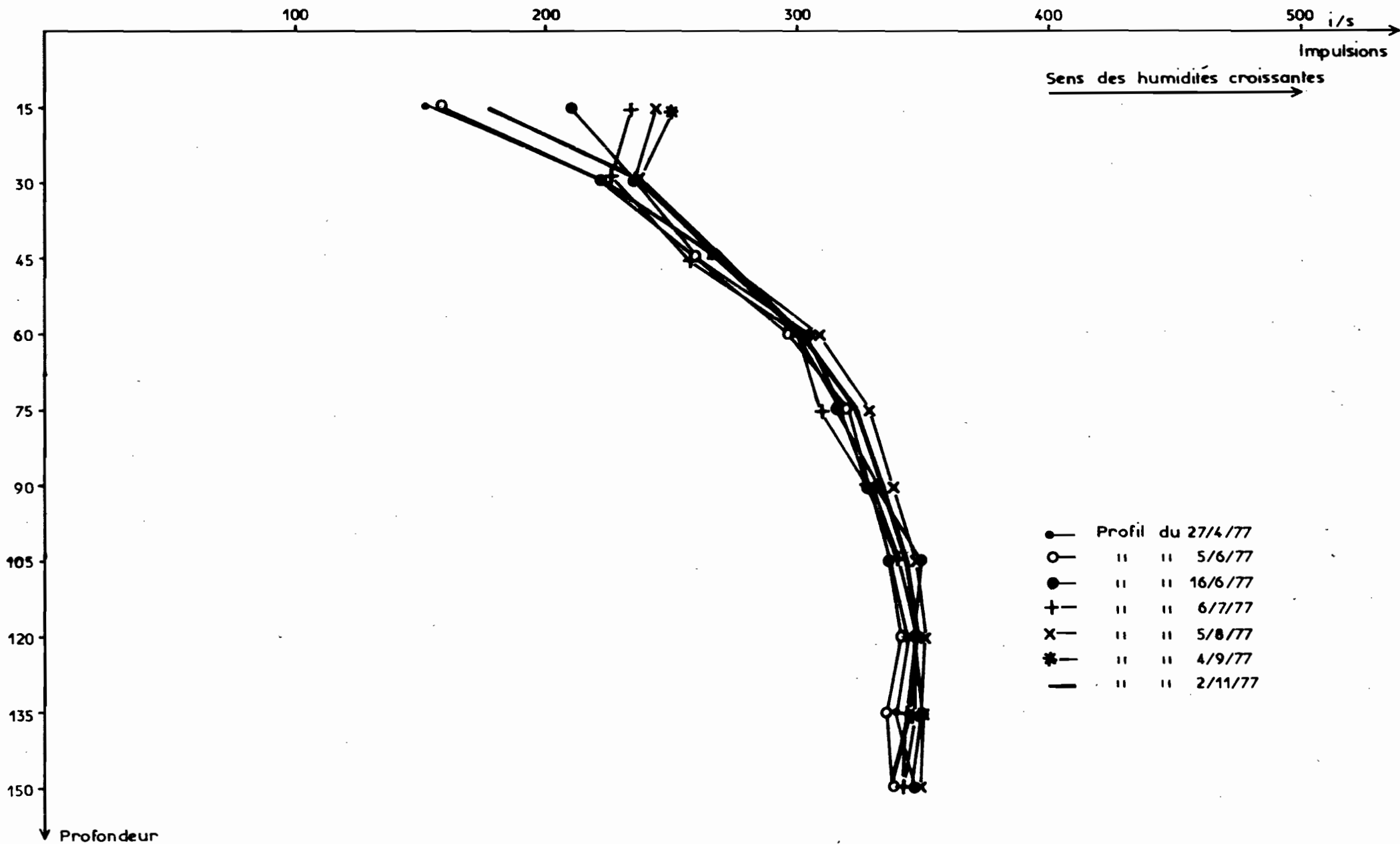


Fig. 16F PARCELLE DE KOUNI-KOUNI

VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 4

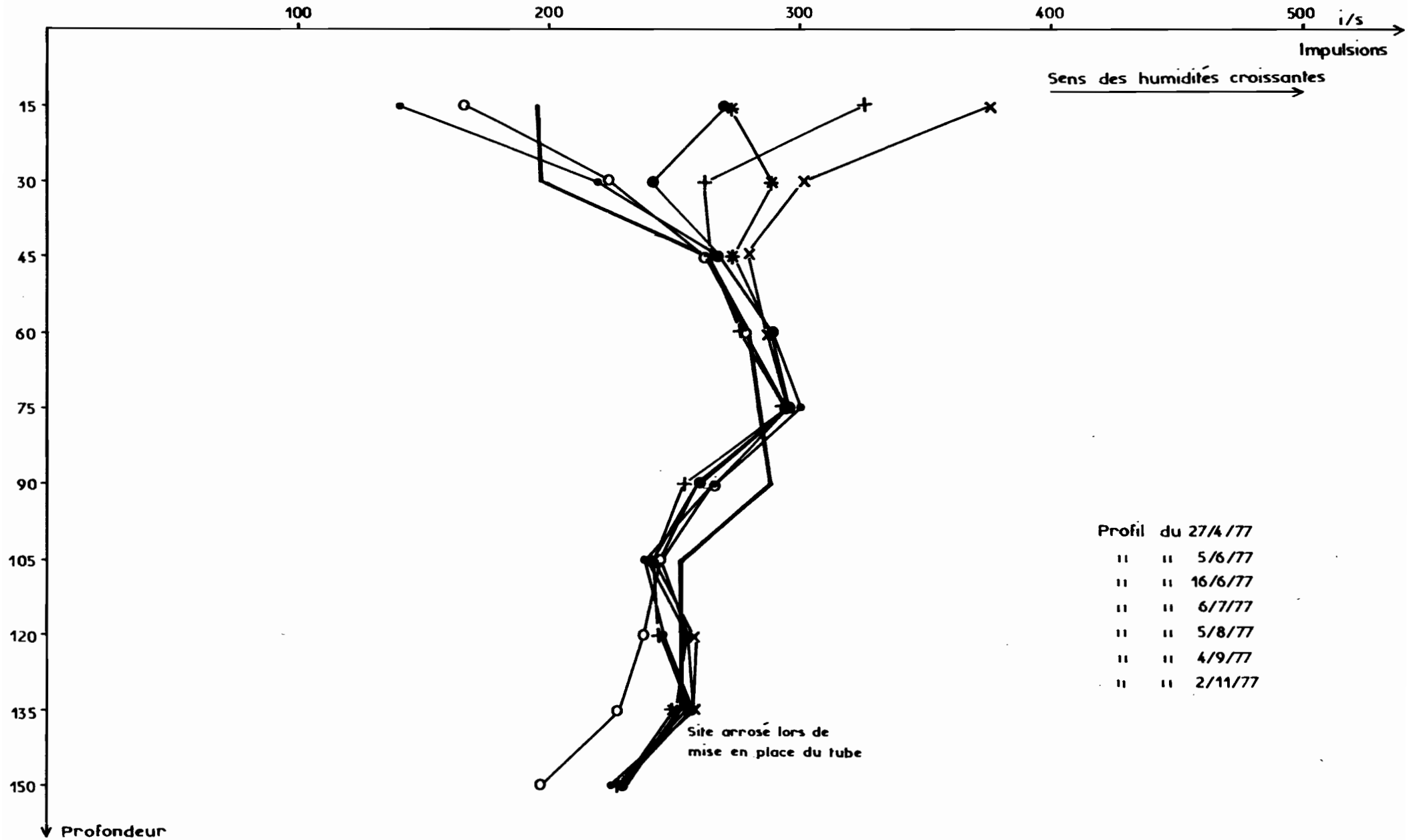








Fig.17C KOEL GLACIS (Sgr)  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 1

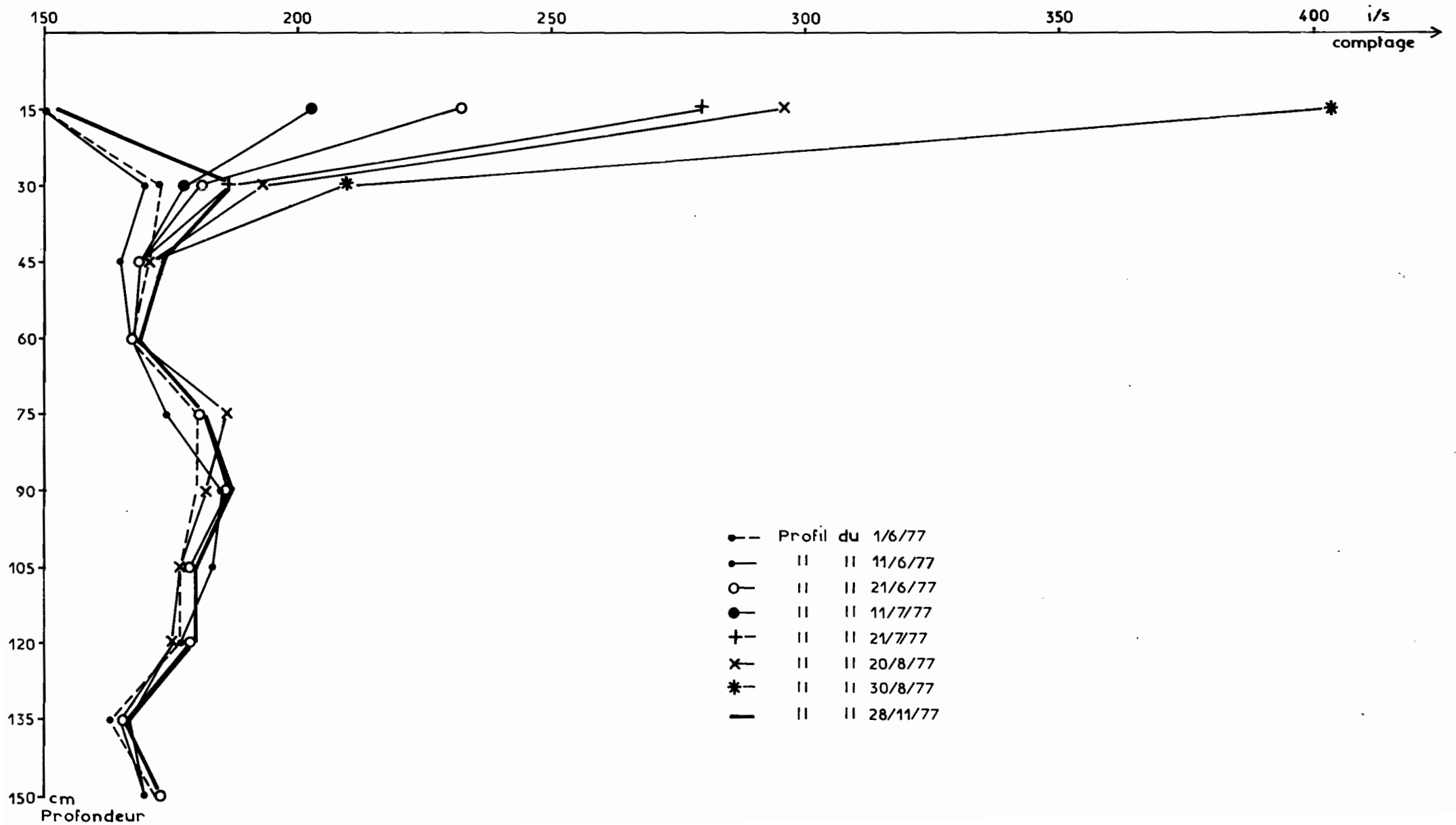


Fig.17D KOEL GLACIS (Sgr)  
 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 AUTOUR DU TUBE 2

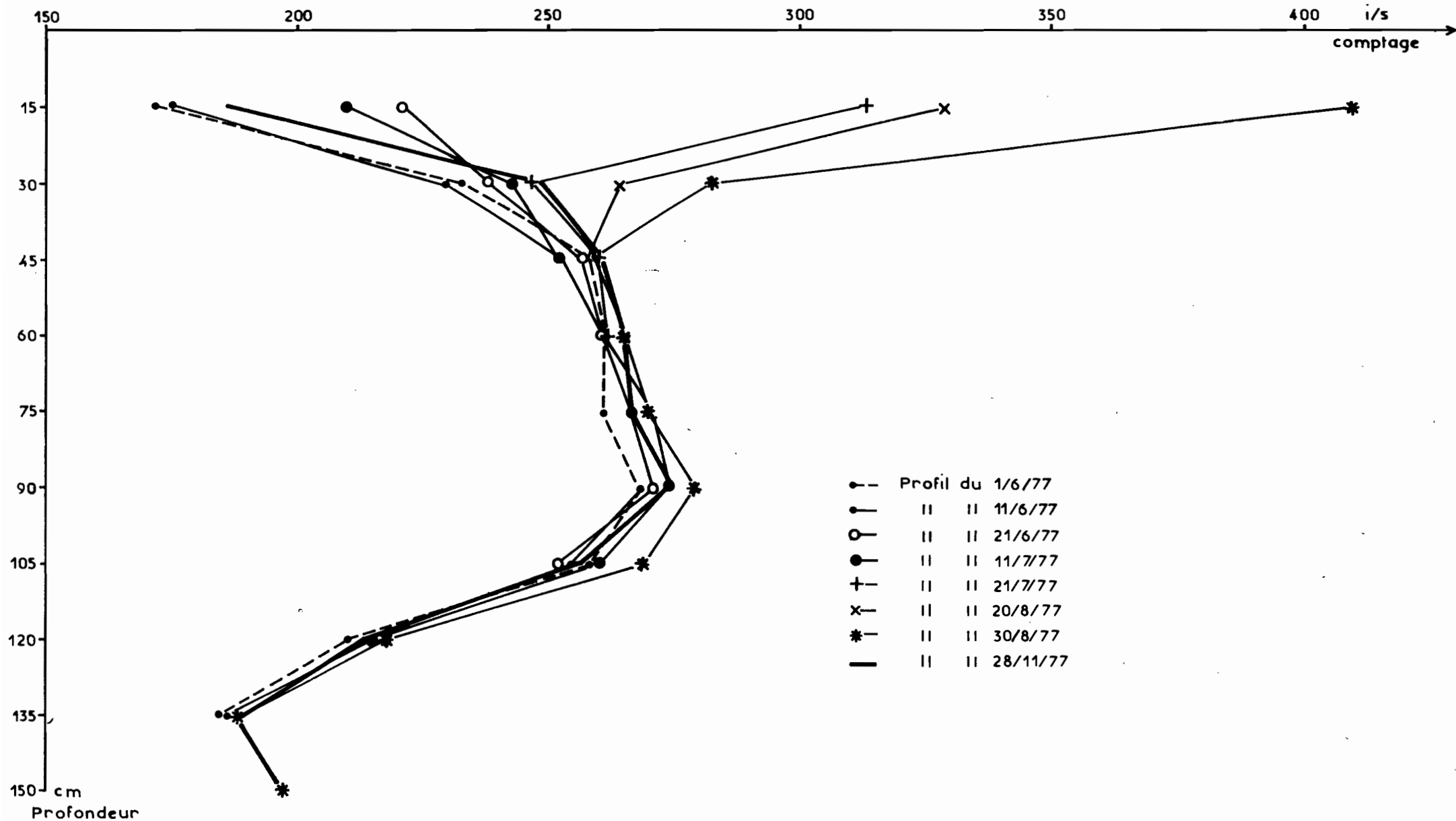






Fig. 18A VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN  
DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (Spt)

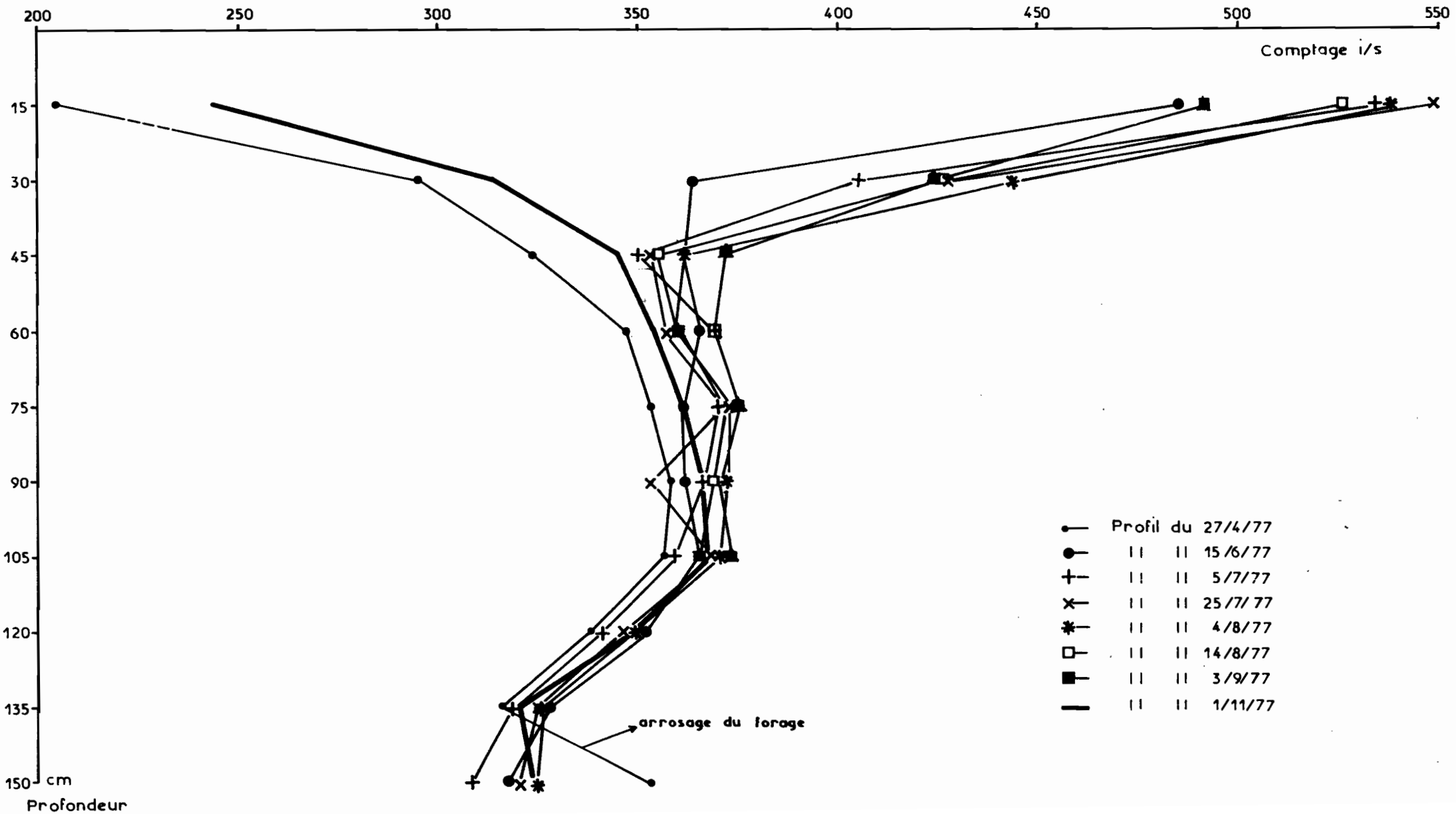


Fig.18B EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (tube 0)

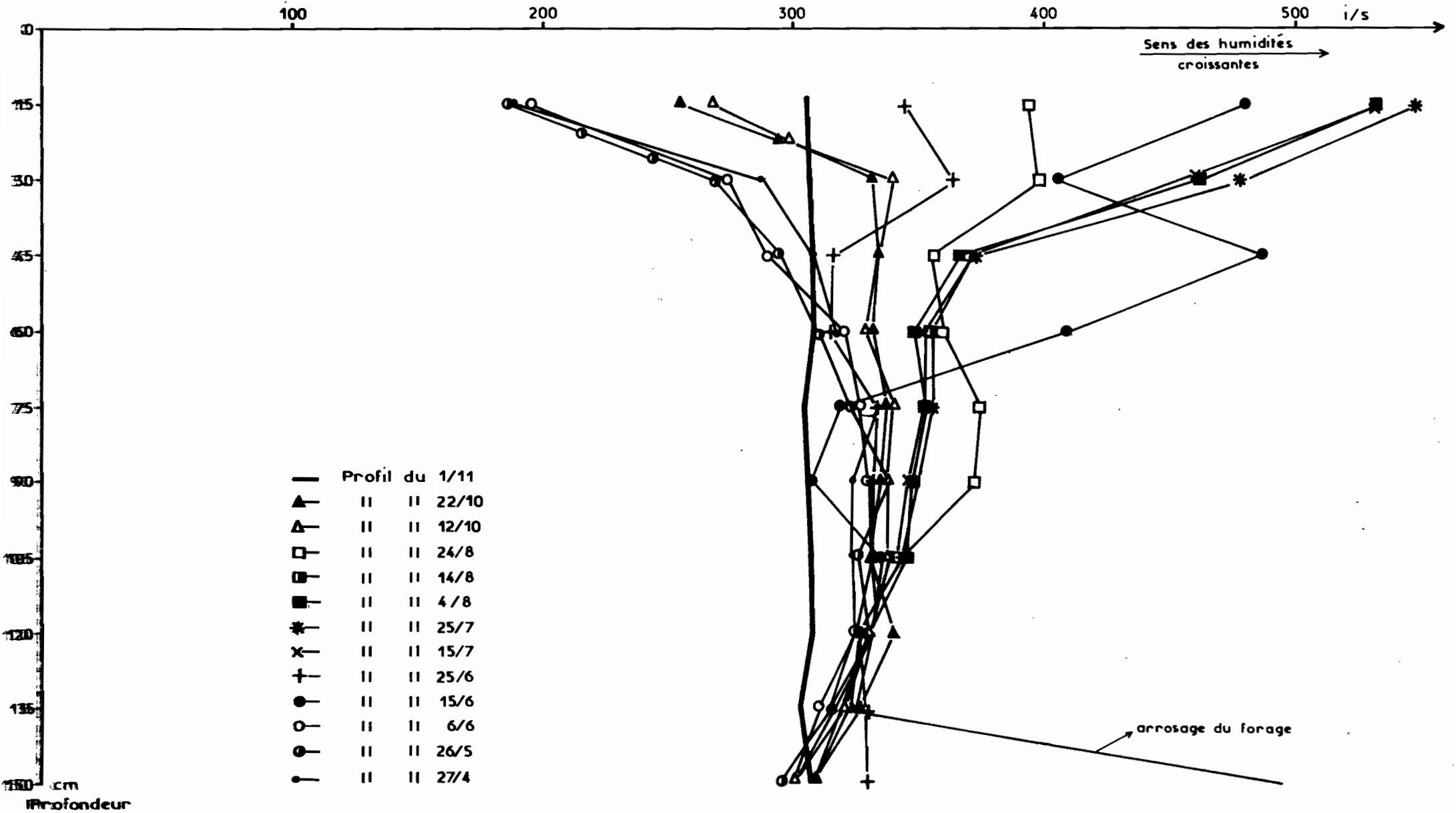


Fig. 18C EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (tube 1)

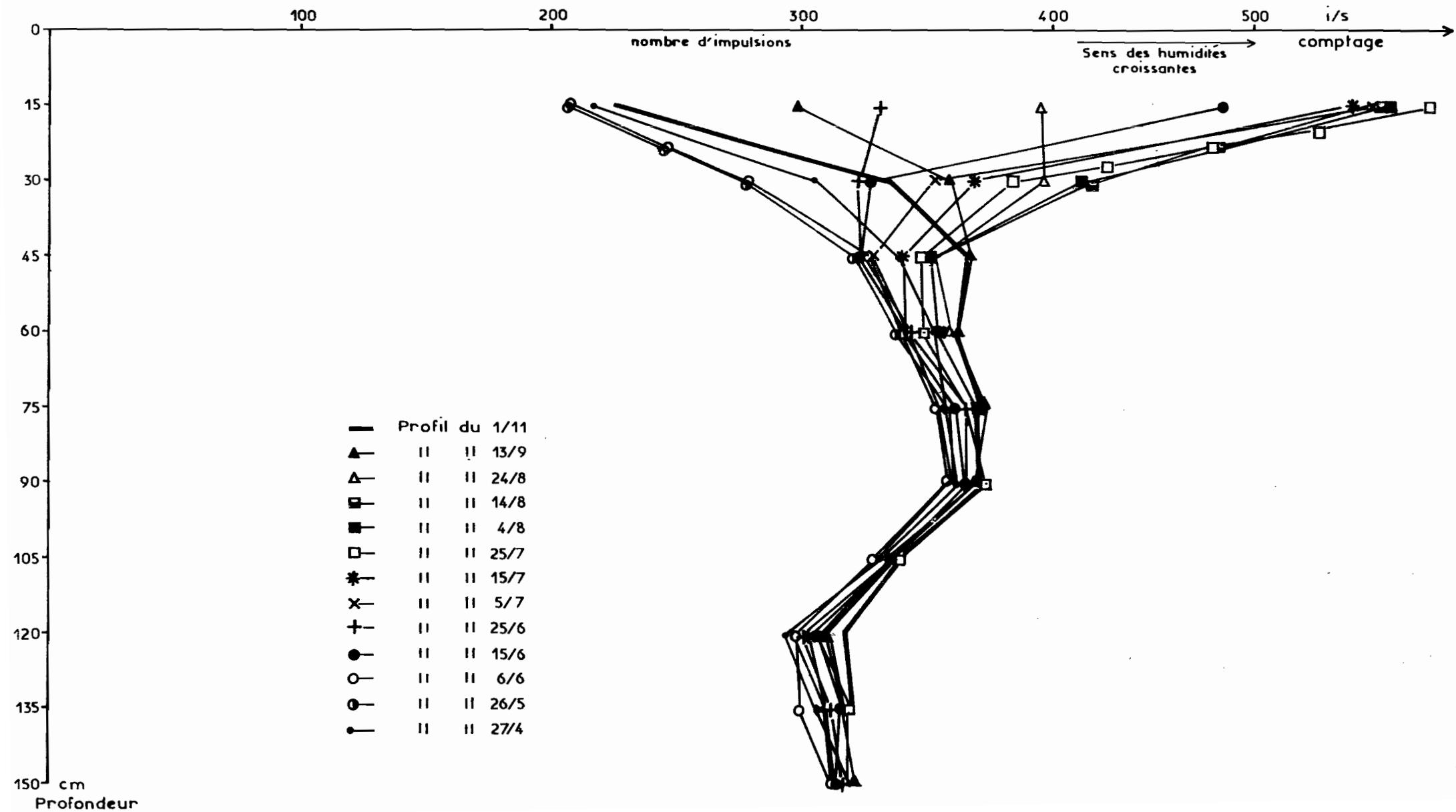


Fig. 18D EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (tube 2)

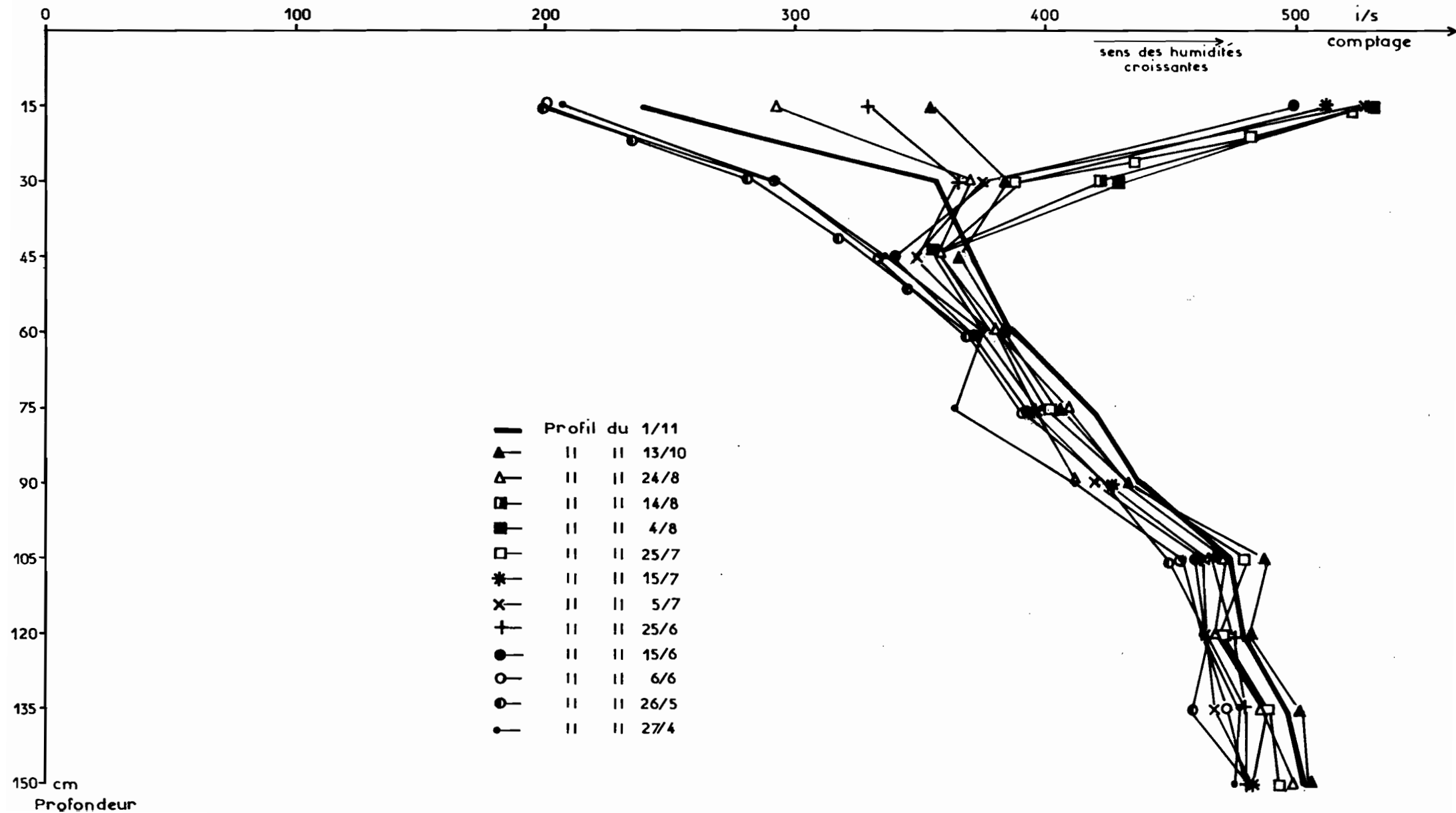




Fig. 18E EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (tube 3)

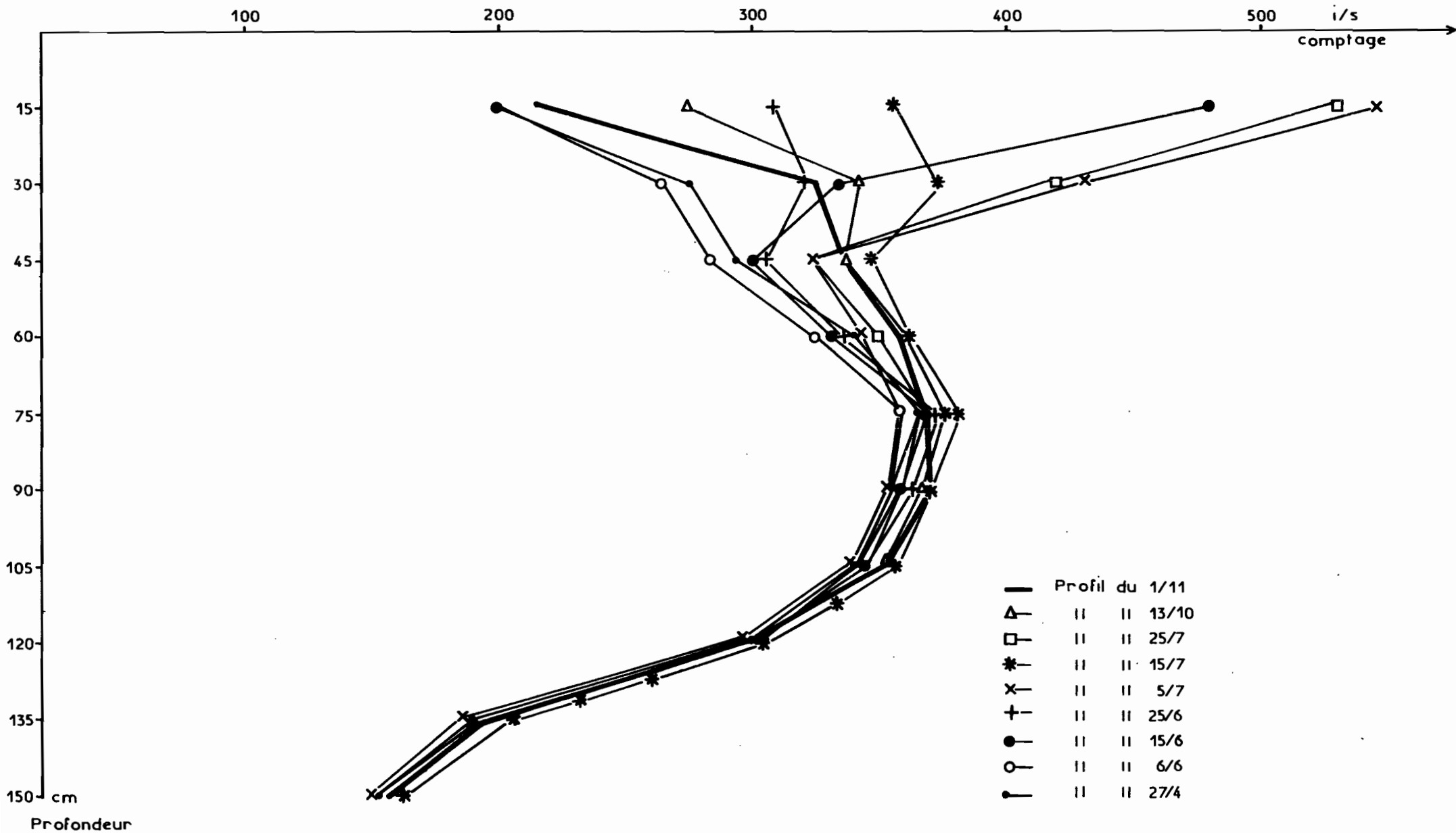


Fig.18F EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE  
 DANS LE BAS-FOND WINDE TIULUKI (tube 4)

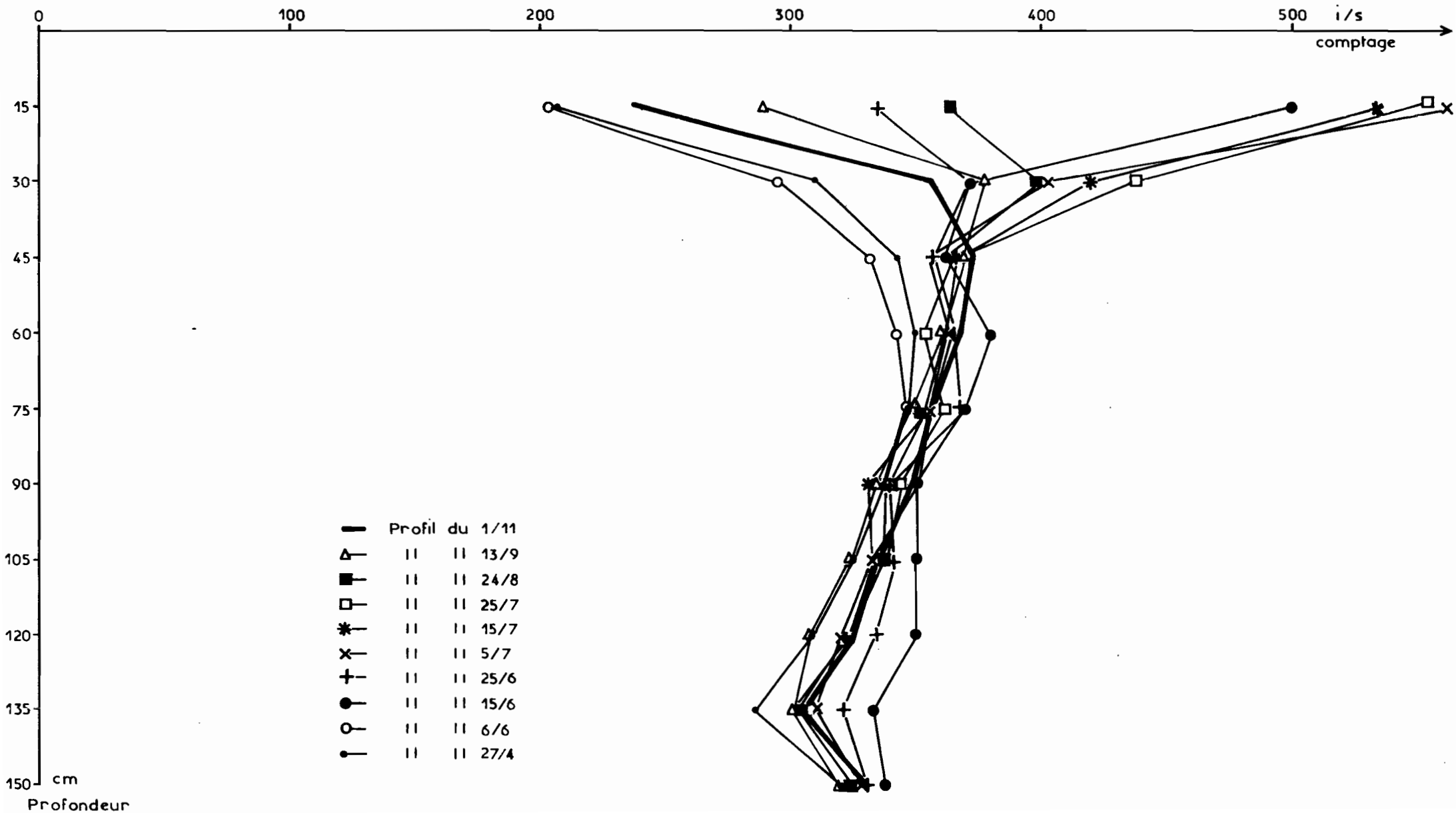




Fig.19B EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 0  
DE LA STATION DE GOUNTOURE (Ase)

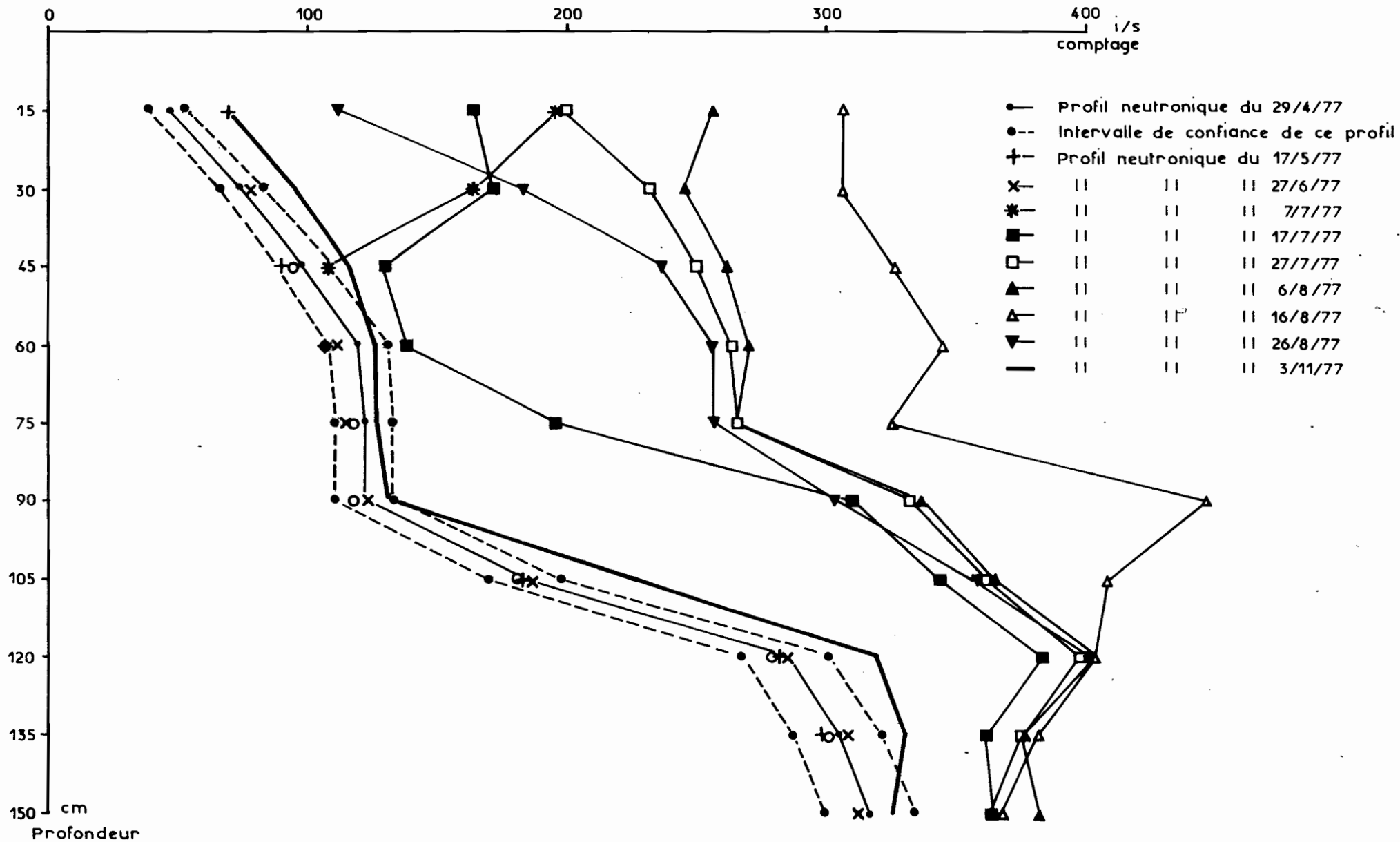


Fig.19C EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 1  
DE LA STATION DE GOUNTOURE (As e)

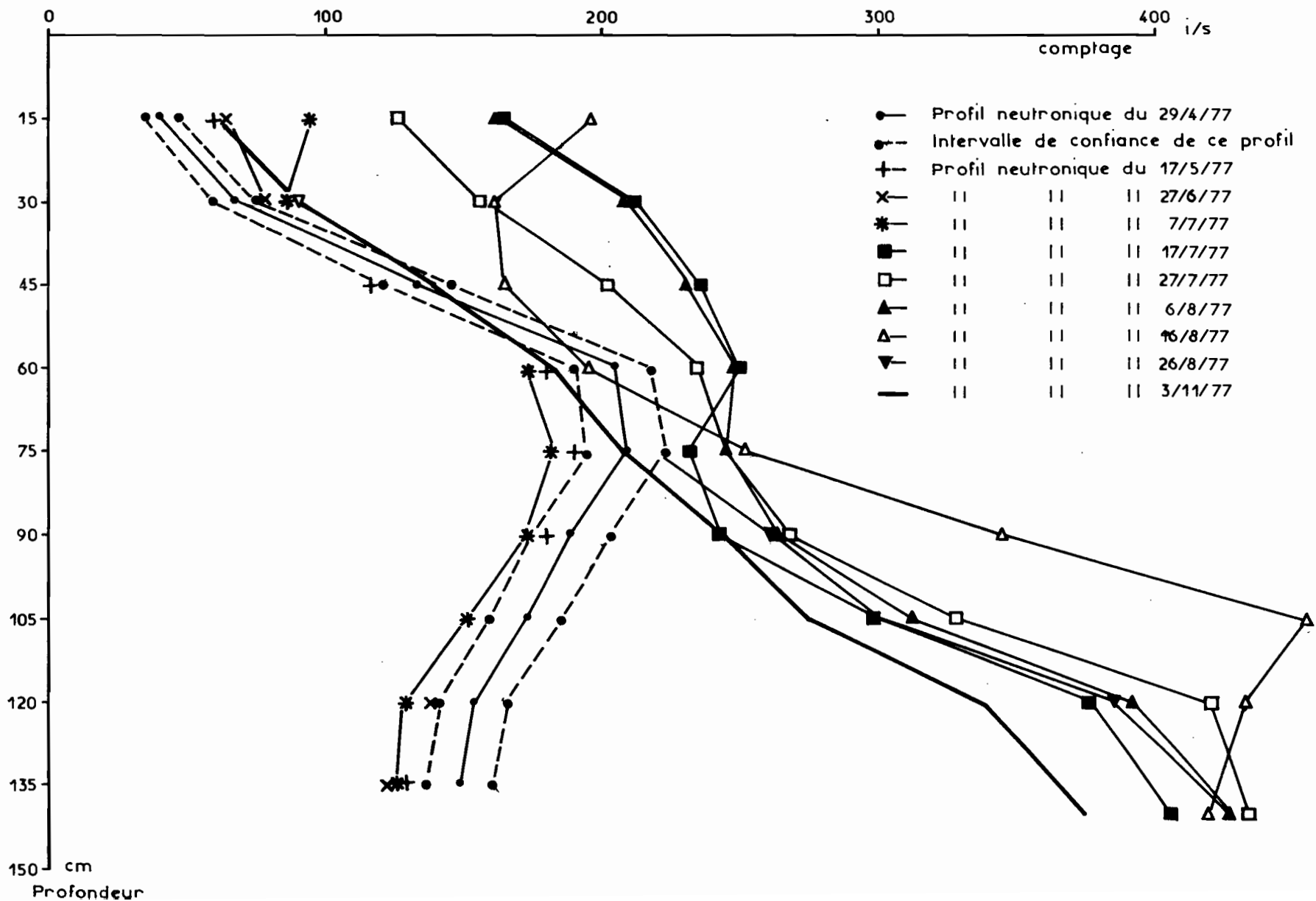


Fig. 19D EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 2  
DE LA STATION DE GOUNTOURE (A s e)

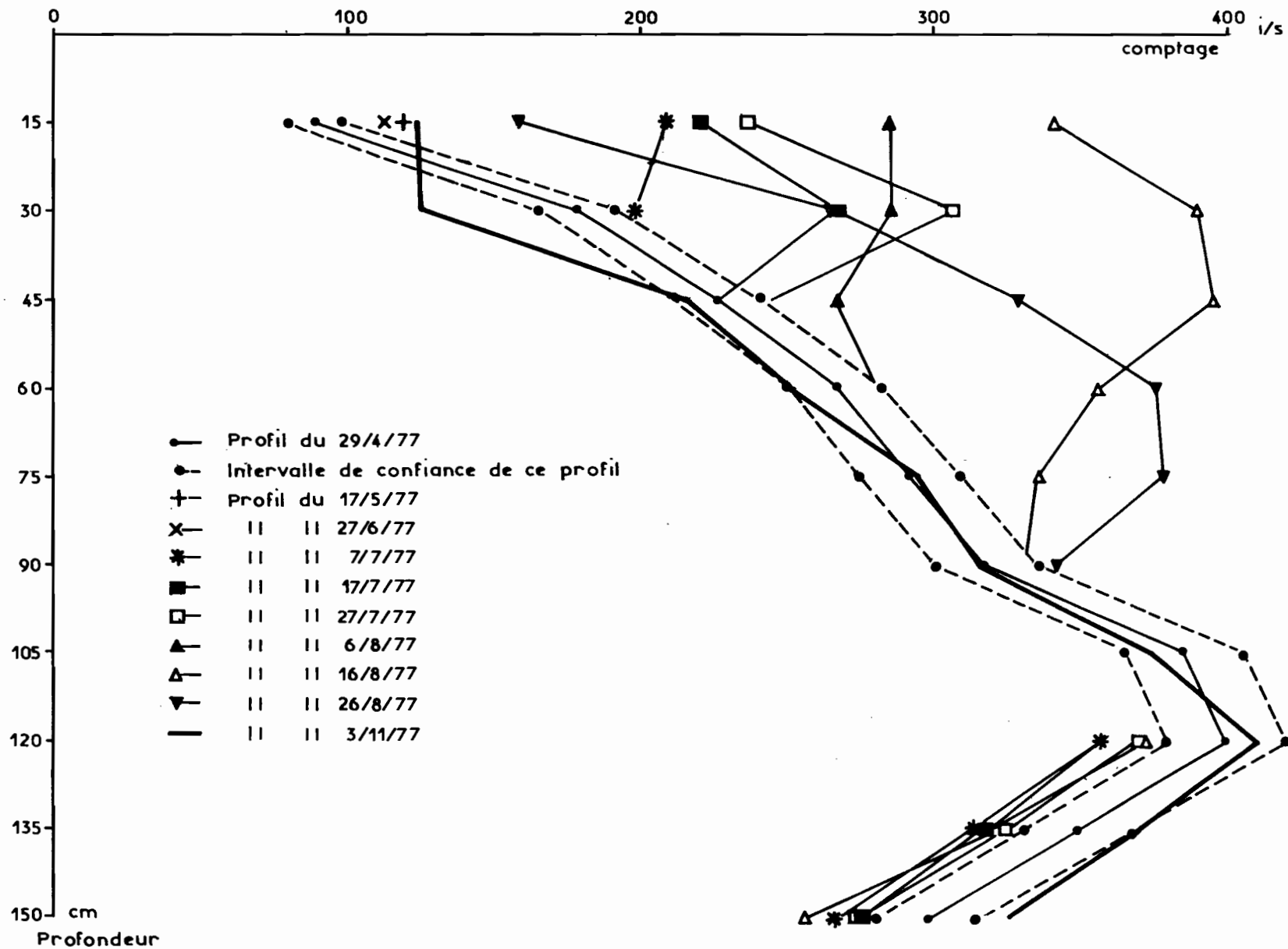


Fig.19E EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 3  
DE LA STATION DE GOUNTOURE (Ase)

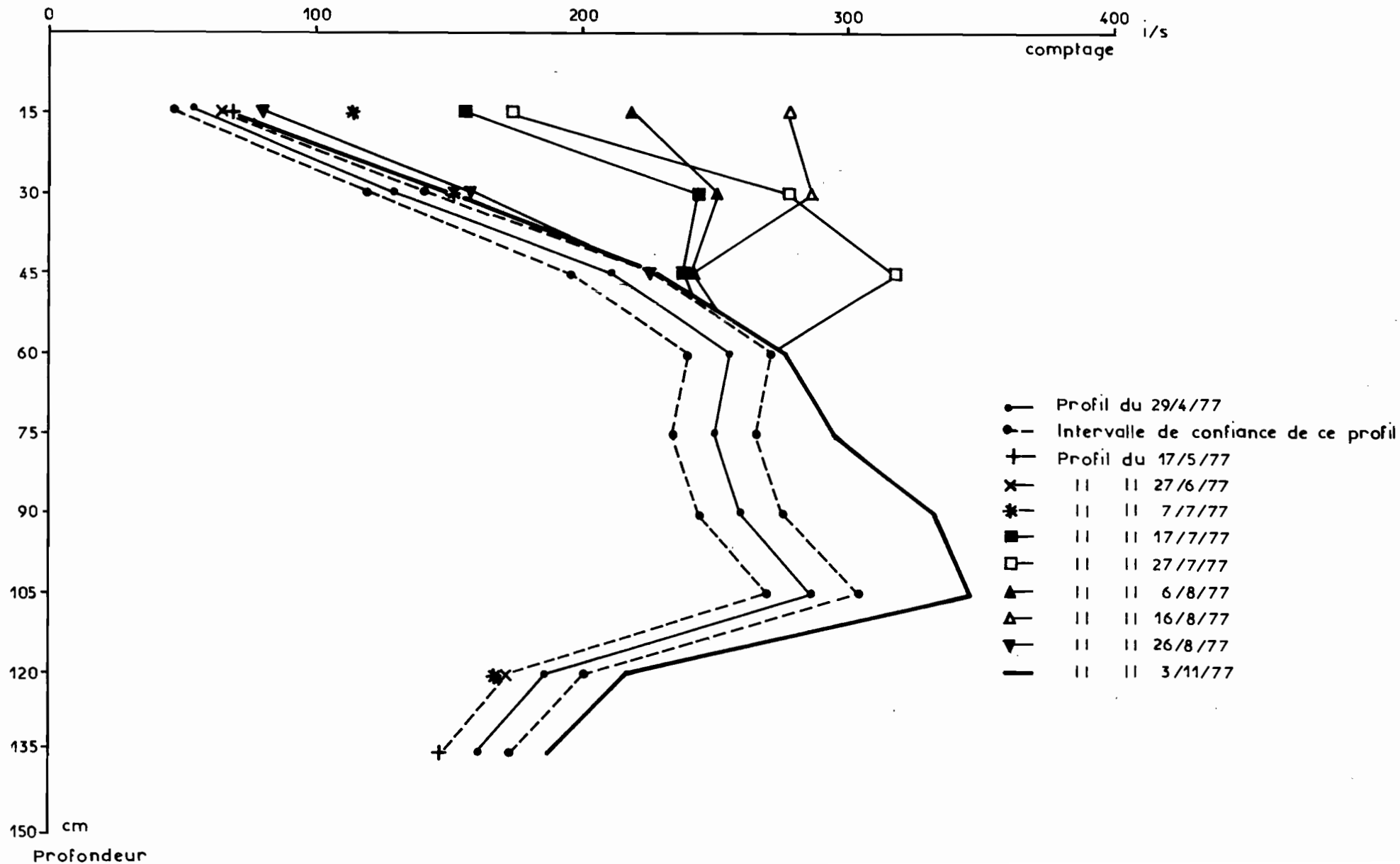


Fig.19F EVOLUTION DU PROFIL NEUTRONIQUE AUTOUR DU TUBE 4  
DE LA STATION DE GOUNTOURE (Ase)

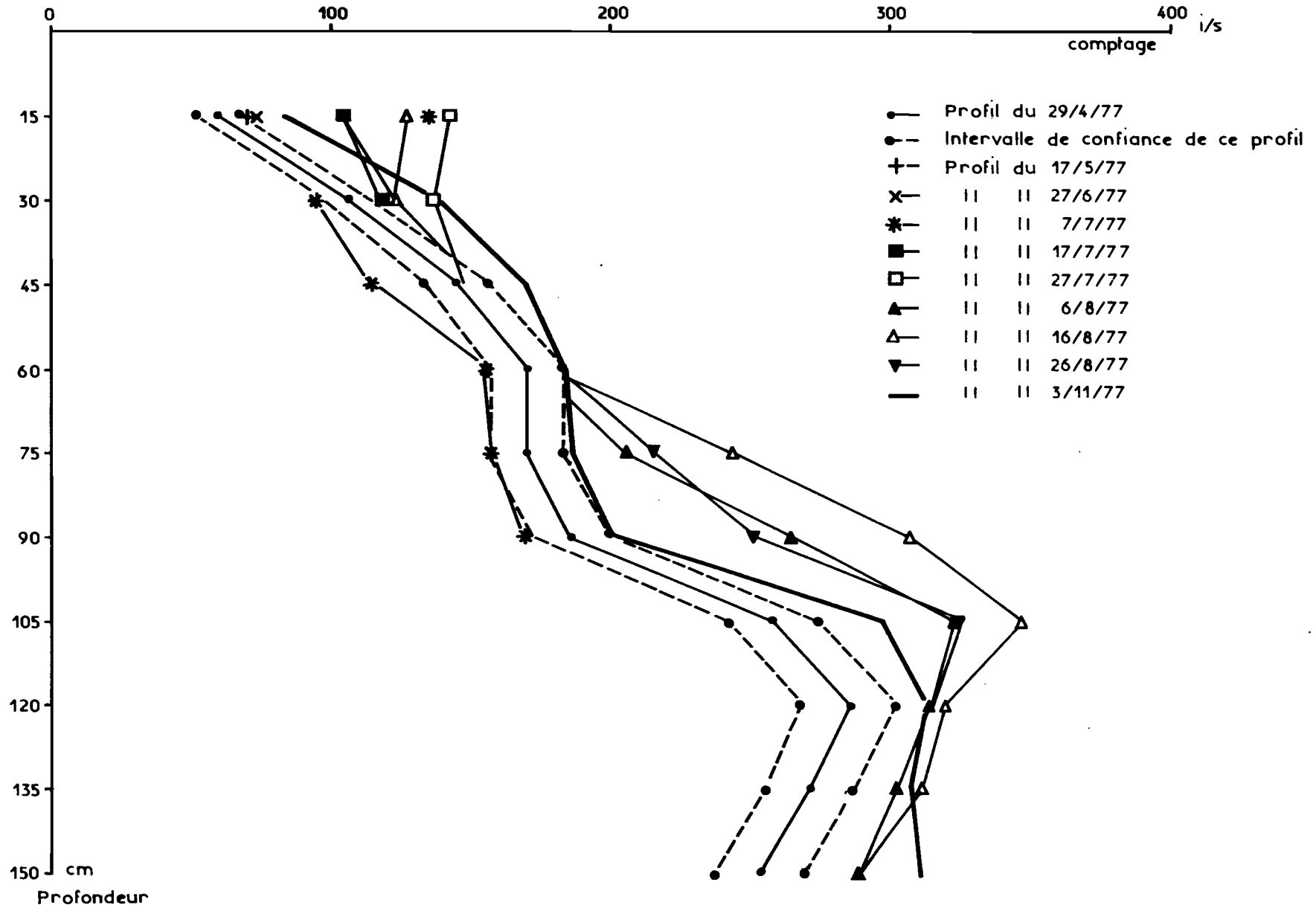




Fig. 20 PARCELLE D'OURSI-OUEST (AMs)

EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE DANS  
QUELQUES HORIZONS CARACTERISTIQUES DU SOL

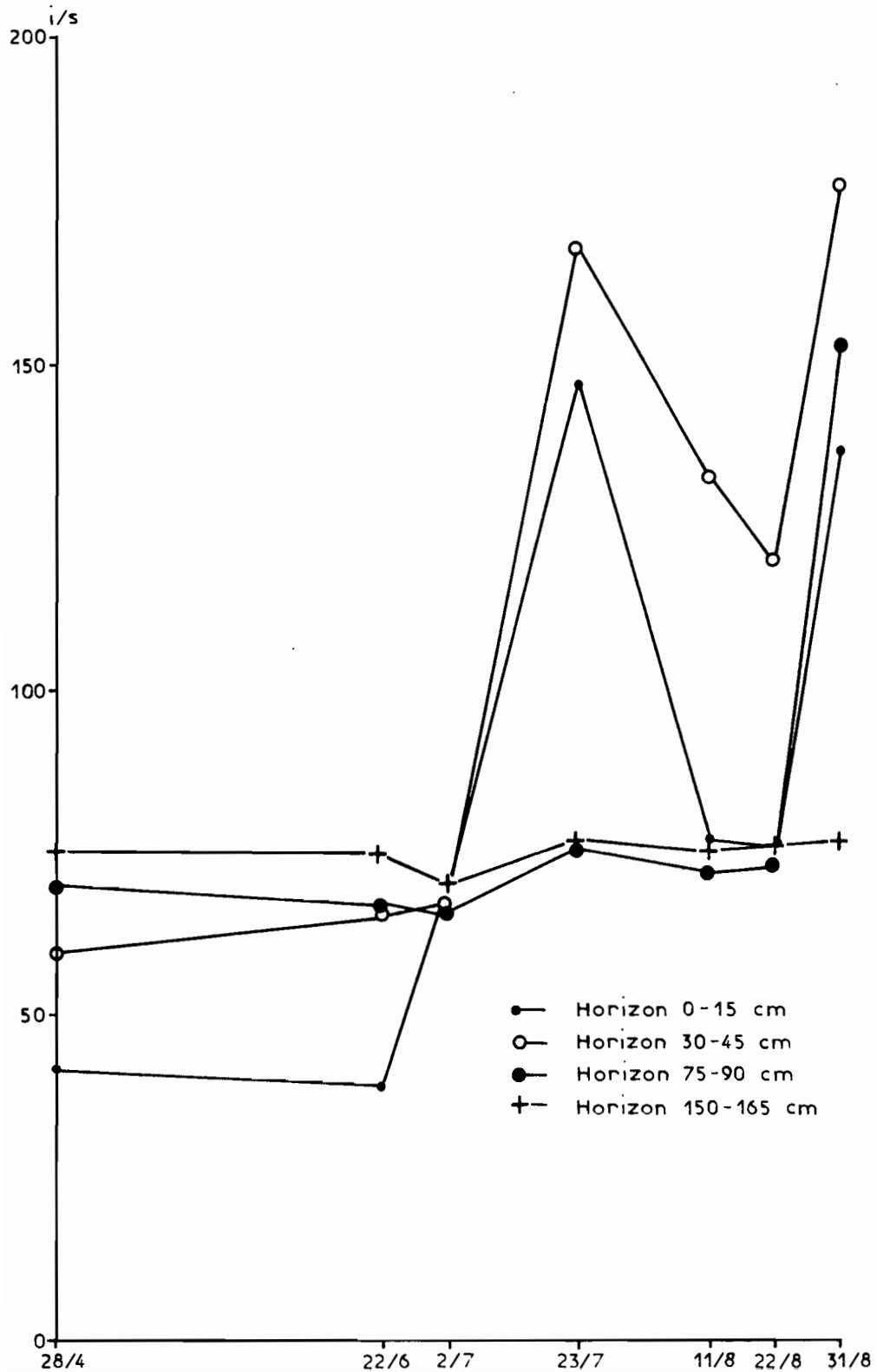


Fig. 21 PARCELLE D'OURSI - EST (Cdc)

EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE DANS  
QUELQUES HORIZONS DU SOL du 12/6 au 23/7

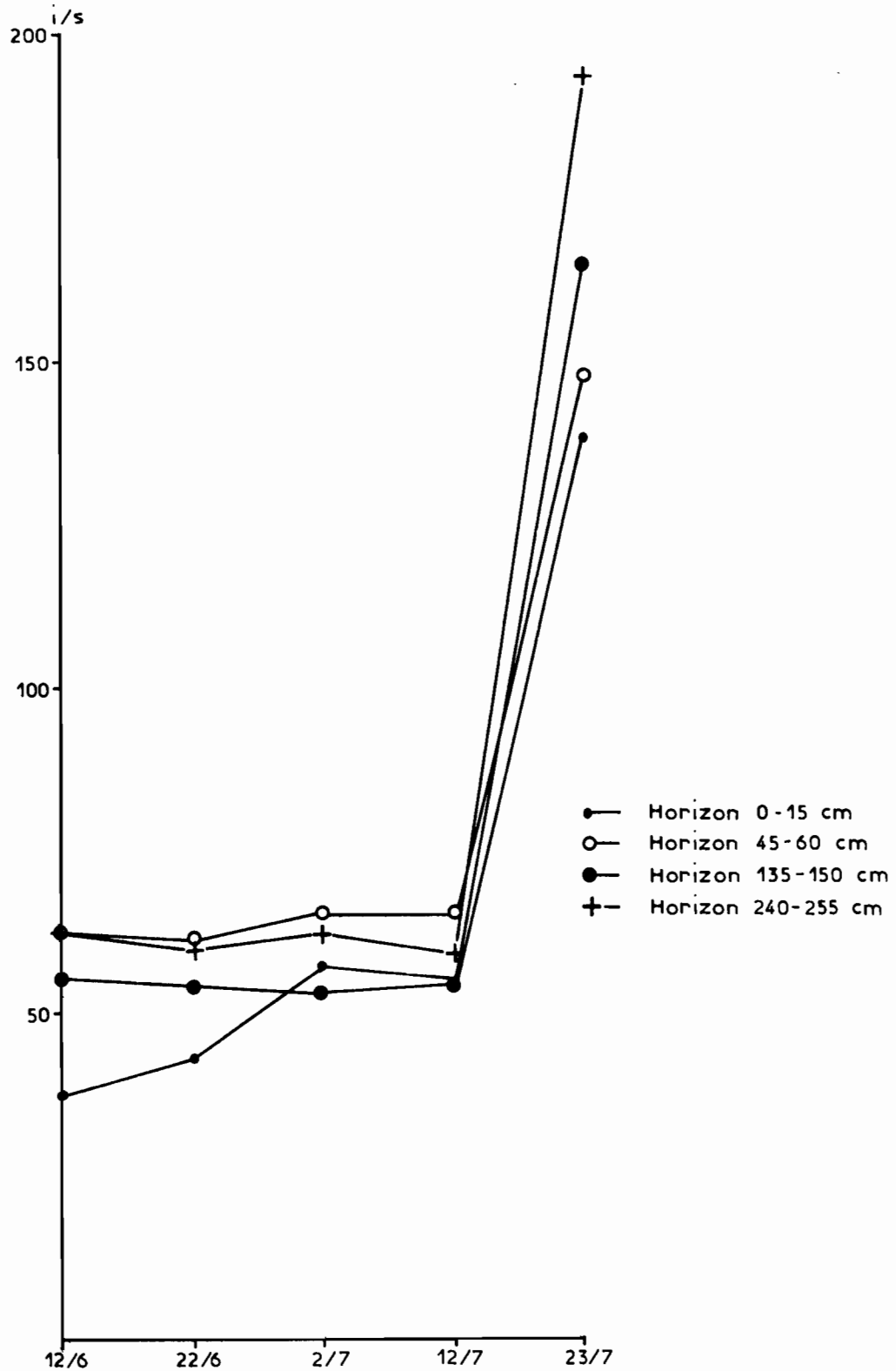


Fig. 22 PARCELLE DU PIEMONT DE KOEL (Cep)  
 EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE DANS  
 QUELQUES HORIZONS CARACTERISTIQUES DU SOL

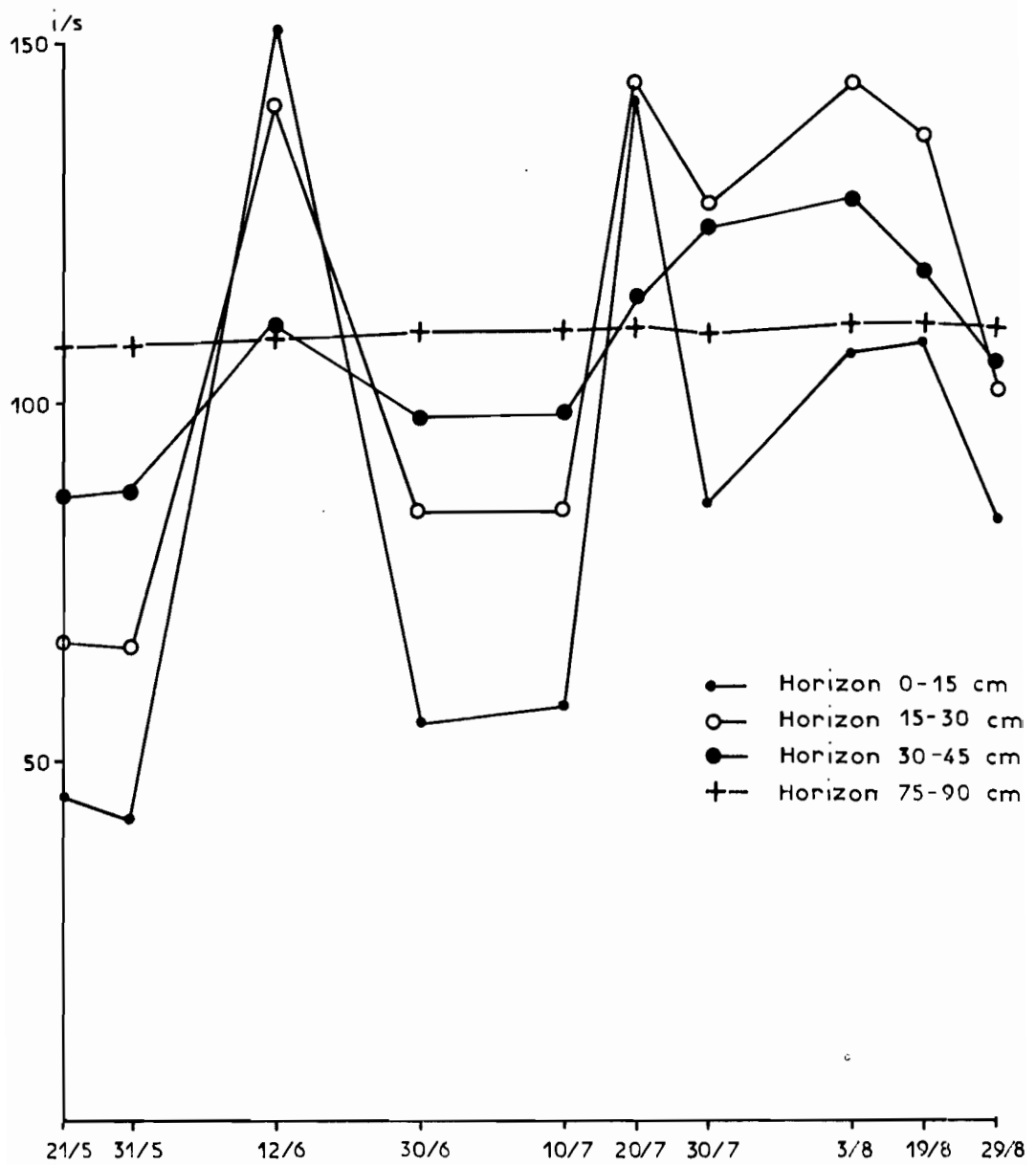
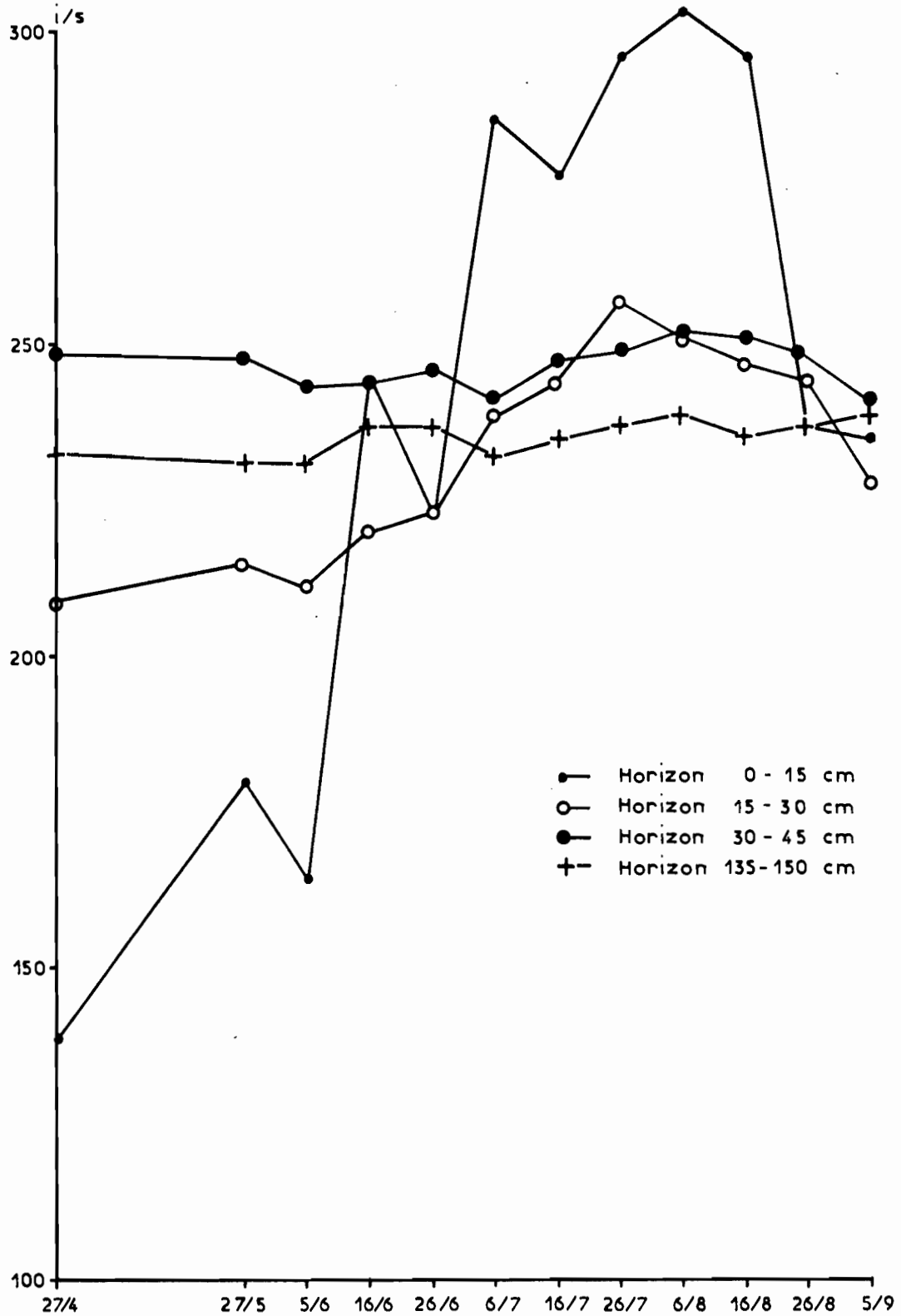


Fig. 23 PARCELLE DE KOUNI-KOÛNI (SgI)  
 EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE  
 DANS QUELQUES HORIZONS DU SOL



Comptage  
i/s

Fig. 24

EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE  
DE QUELQUES HORIZONS DU SOL  
DU GLACIS DE KOEL (Sgr)

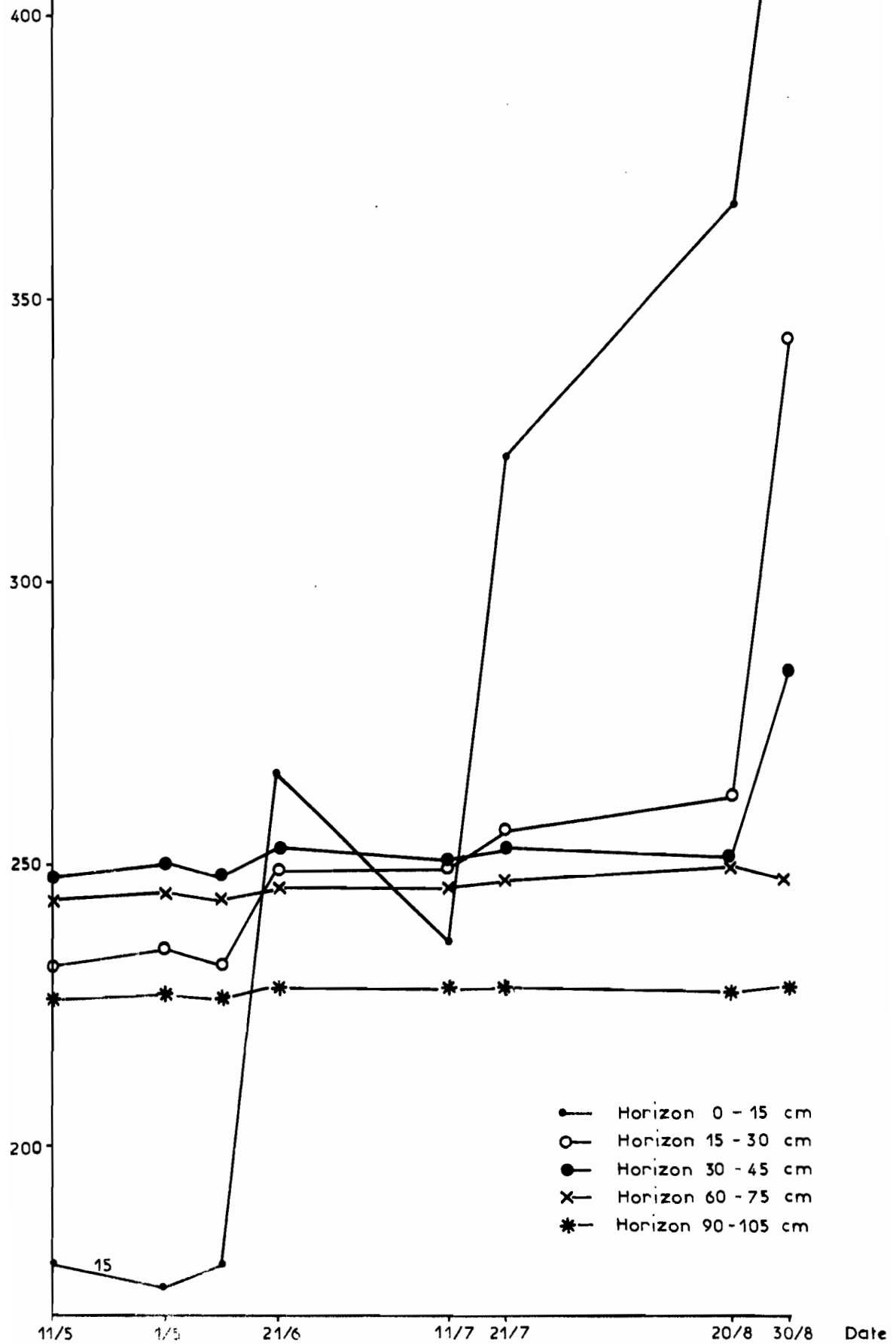


Fig. 25 EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE DANS QUELQUES HORIZONS DU SOL DE BAS-FOND (Spl)

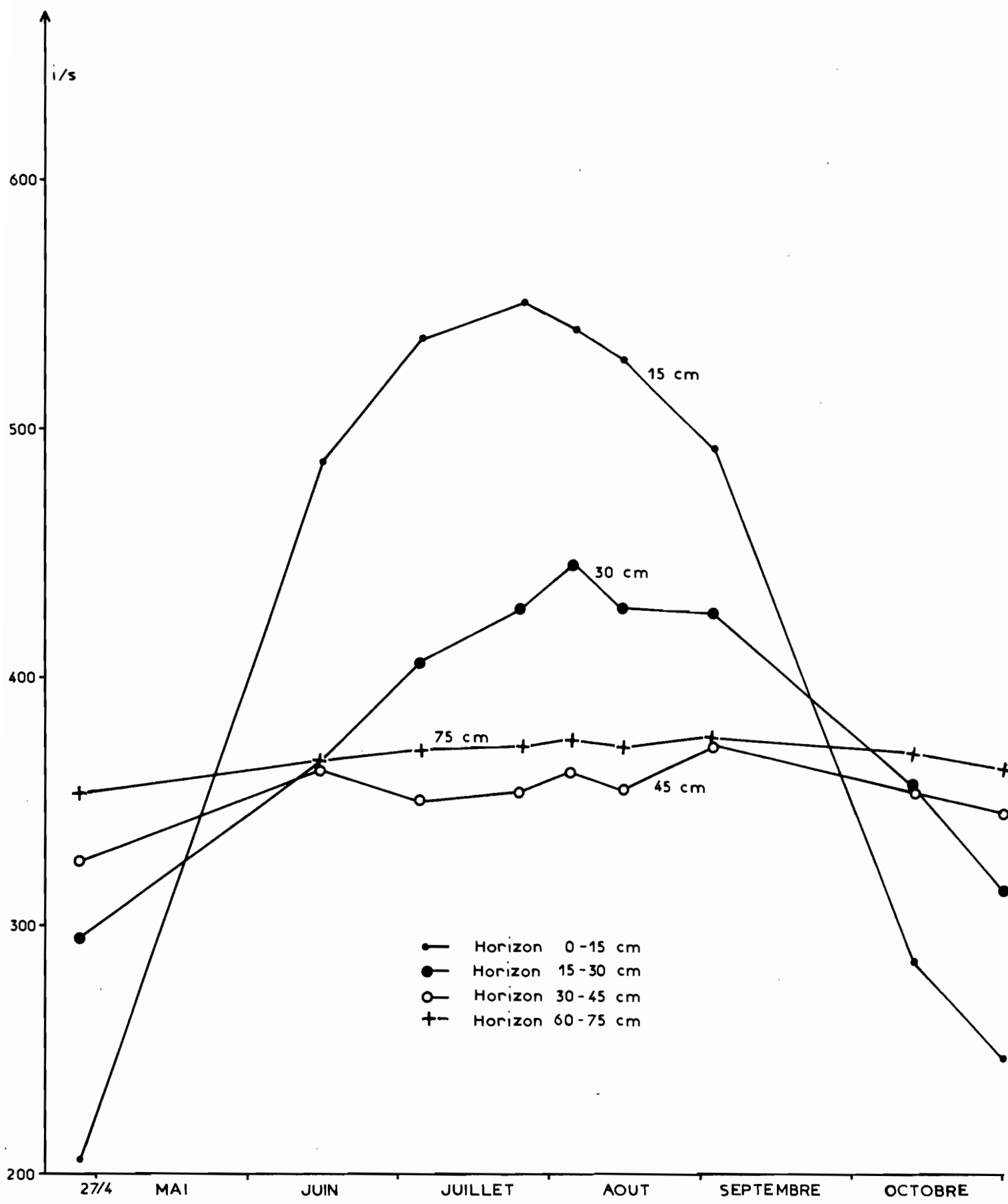


Fig. 26 PARCELLE DE GOUNTOURE (As $\phi$ )  
 EVOLUTION DU COMPTAGE NEUTRONIQUE  
 DANS QUELQUES HORIZONS DU SOL

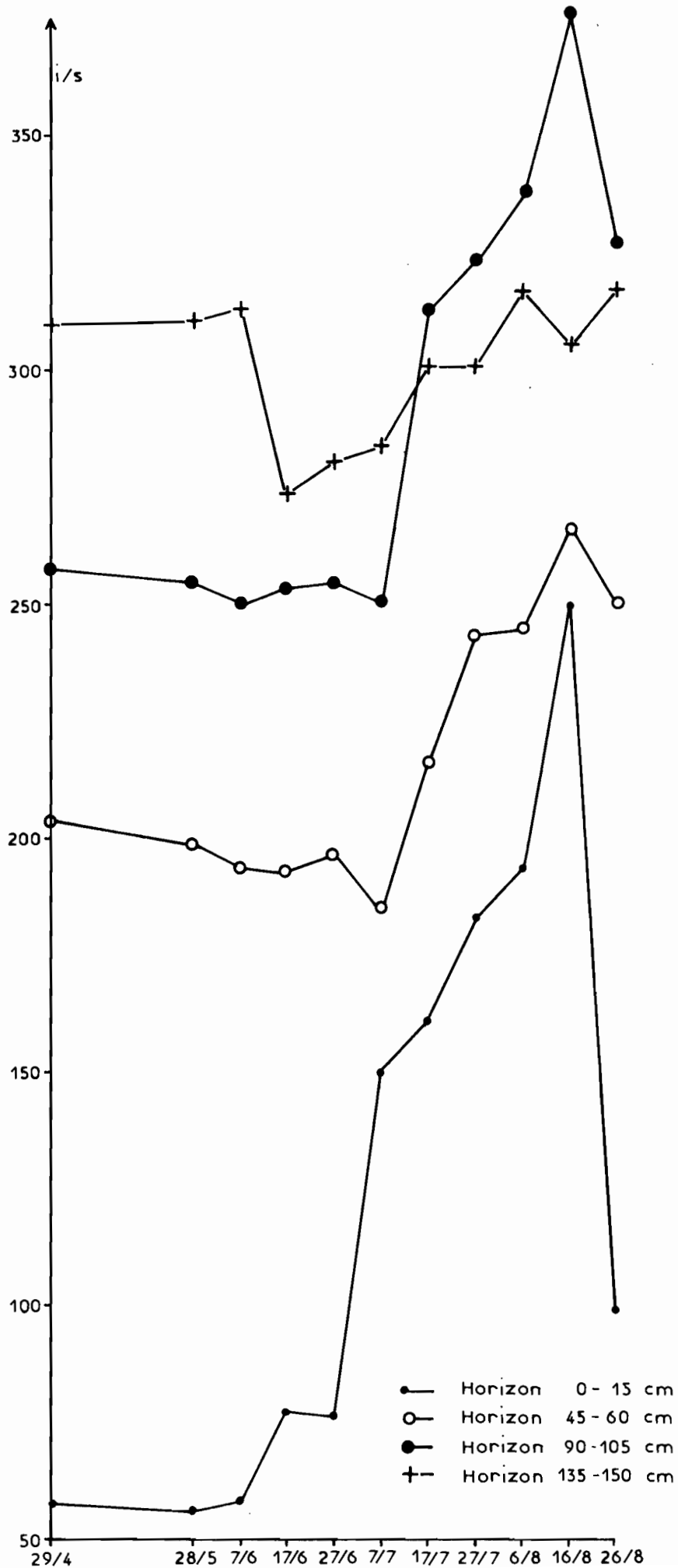


Fig. 27 PARCELLE DE LA DUNE A L'OUEST D'OURSIS (AMs)  
 FLUCTUATIONS DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)  
 sur 150cm, à partir du niveau initial au 28/4/77

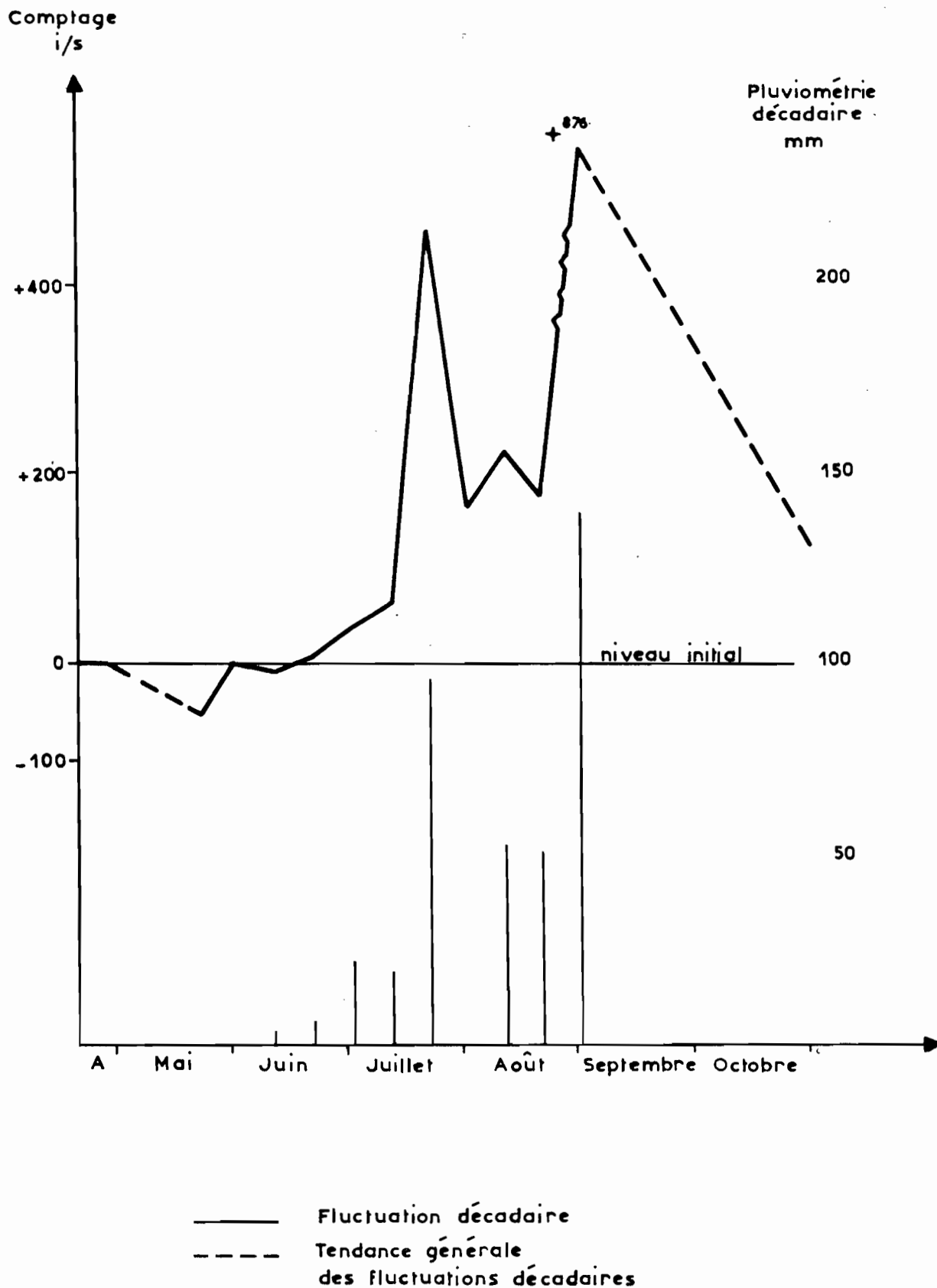




Fig. 28 PARCELLE DU PIEMONT DE KOLEL  
 FLUCTUATIONS MOYENNES DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)

sur 150 cm, à partir du niveau initial au 29/4/77

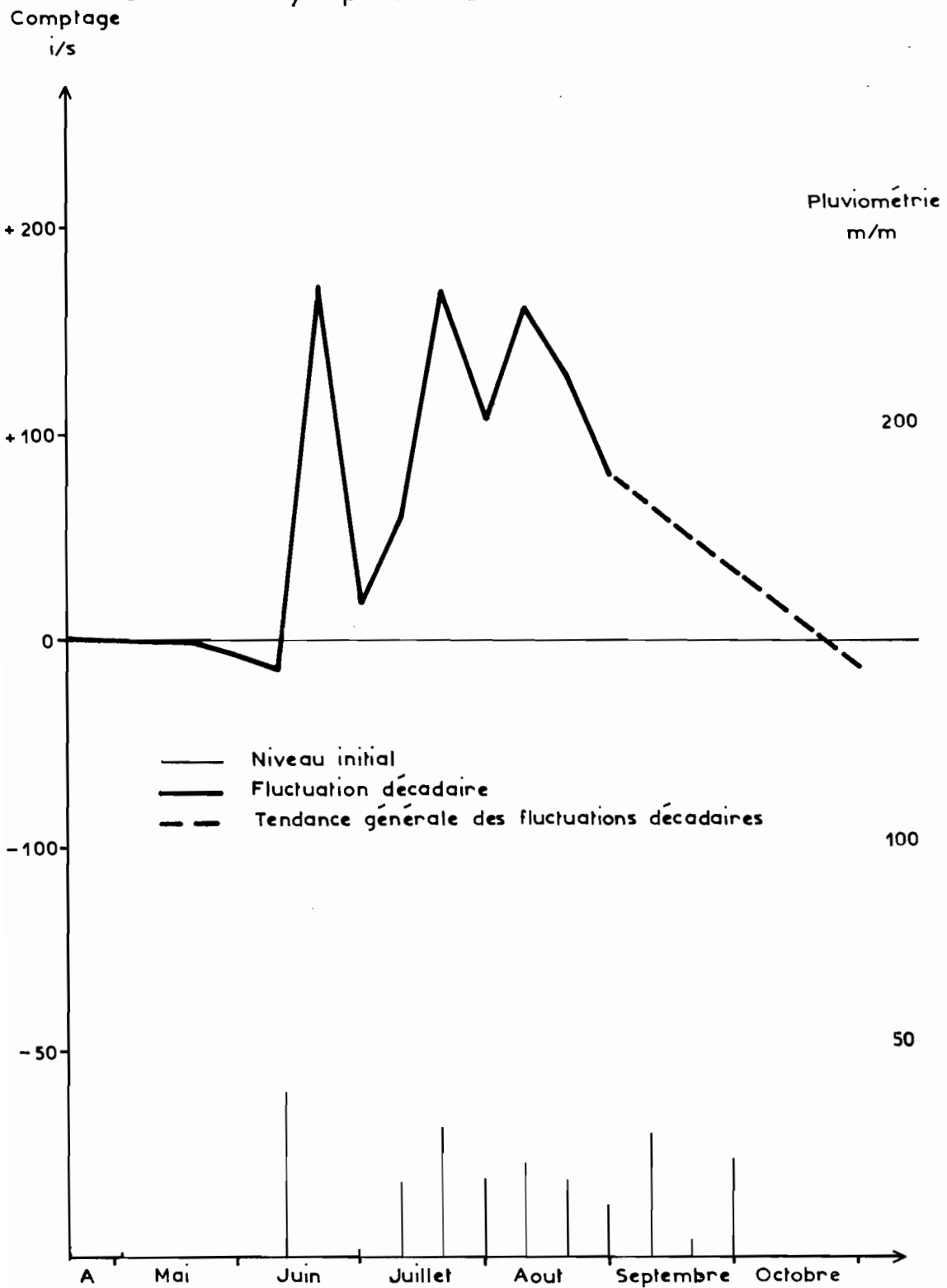


Fig. 29 PARCELLE DU GLACIS DE KOUNI-KOUNI  
 FLUCTUATIONS MOYENNES DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)  
 sur 150 cm, à partir du niveau initial au 27/4/77

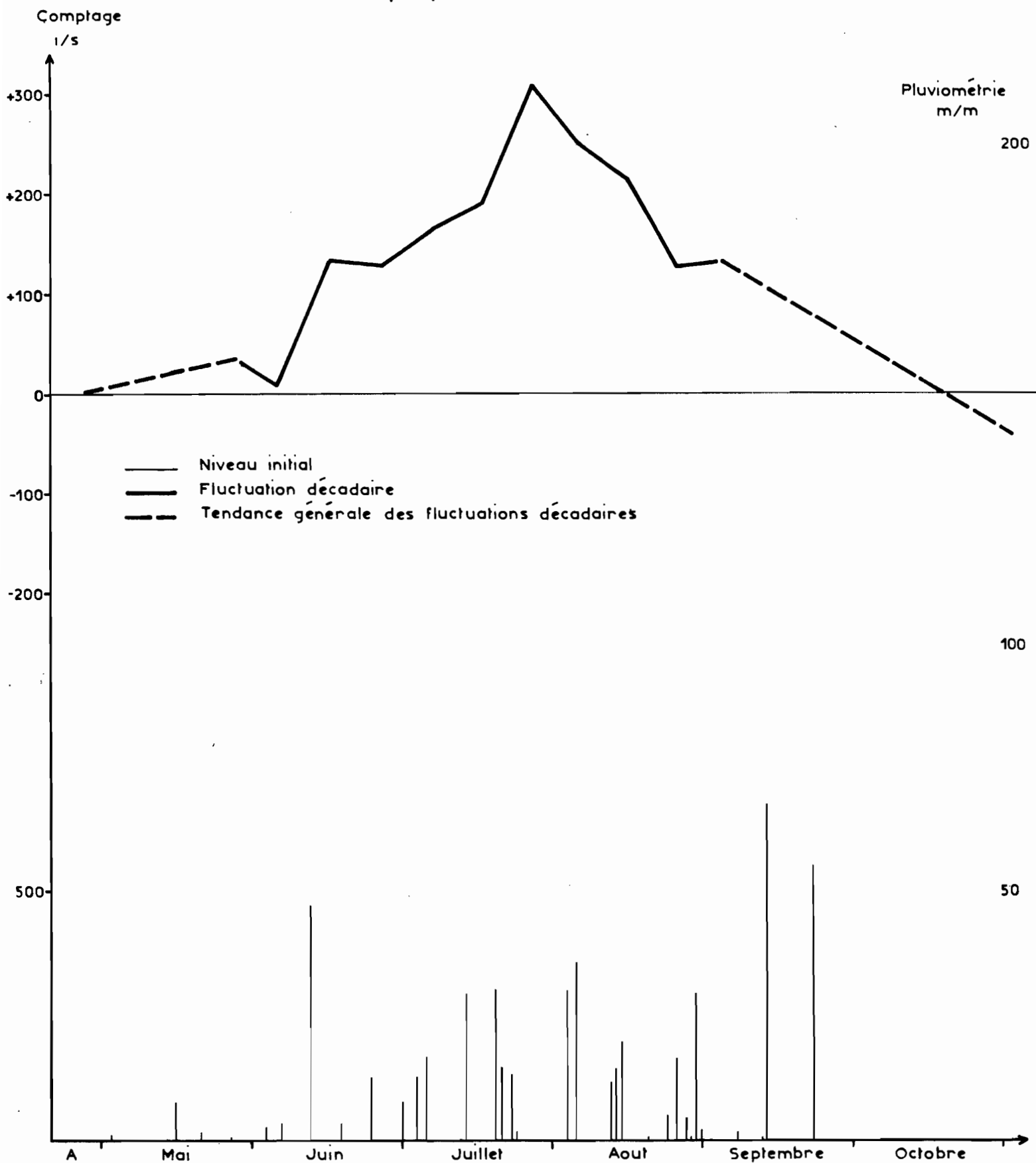


Fig. 30 PARCELLE DU GLACIS DE KOLEL  
 FLUCTUATIONS MOYENNES DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)  
 sur 150 cm, à partir du niveau initial au 30/4/77

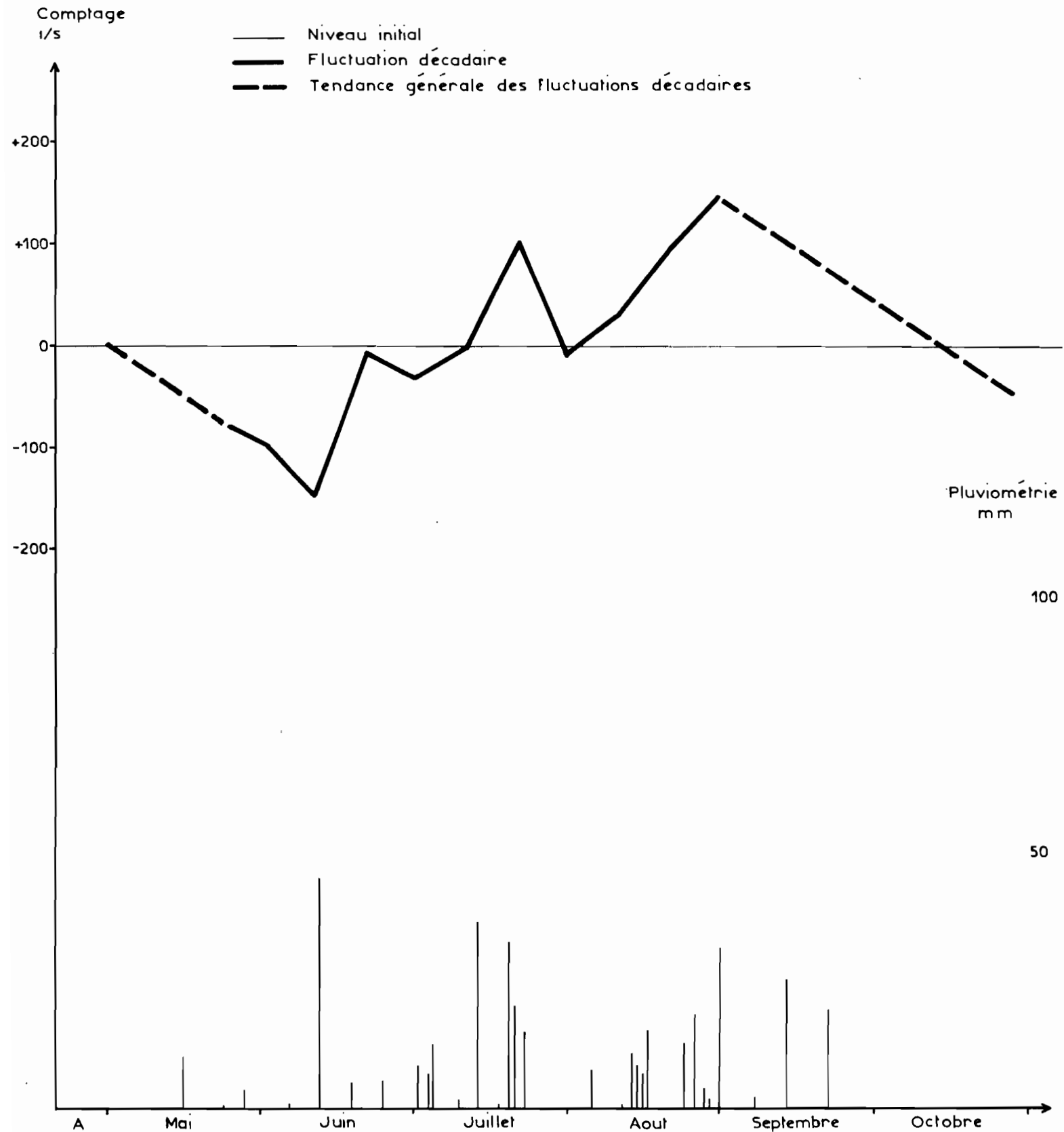


Fig. 31 PARCELLE DU BAS-FOND WINDE-TUILUKI (Spt)

FLUCTUATIONS MOYENNES DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)

sur 150 cm, à partir du niveau initial au 27/4/77

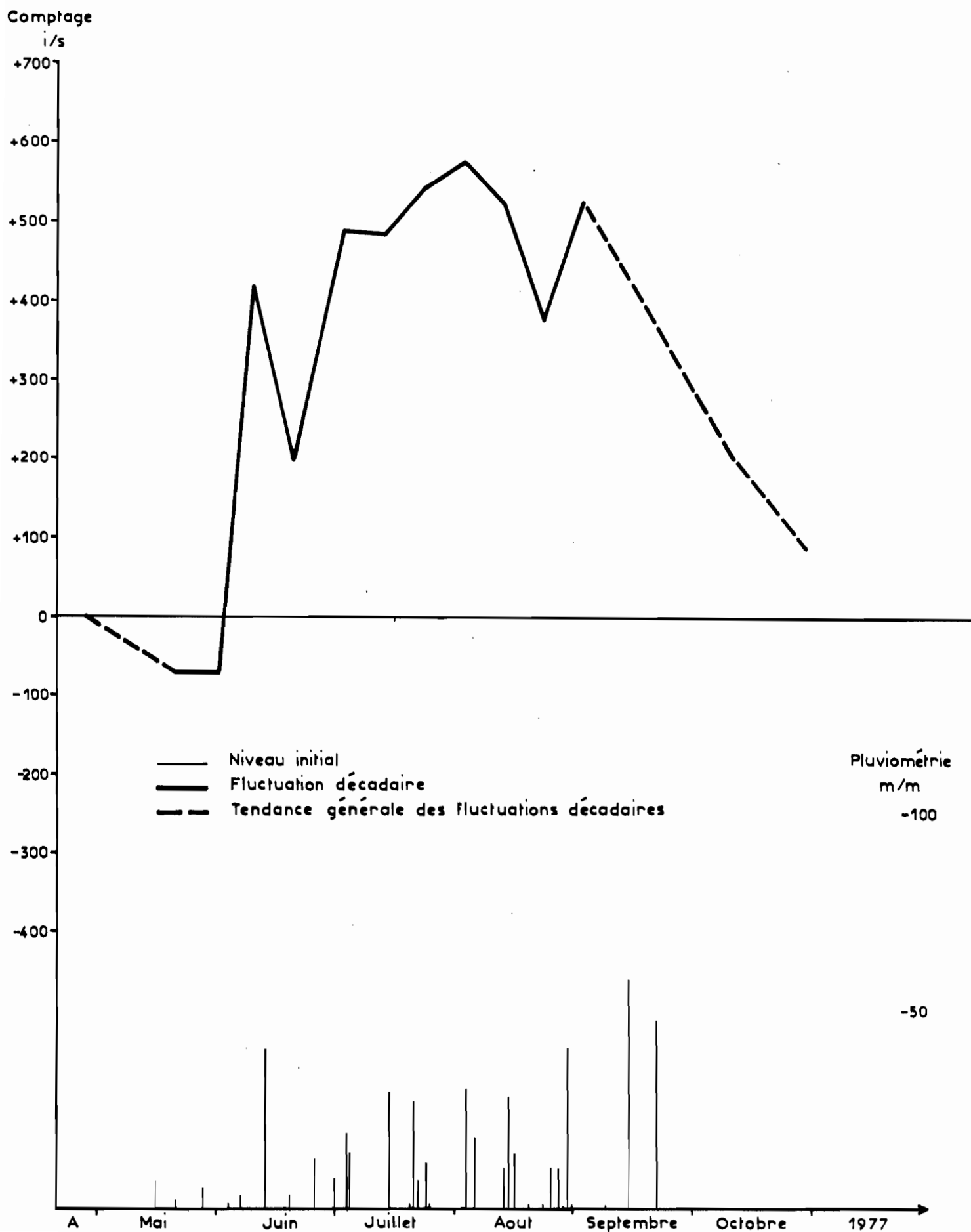


Fig. 32 PARCELLE DU GLACIS DE GOUNTOURE

FLUCTUATIONS MOYENNES DE LA RESERVE HYDRIQUE (i/s)

sur 150 cm, à partir du niveau initial au 29/4/77

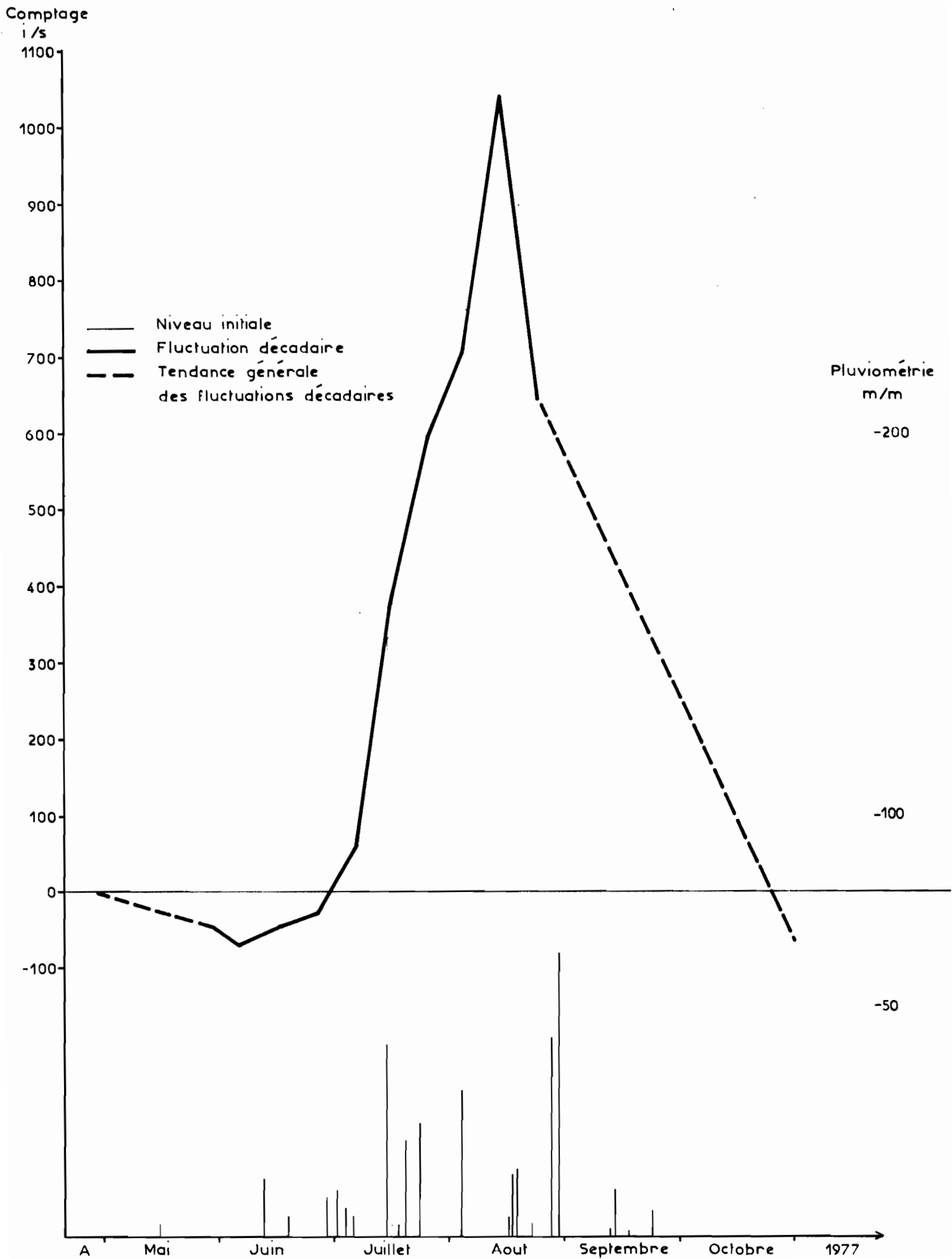
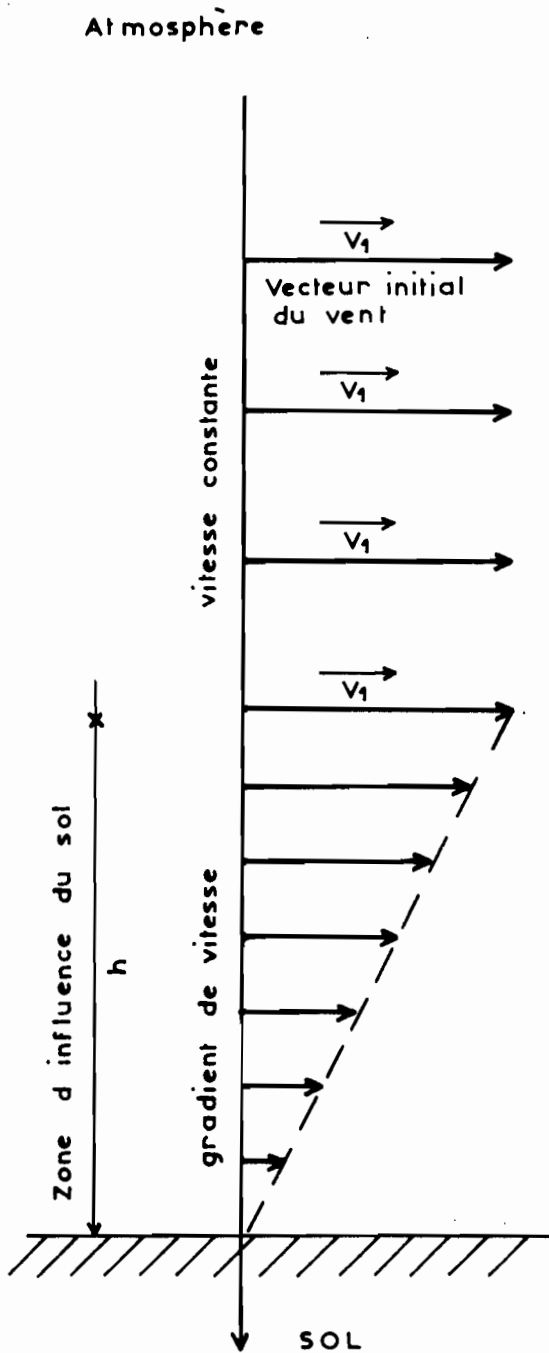
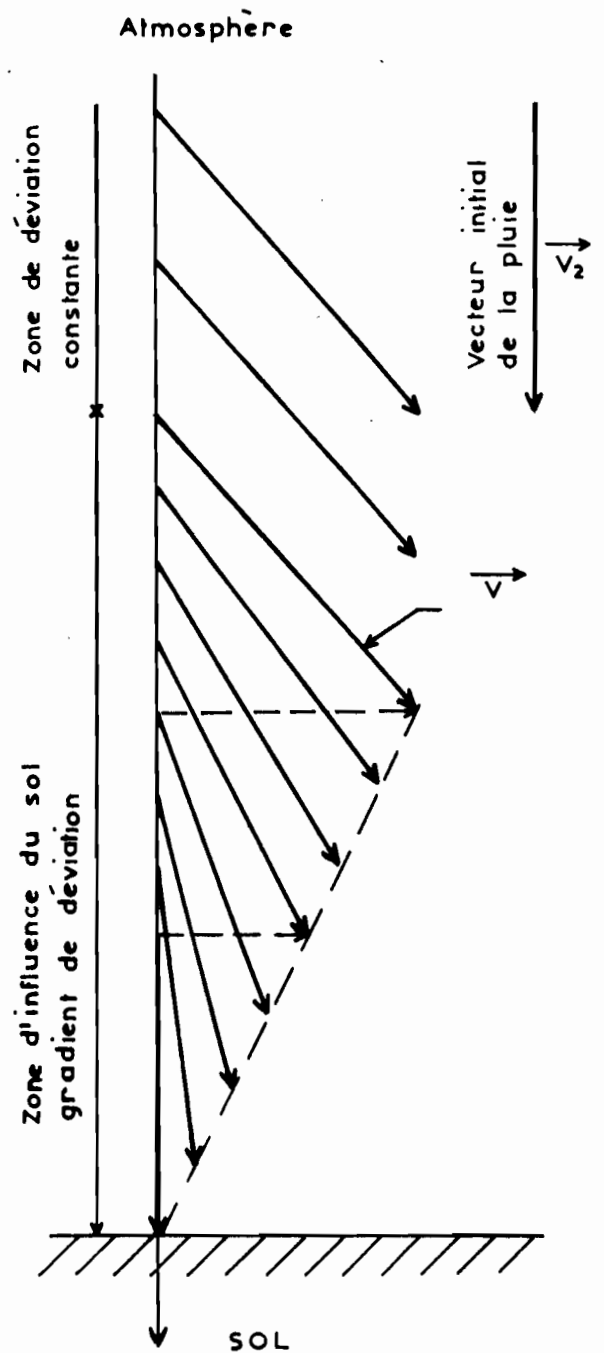


Fig. 33 ILLUSTRATION SCHEMATIQUE DE L'INCIDENCE  
DU CONTACT AIR-SOL SUR LE VENT ET LA PLUIE

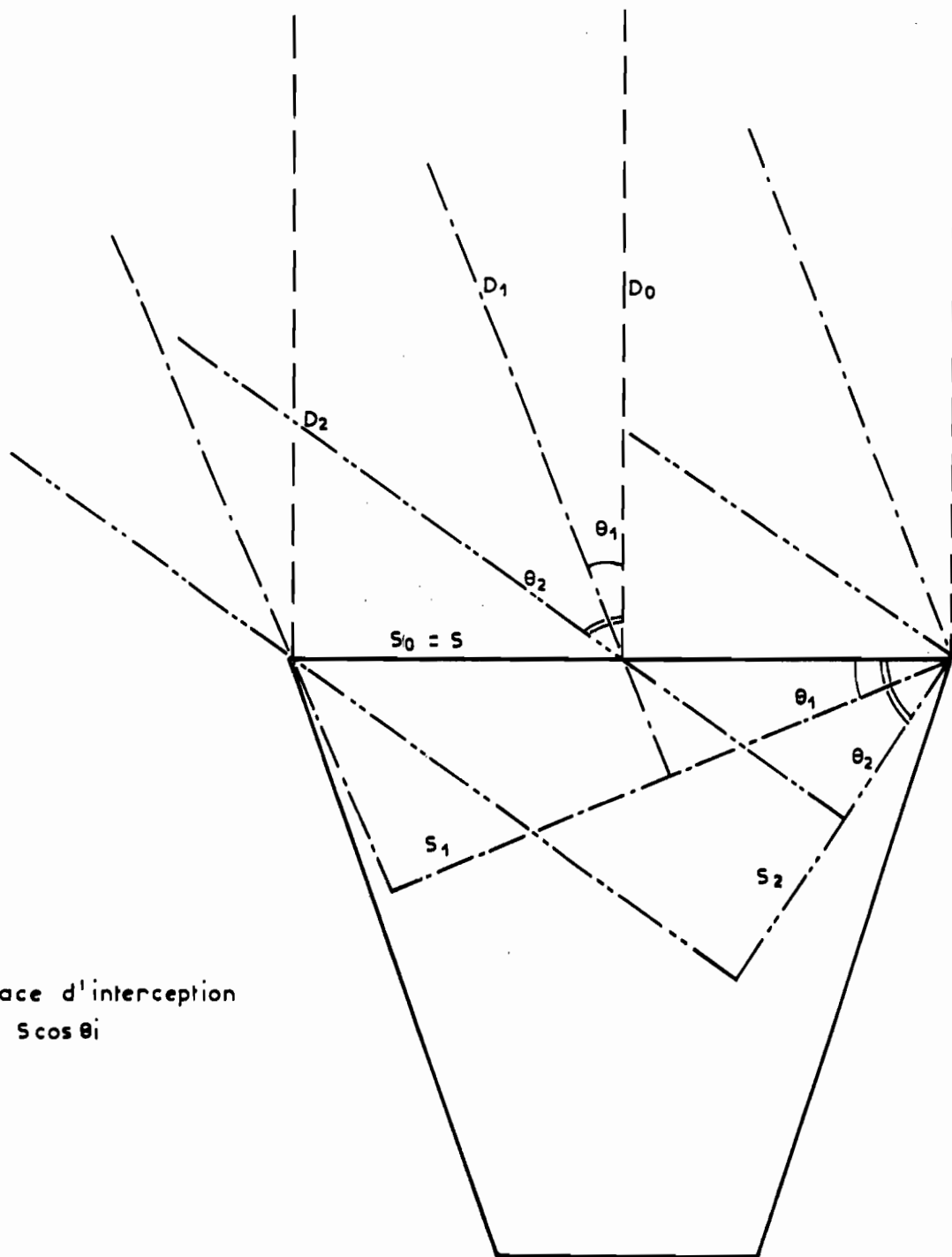


A - Circulation lumineuse de l'air  
Incidence du contact air-sol



B - Déviation de la pluie  
sous l'action du vent

Fig. 34 COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT LA VARIATION DE L'INTERCEPTION D'UN PLUVIOMETRE EN FONCTION DE LA DIRECTION DE LA PLUIE



Surface d'interception  
 $S_i = S \cos \theta_i$

Fig. 35A ANALYSE FREQUENTIELLE DE LA PLUVIOMETRIE DE LA 23<sup>e</sup> DECADE  
A GOROM-GOROM ET MARKOYE

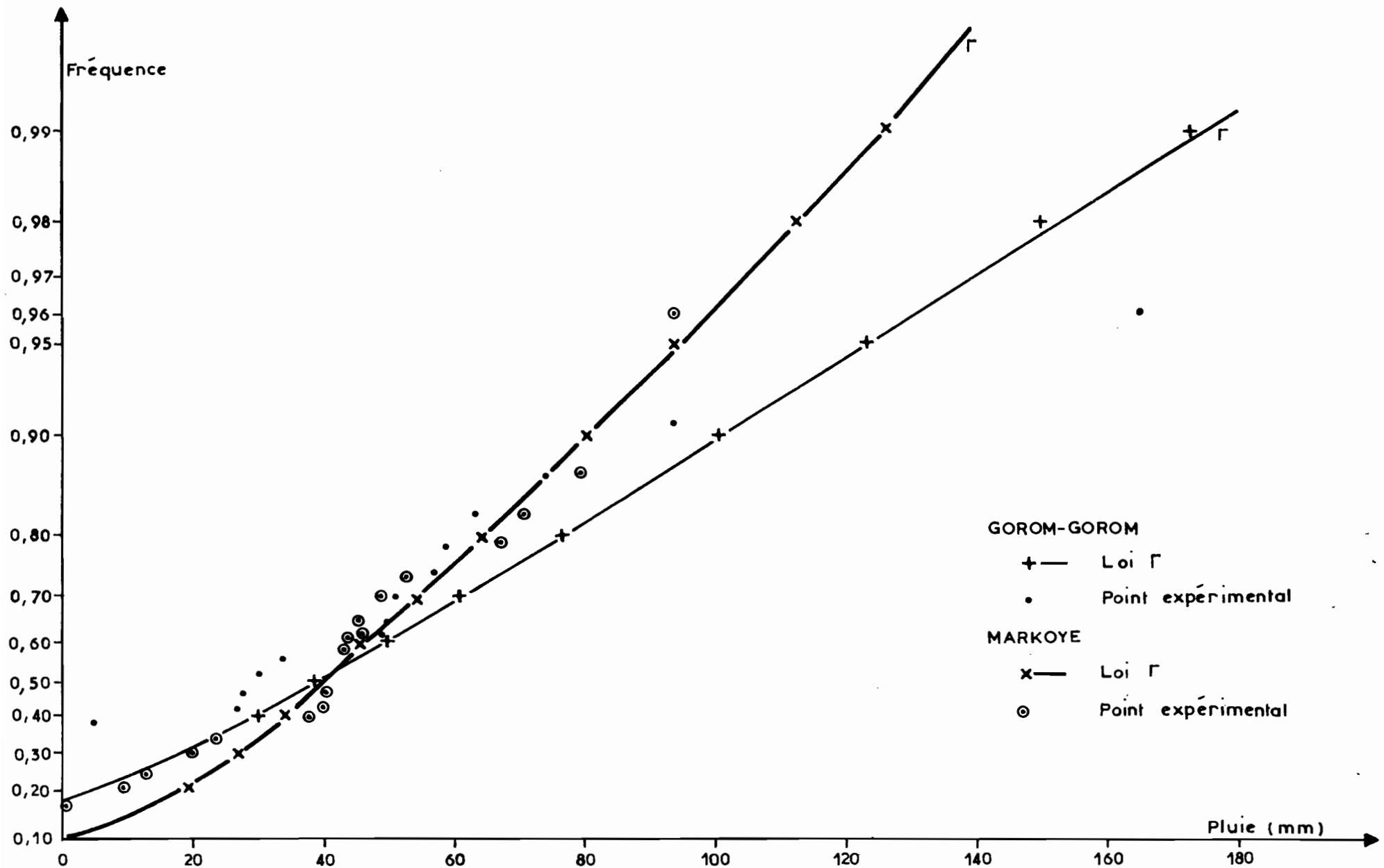




Fig. 35B ANALYSE FREQUENTIELLE DE LA PLUVIOMETRIE DE LA 26<sup>e</sup> DECADE  
A GOROM-GOROM ET MARKOYE

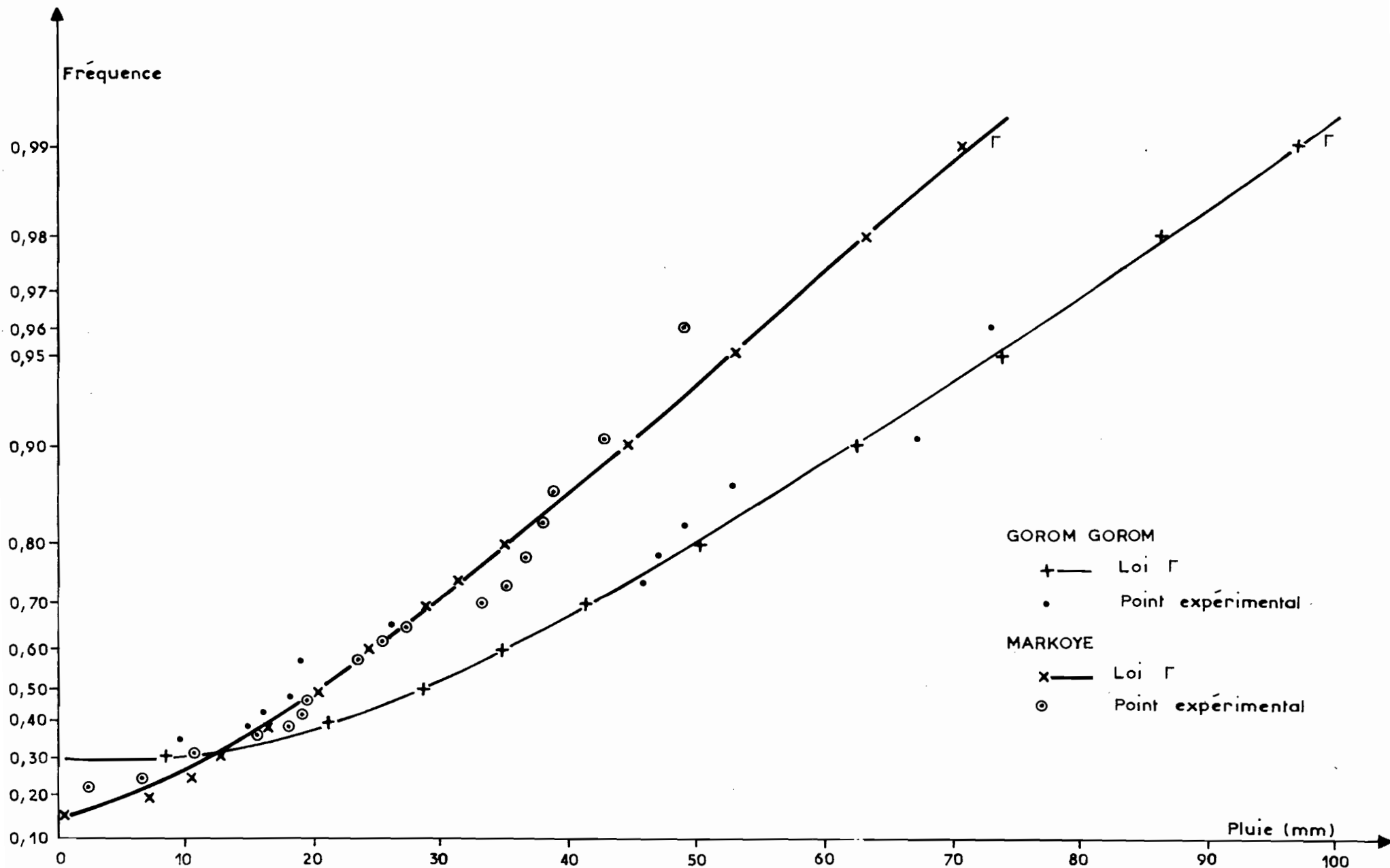


Fig. 35C ANALYSE FREQUENTIELLE DE LA PLUVIOMETRIE DE LA 28<sup>e</sup> DECADE  
A GOROM-GOROM ET MARKOYE

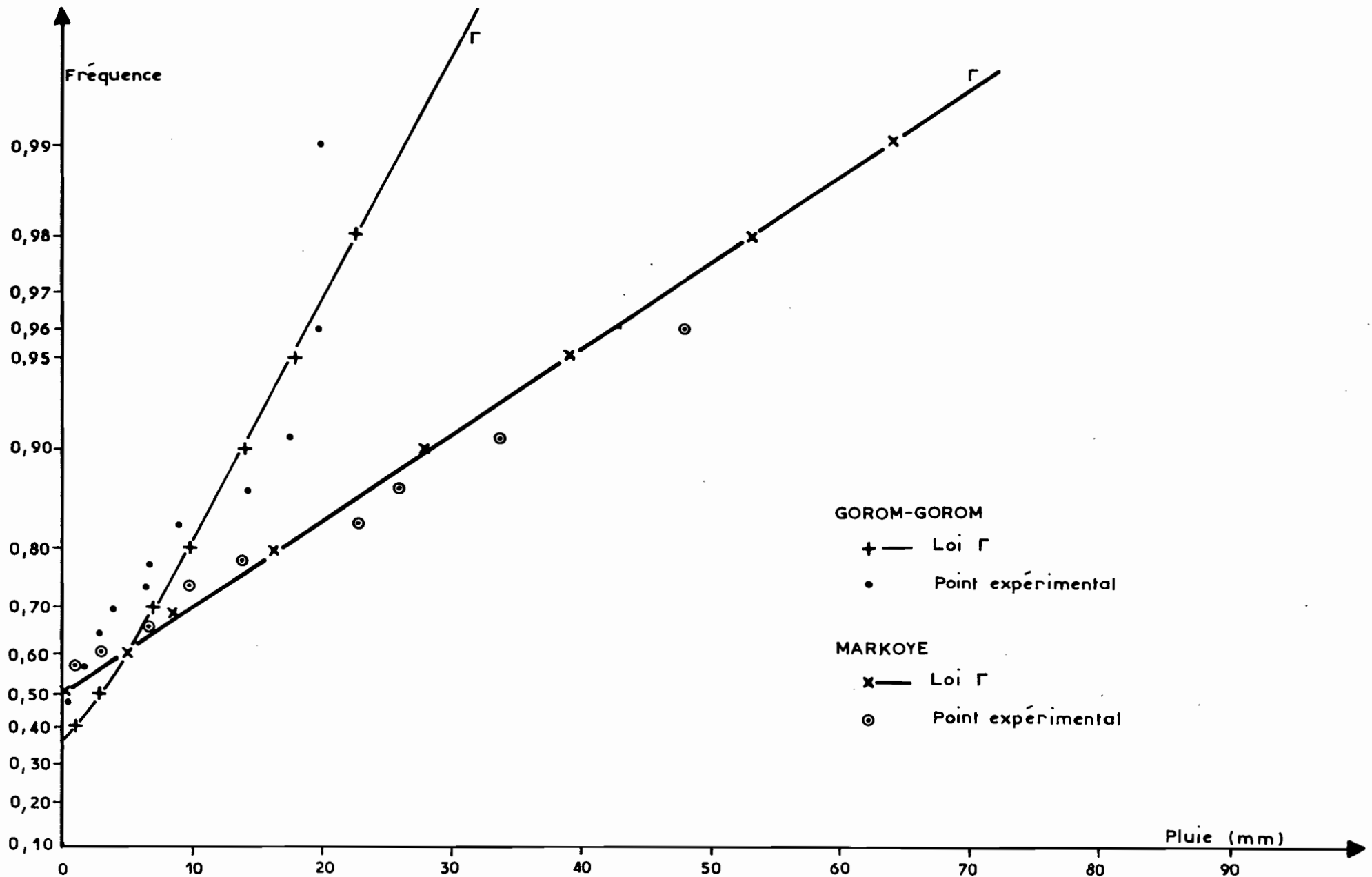


Fig. 36 A DISTRIBUTION PLUVIOMETRIQUE FREQUENTIELLE DECADEIRE

A GOROM-GOROM ET MARKOYE

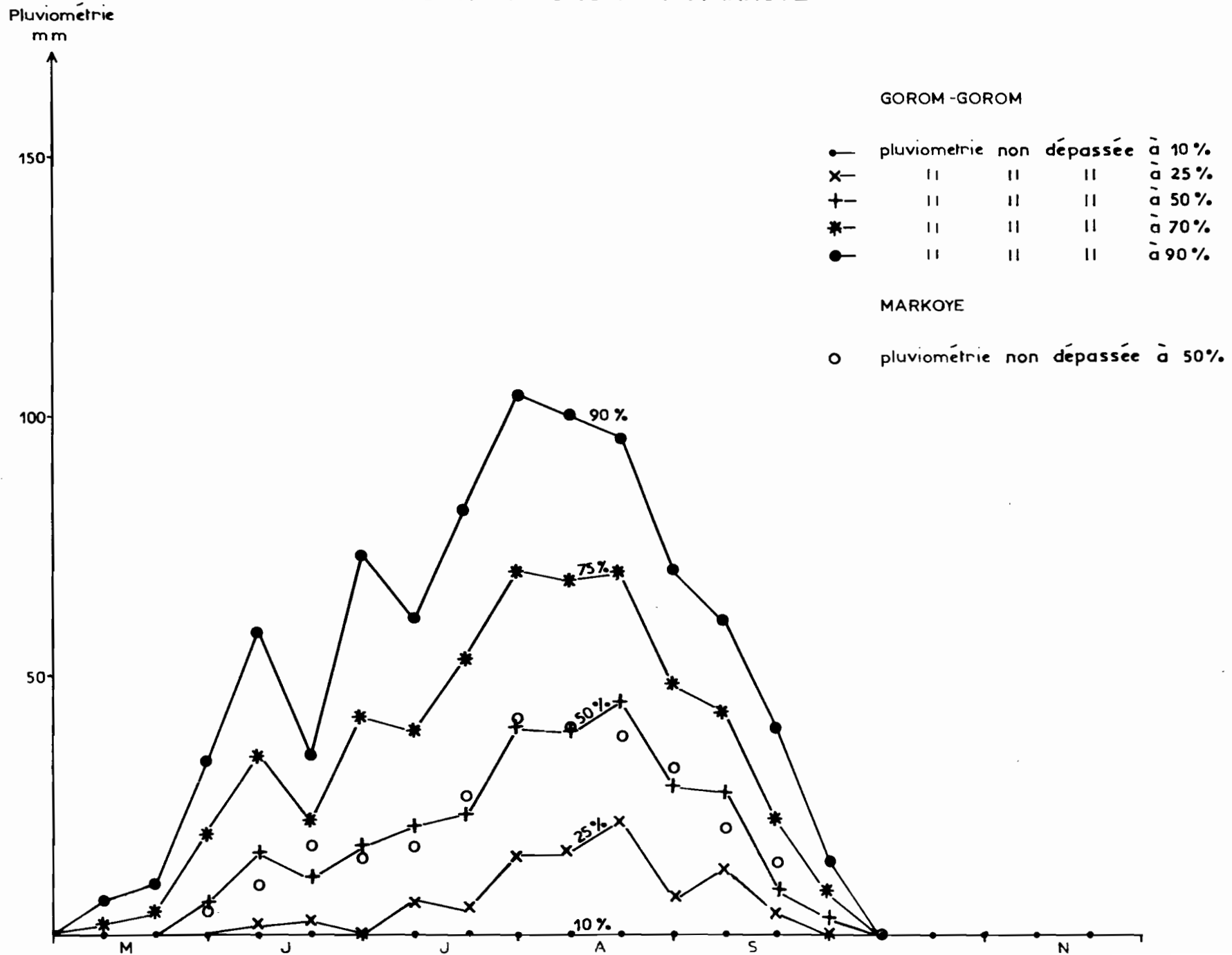


Fig. 36B DISTRIBUTION PLUVIOMETRIQUE FREQUENTIELLE DECADAIRE  
A MARKOYE ET GOROM-GOROM

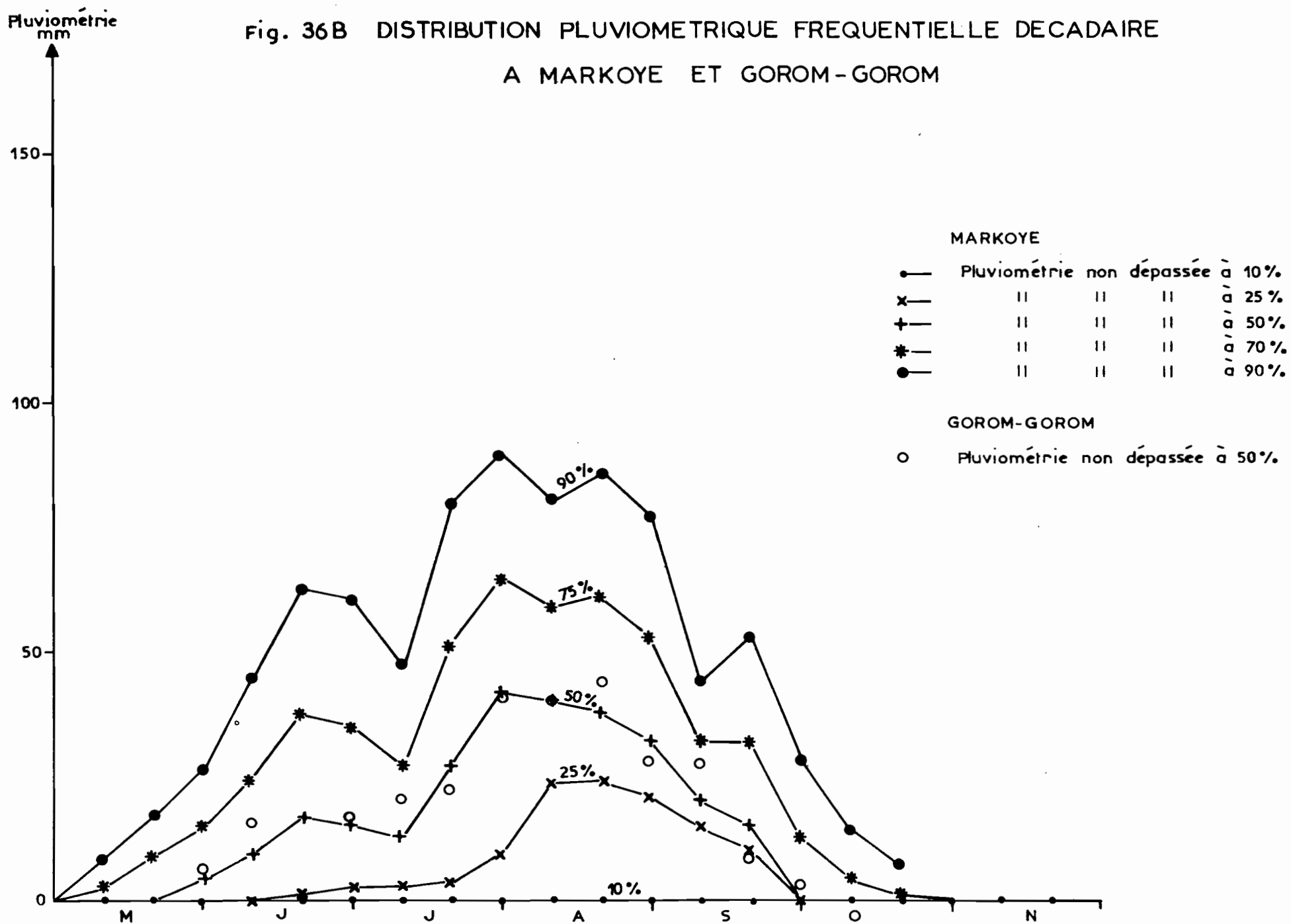


Fig. 37 EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE A MARKOYE ET GOROM-GOROM  
(Moyenne des deux stations)

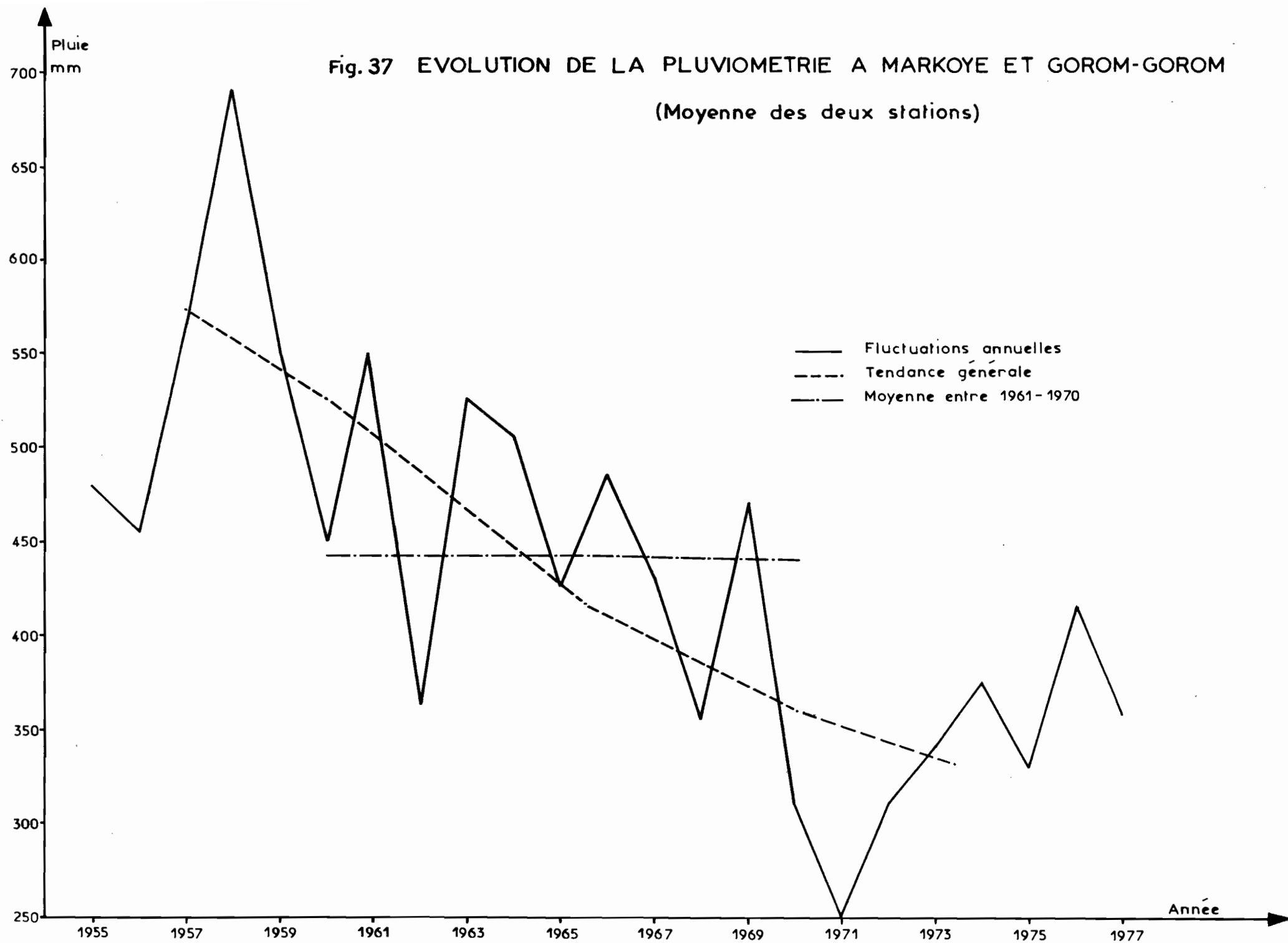


Fig. 38 PLUVIOMETRIE ANNUELLE DE DORI

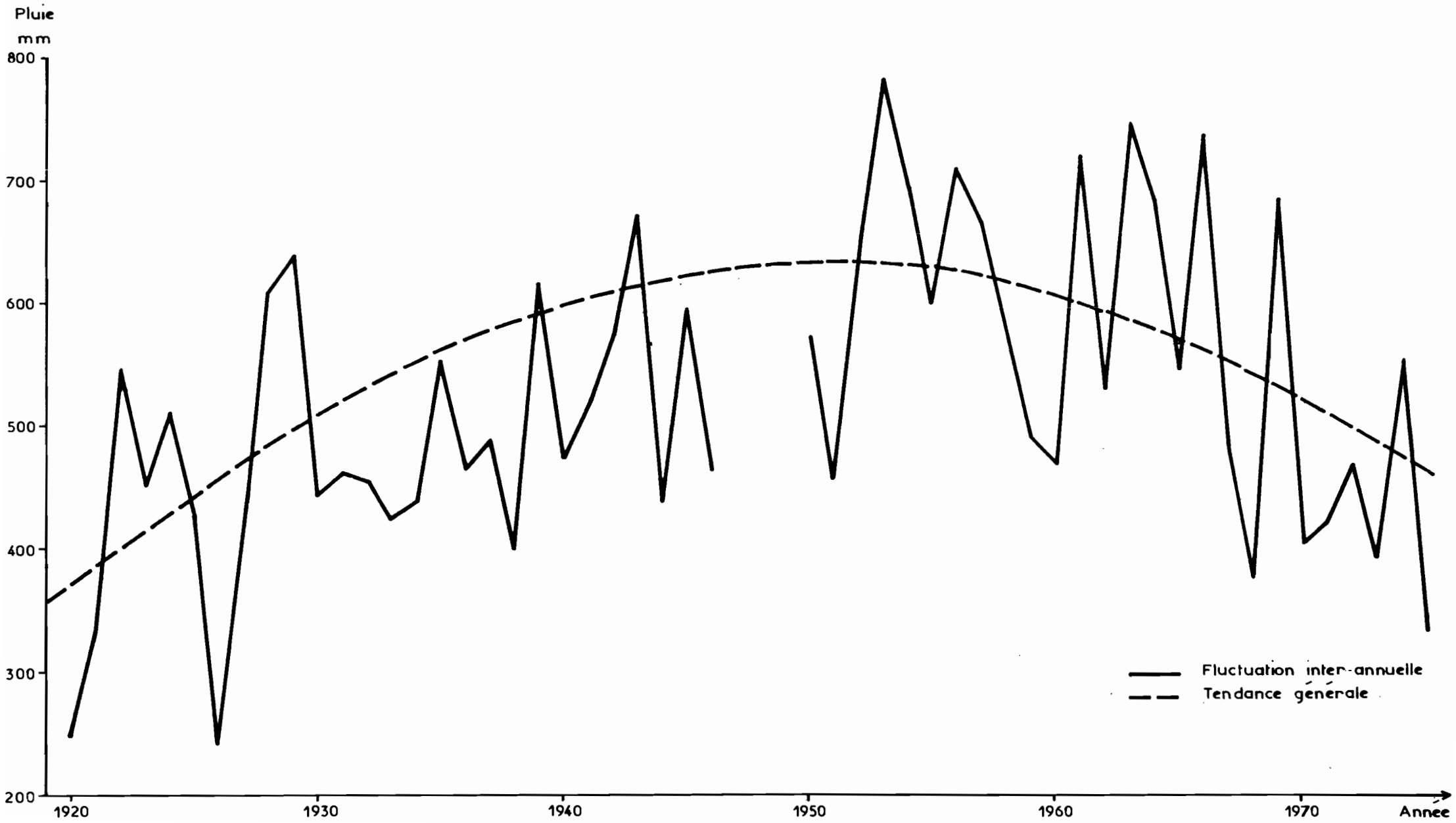


Fig. 39A ETUDE d'UN CYCLE DE DESSECHEMENT DU SOL EN PIEMONT  
 DE KOEL (Cep) à PARTIR DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN

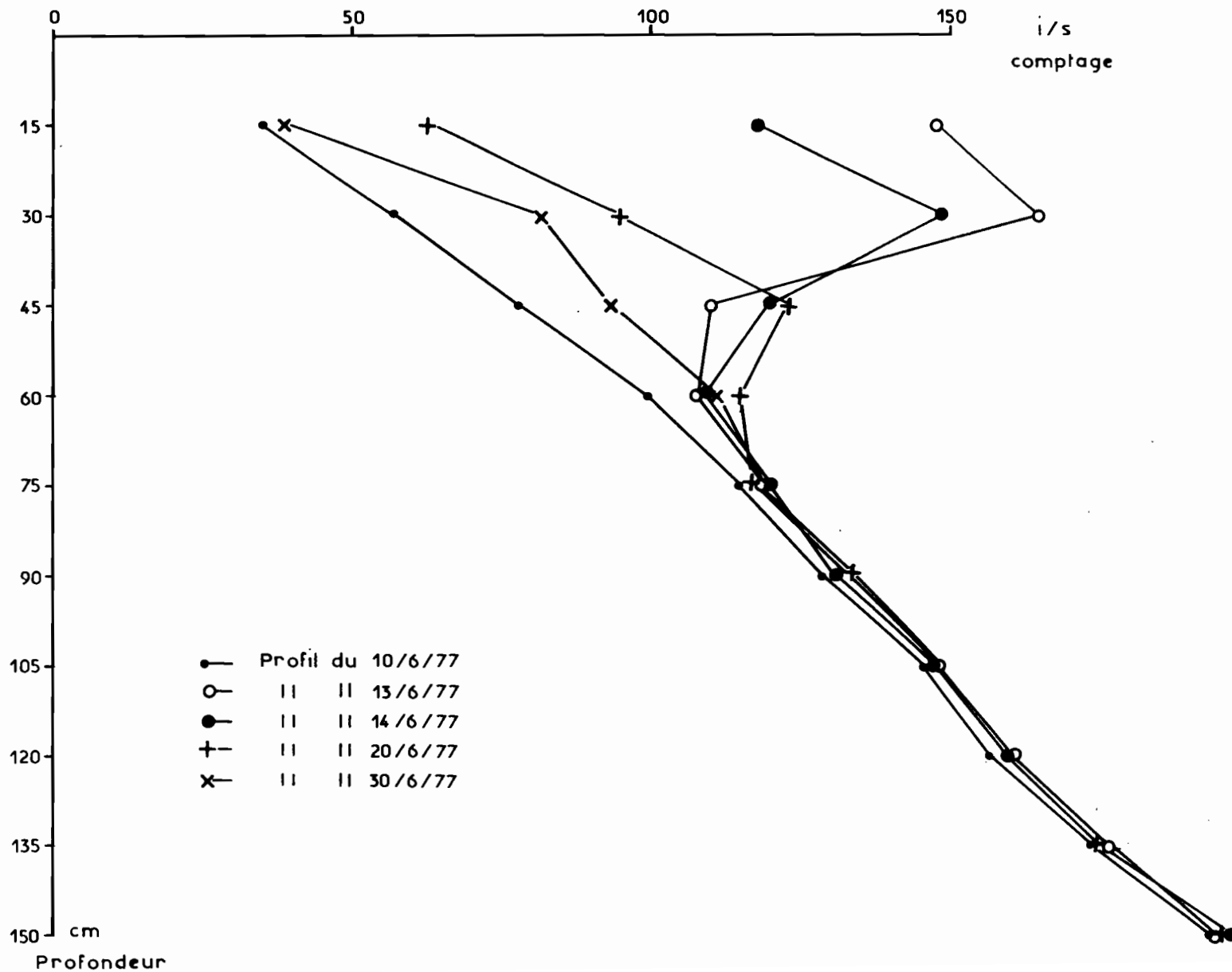


Fig. 39B KOEL PIEMONT  
 HUMECTATION ET DESSECHEMENT AUTOUR DU TUBE 0  
 ENTRE DEUX RELEVES DECADAIRES

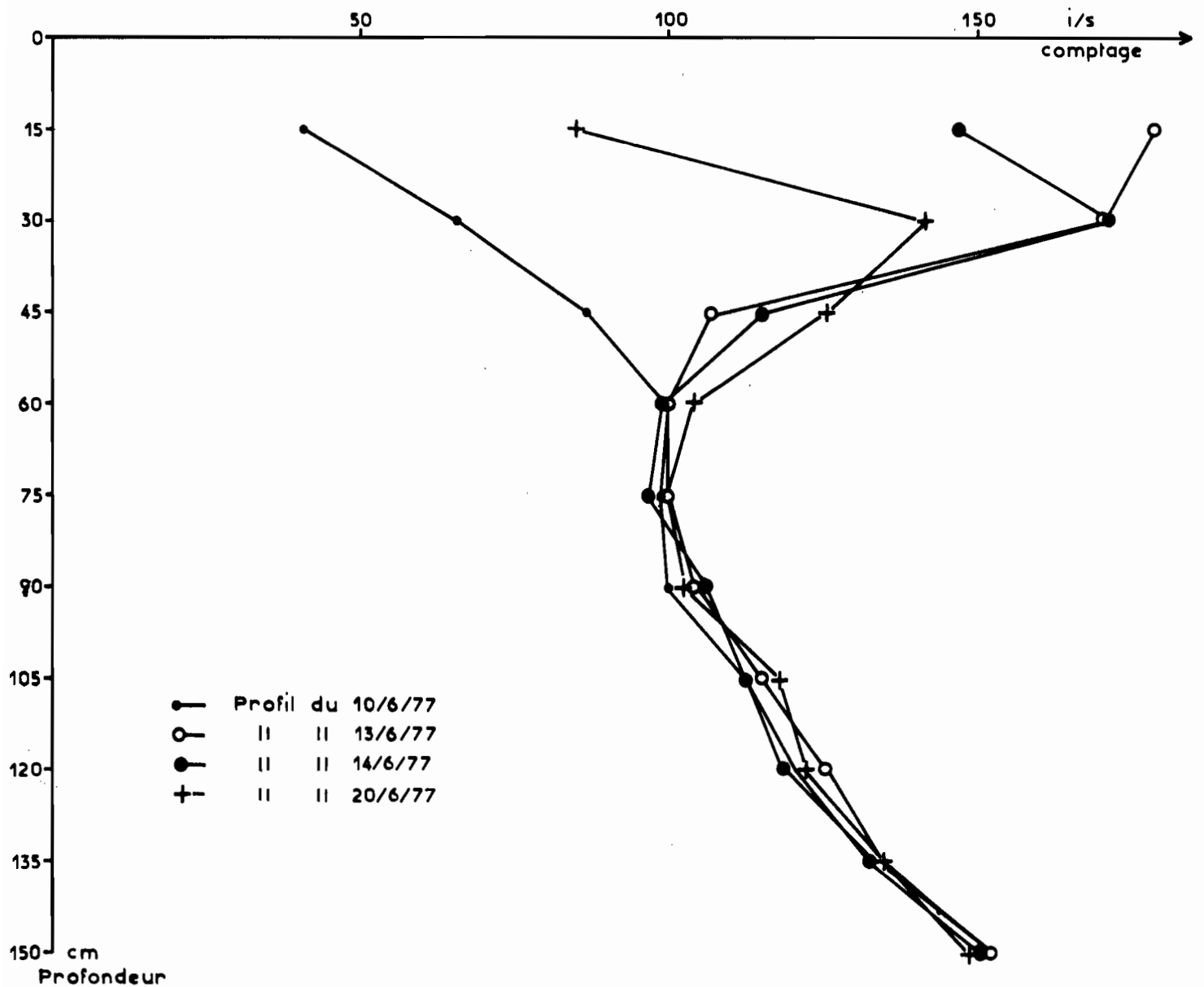




Fig. 39C KOEL PIEMONT  
 HUMECTATION ET DESSECHEMENT AUTOUR DU TUBE 1  
 ENTRE DEUX RELEVES DECADEAIRES

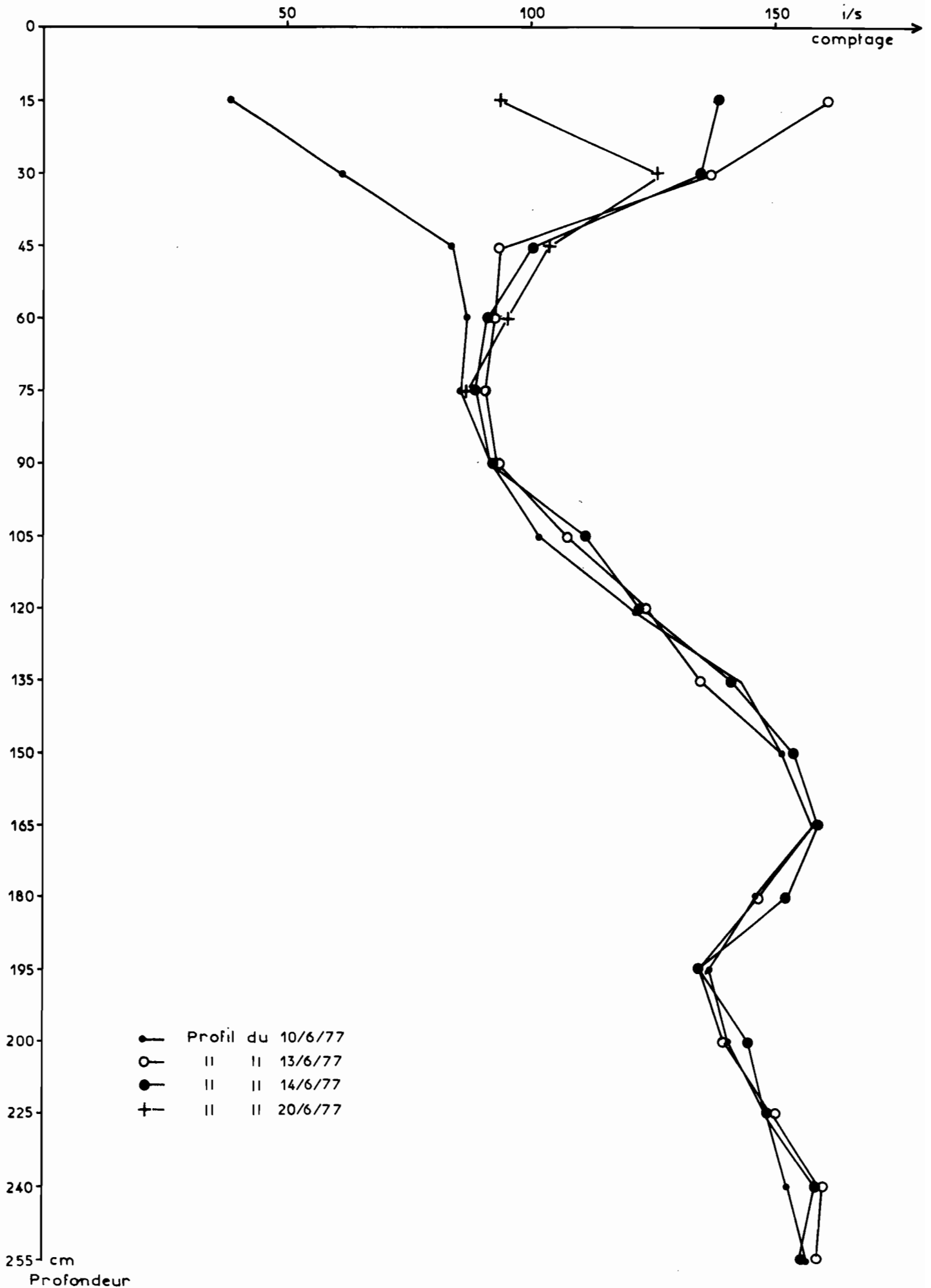


Fig. 39D KOEL PIEMONT

HUMECTATION ET DESSECHEMENT AUTOUR DU TUBE 2  
ENTRE DEUX RELEVES DECADAIRES

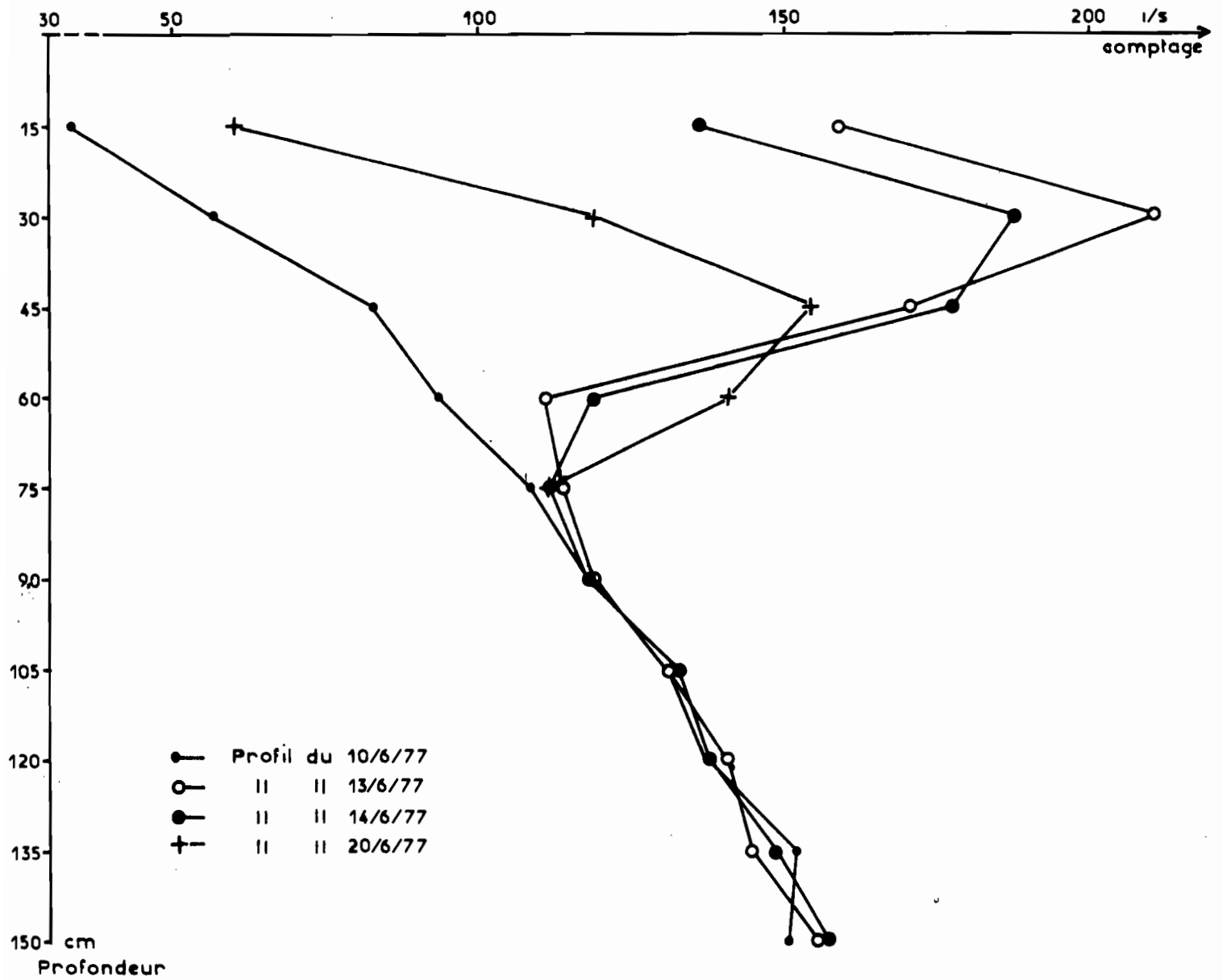


Fig. 39E KOEL PIEMONT  
 HUMECTATION ET DESSECHEMENT AUTOUR DU TUBE 3  
 ENTRE DEUX RELEVES DECADAIRES

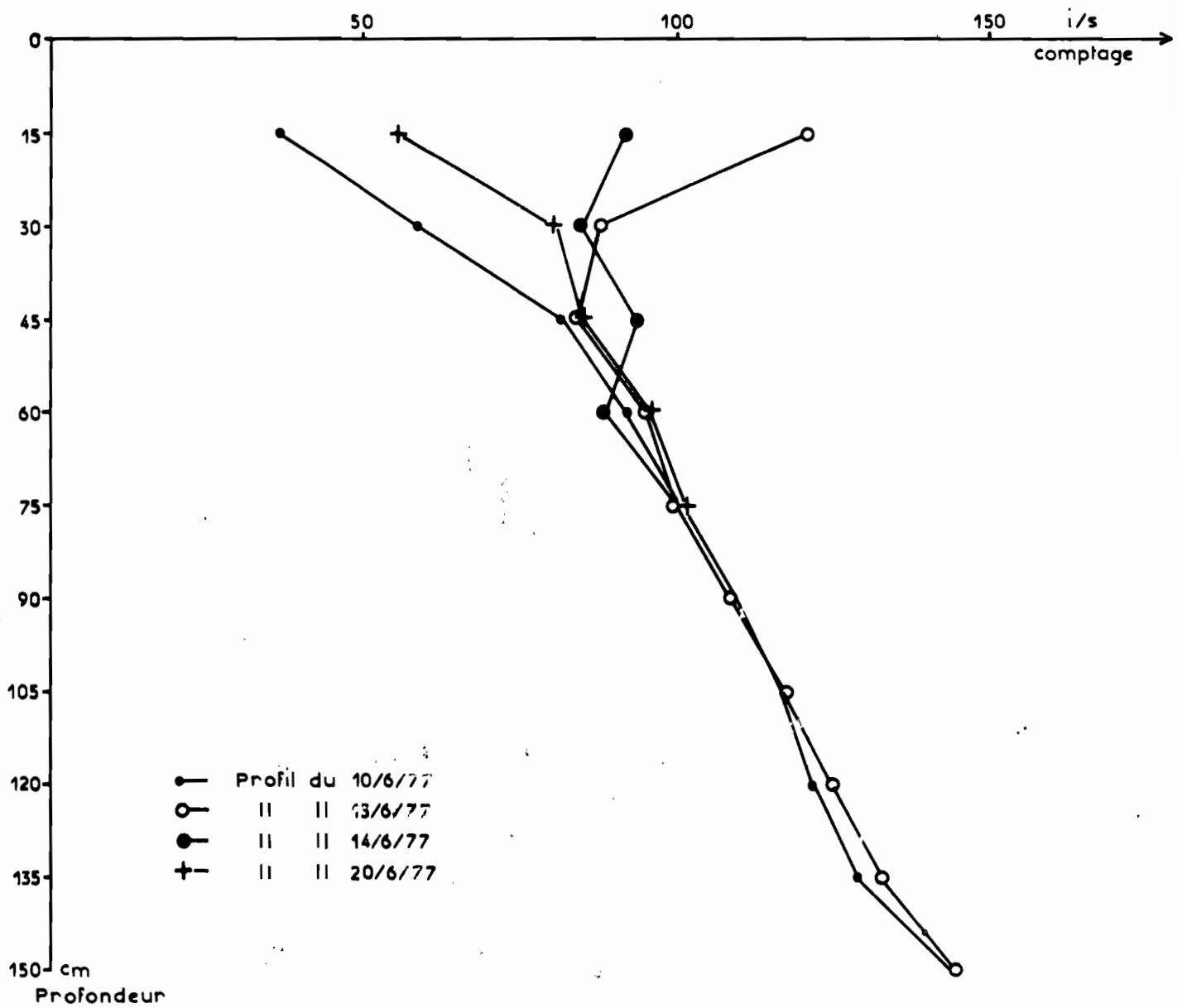


Fig. 39F KOEL PIEMONT

HUMECTATION ET DESSECHEMENT AUTOUR DU TUBE 4  
ENTRE DEUX RELEVES DECADAIRES

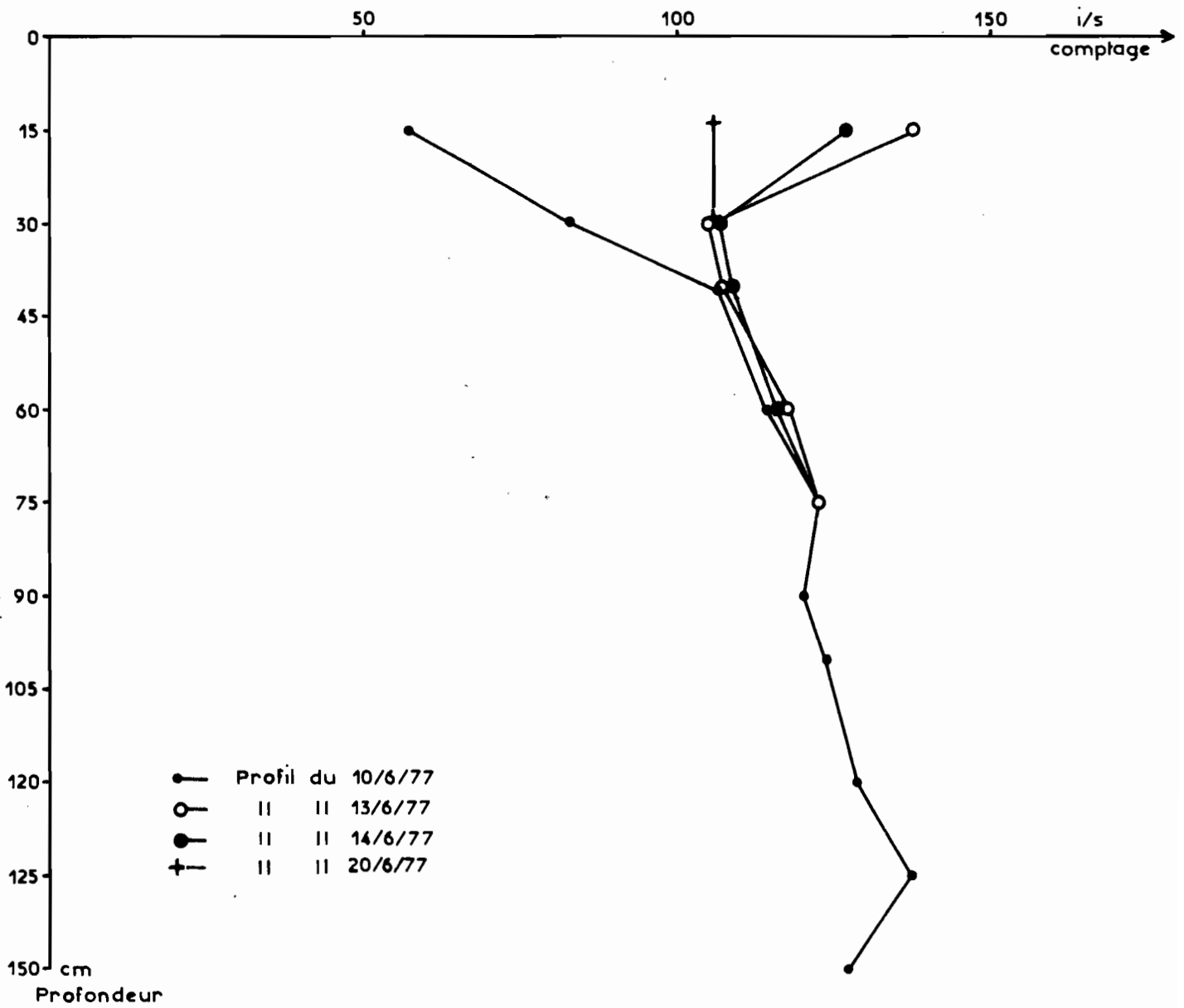
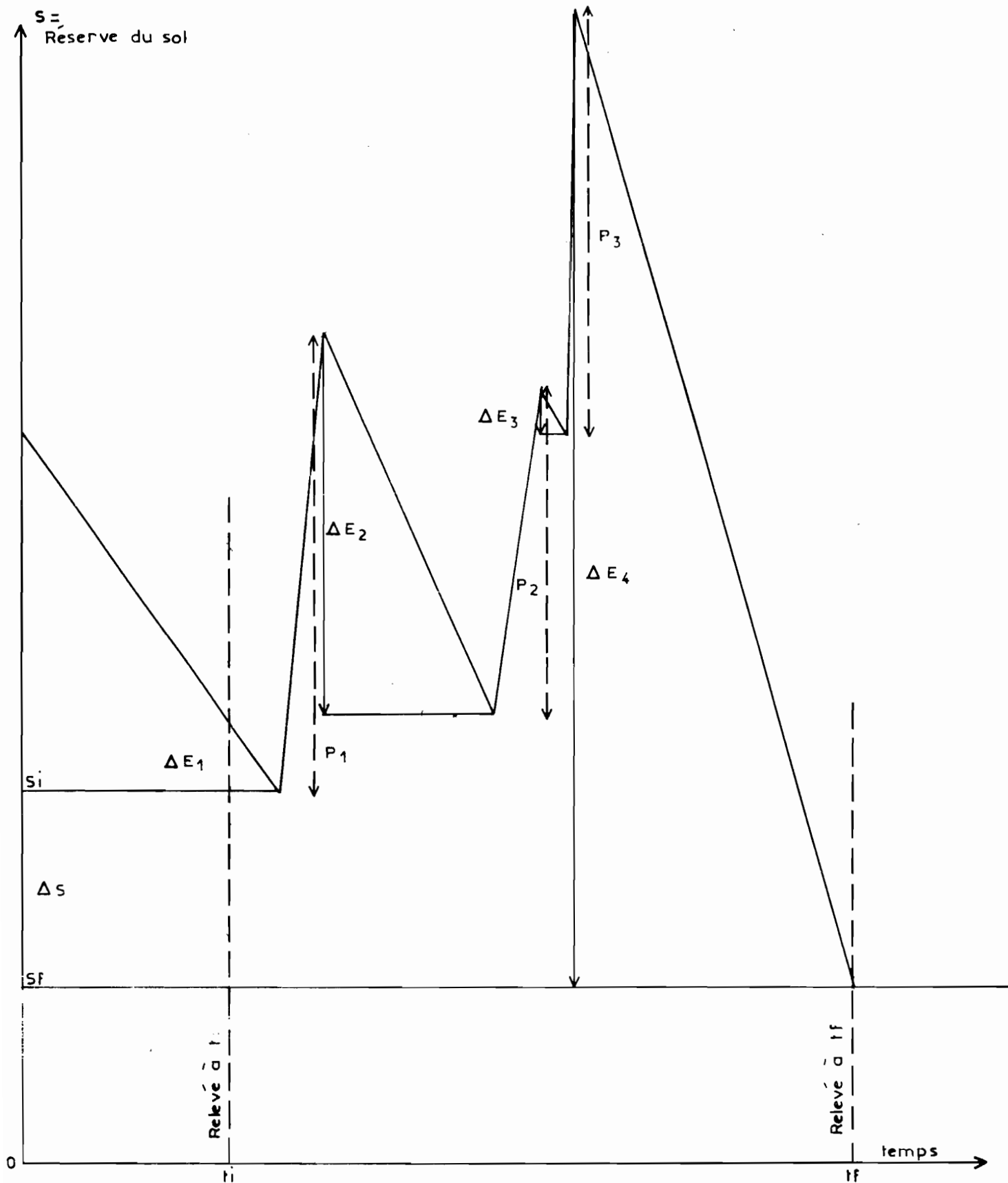


Fig. 40 EXEMPLE DE FLUCTUATION DE LA RESERVE HYDRIQUE DU SOL ENTRE DEUX RELEVES



$S_i$  = Réserve initiale  
 $S_f$  = Réserve finale  
 $P_1 - P_3$  = Elevation intermédiaire de S  
 $\Delta E_1 - \Delta E_4$  = Baisse intermédiaire de la réserve

Fig. 41 KOEL PIEMONT  
PROFILS DE LA SURFACE PARCELLAIRE  
LE LONG DE LA PENTE

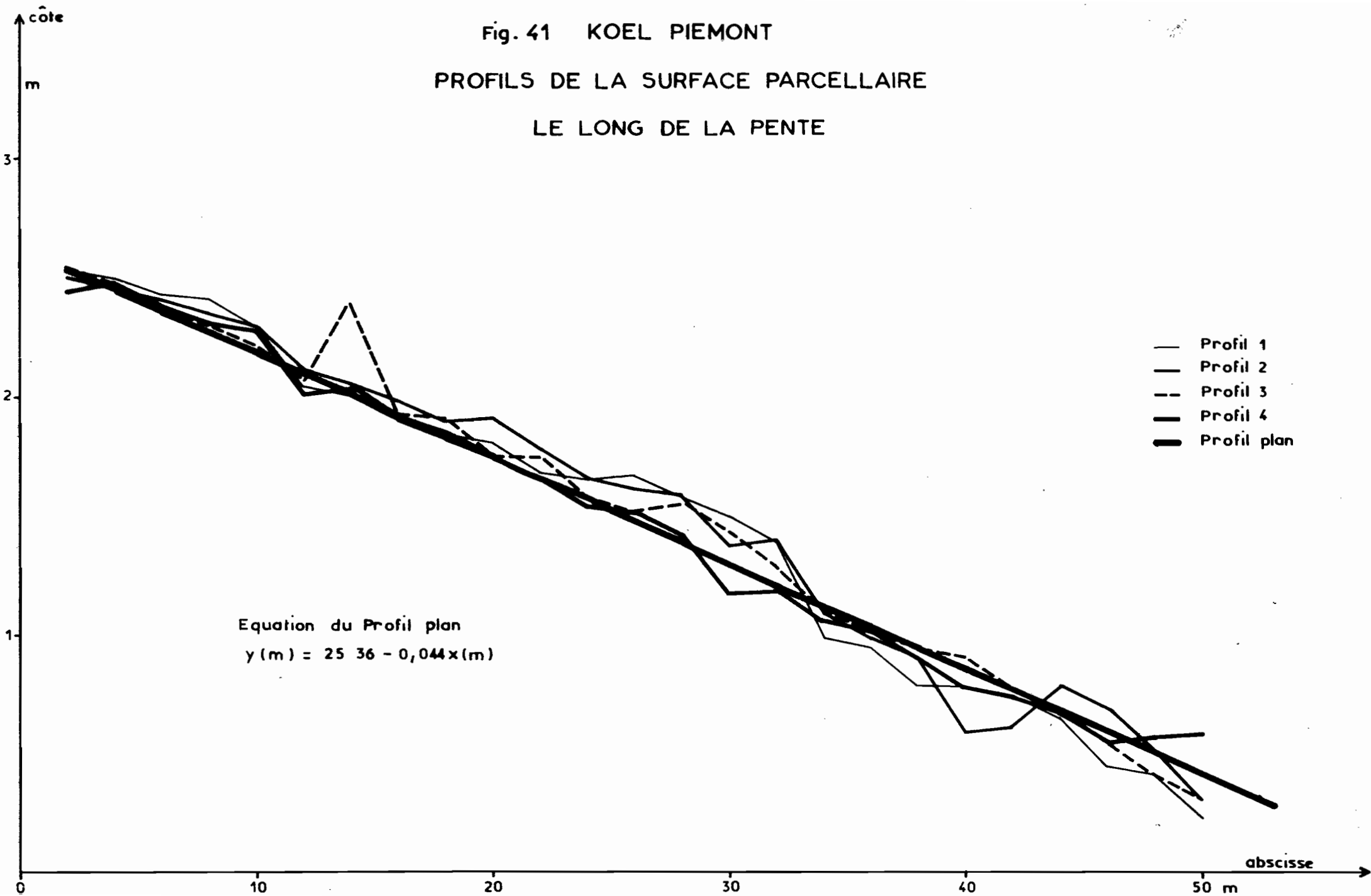


Fig. 42 SCHEMA EVOLUTIF DU MICRORELIEF

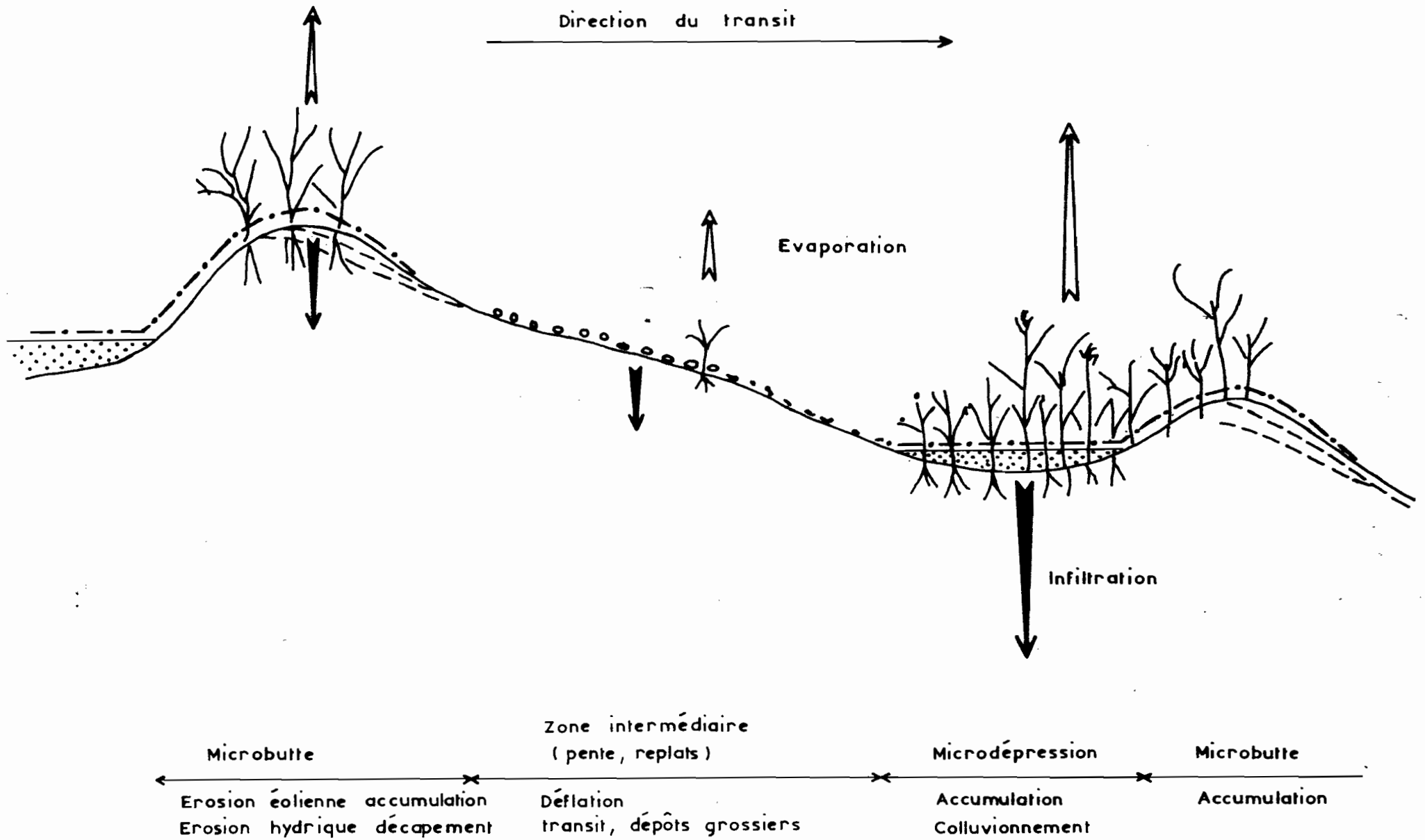


Fig. 43 EVOLUTION DE LA RESERVE HYDRIQUE TOTALE DES SOLS  
DES DIFFERENTES STATIONS (i/s) sur 150 cm d'épaisseur

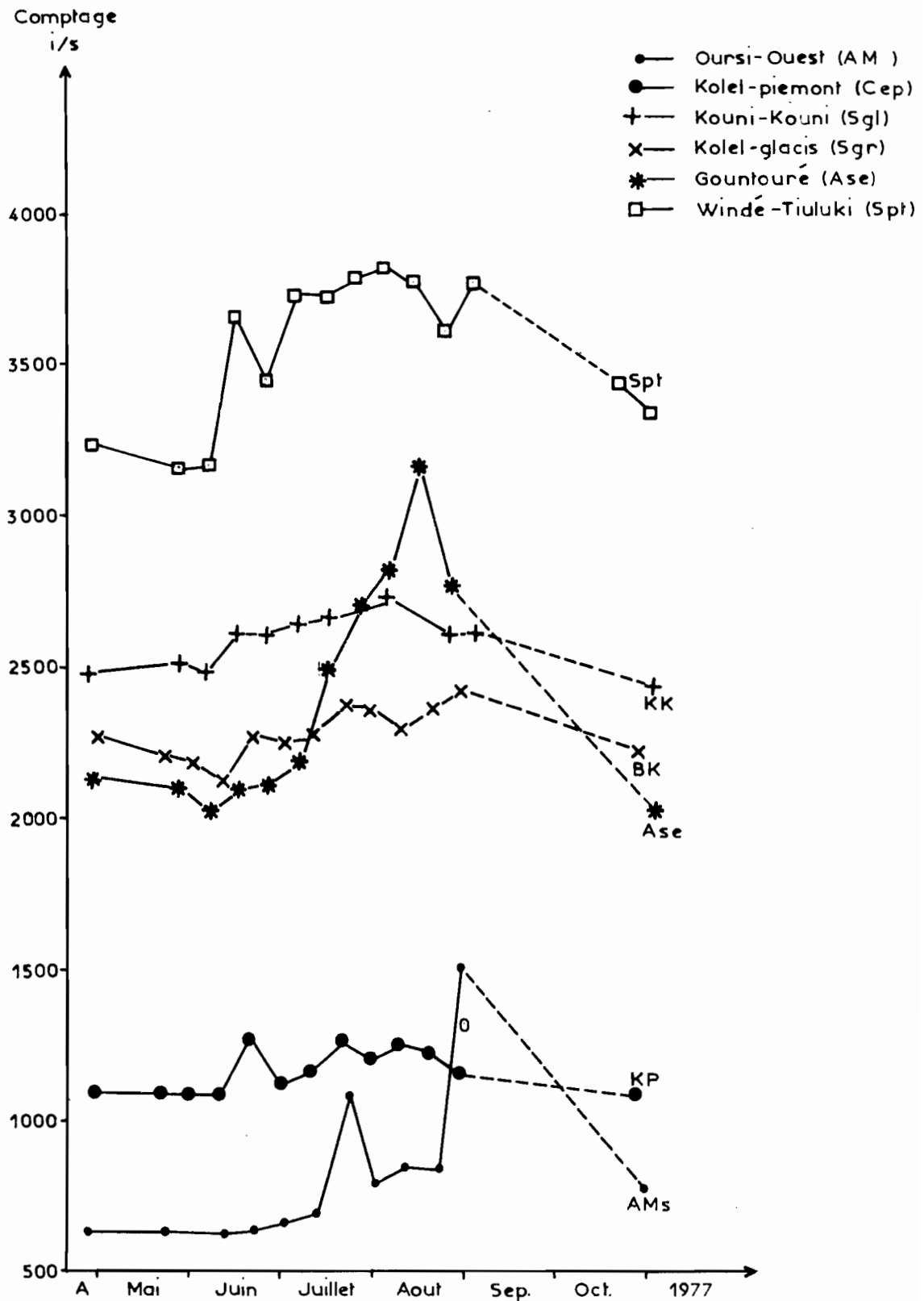




Fig. 44 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
SUR LA DUNE (AMs)

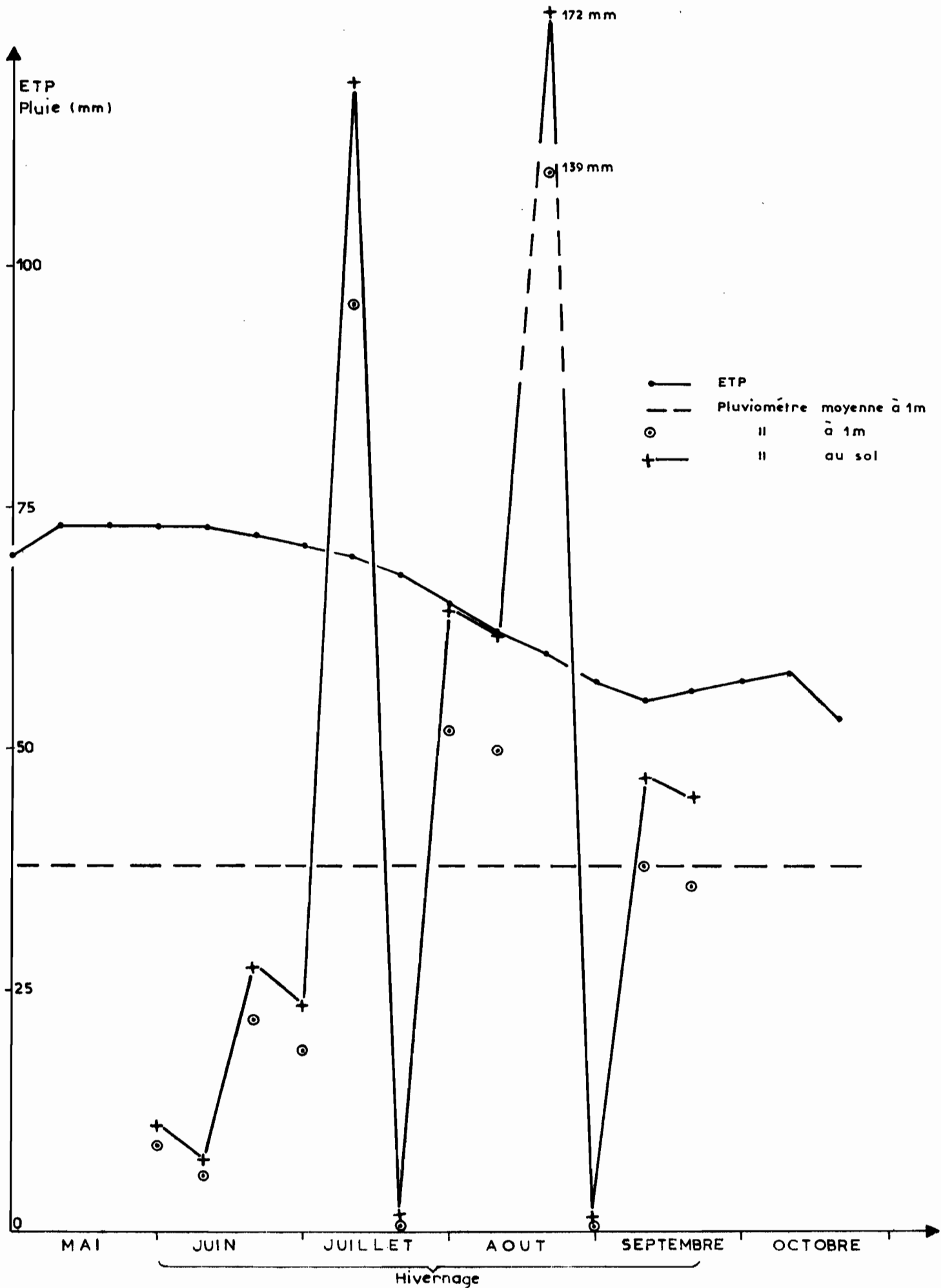


Fig. 45 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
DANS LE PIEMONT DE KOLEL (Cep)

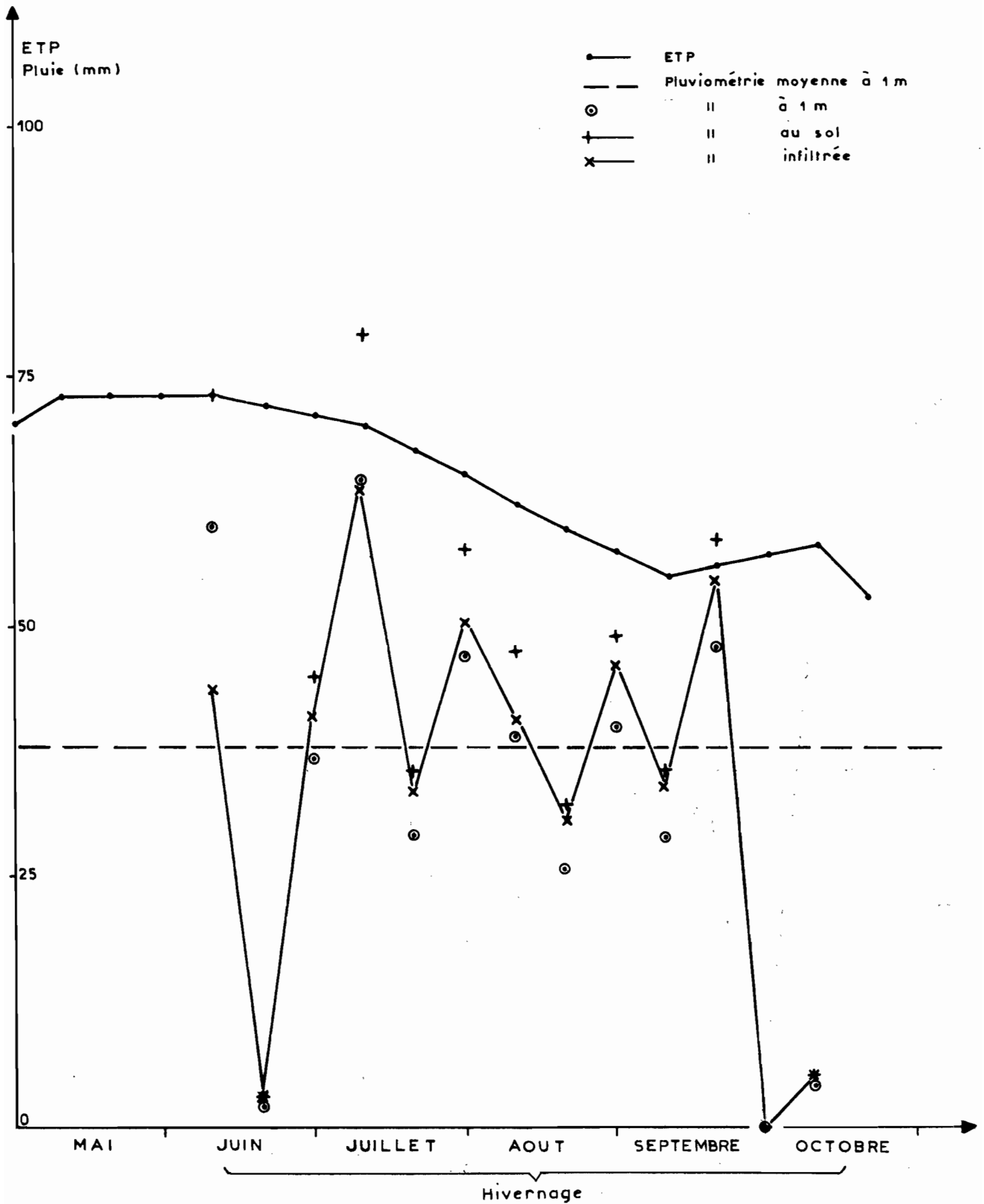


Fig. 46 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
DANS LE GLACIS DE KOUNI-KOUNI

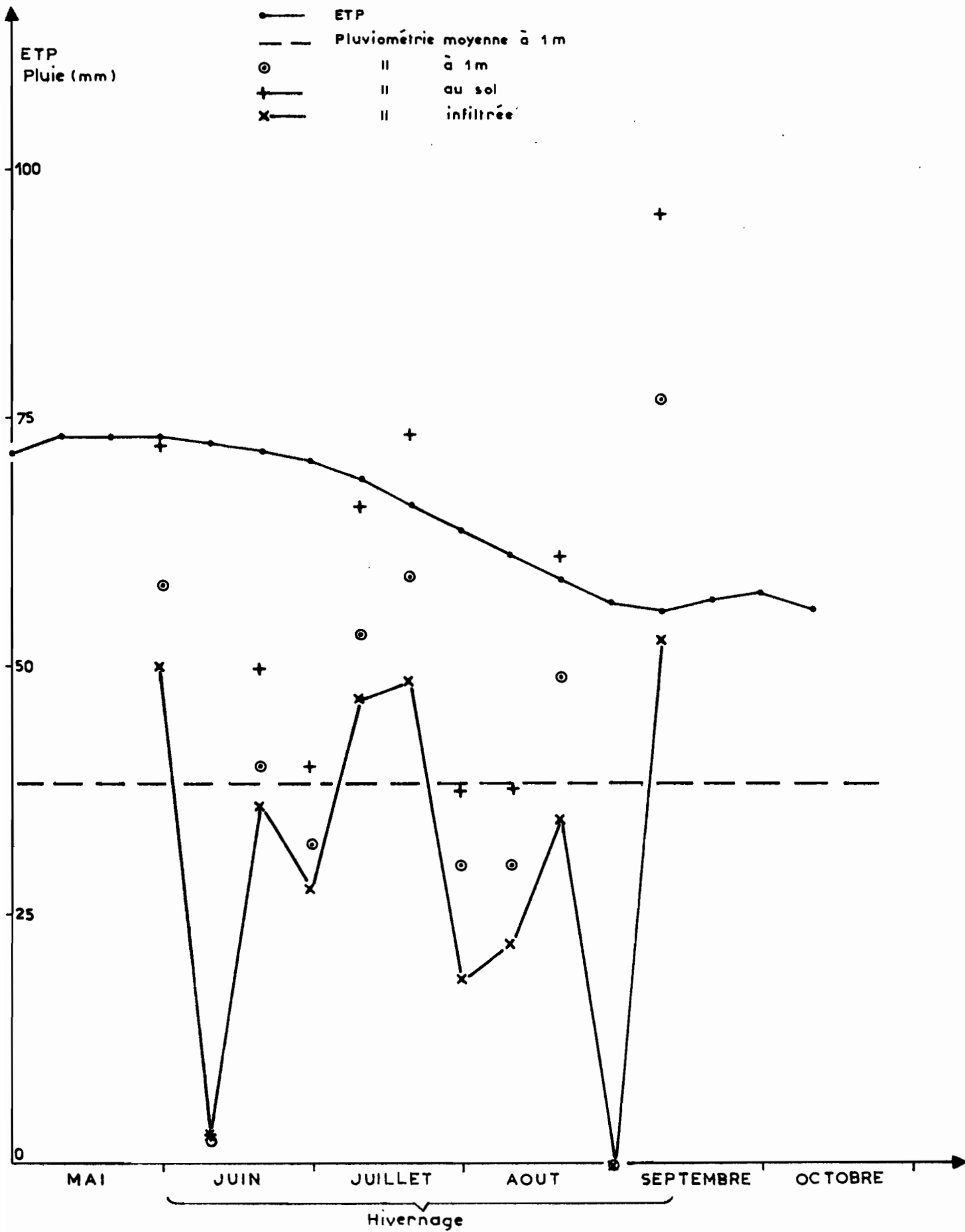


Fig. 47 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
DANS LE GLACIS DE KOLEL (Sgr)

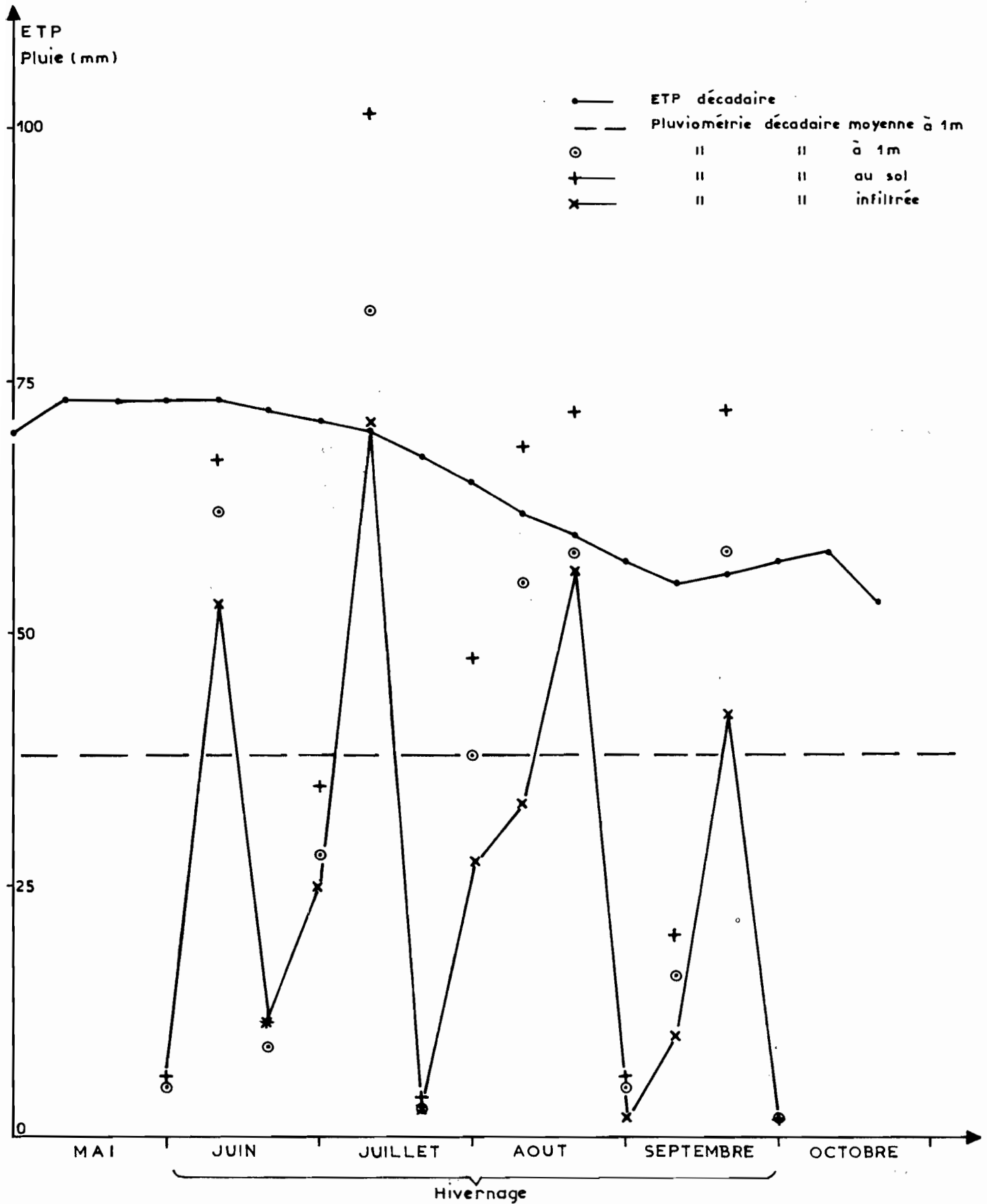


Fig. 48 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
 DANS LE BAS-FOND DE VINDE-TIULUKI (Spt)

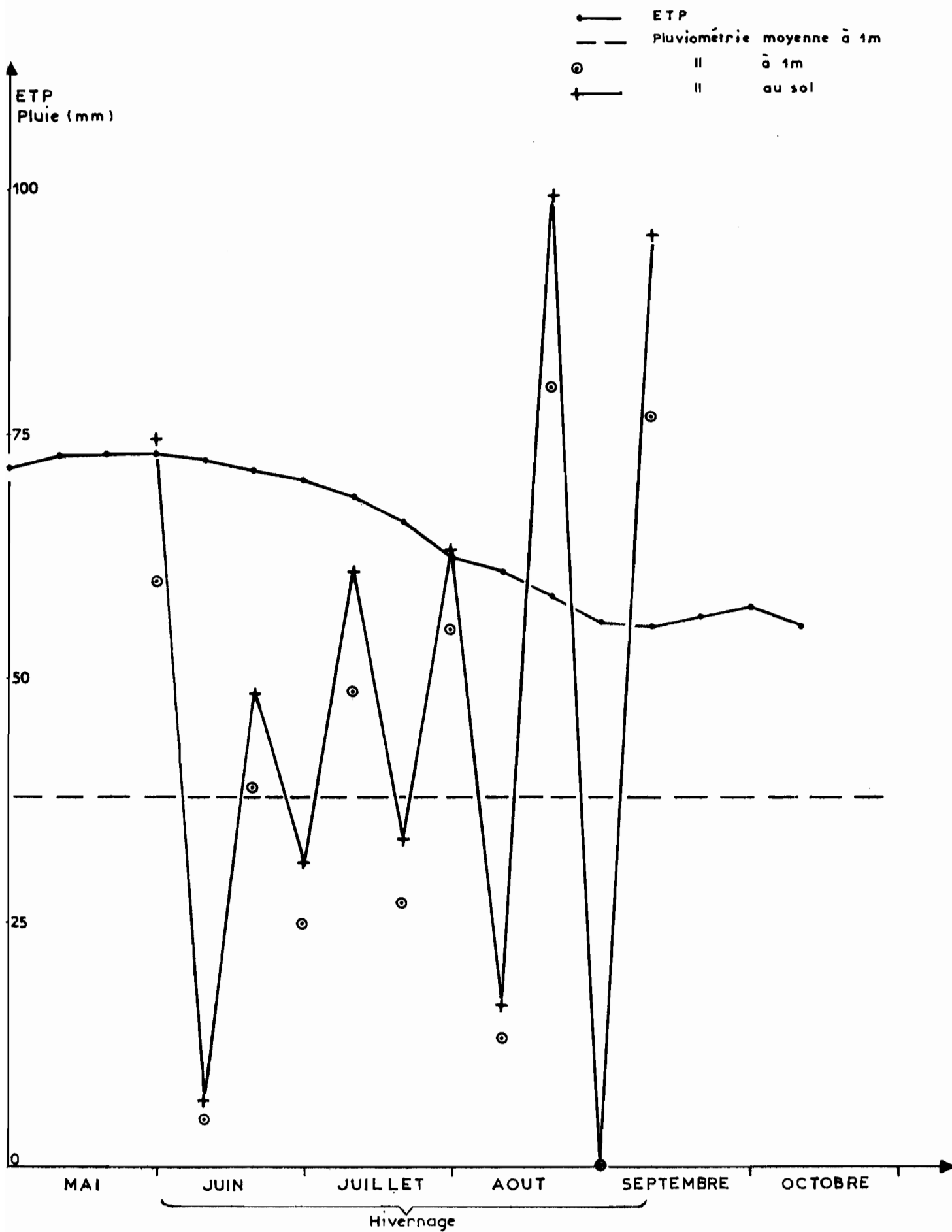
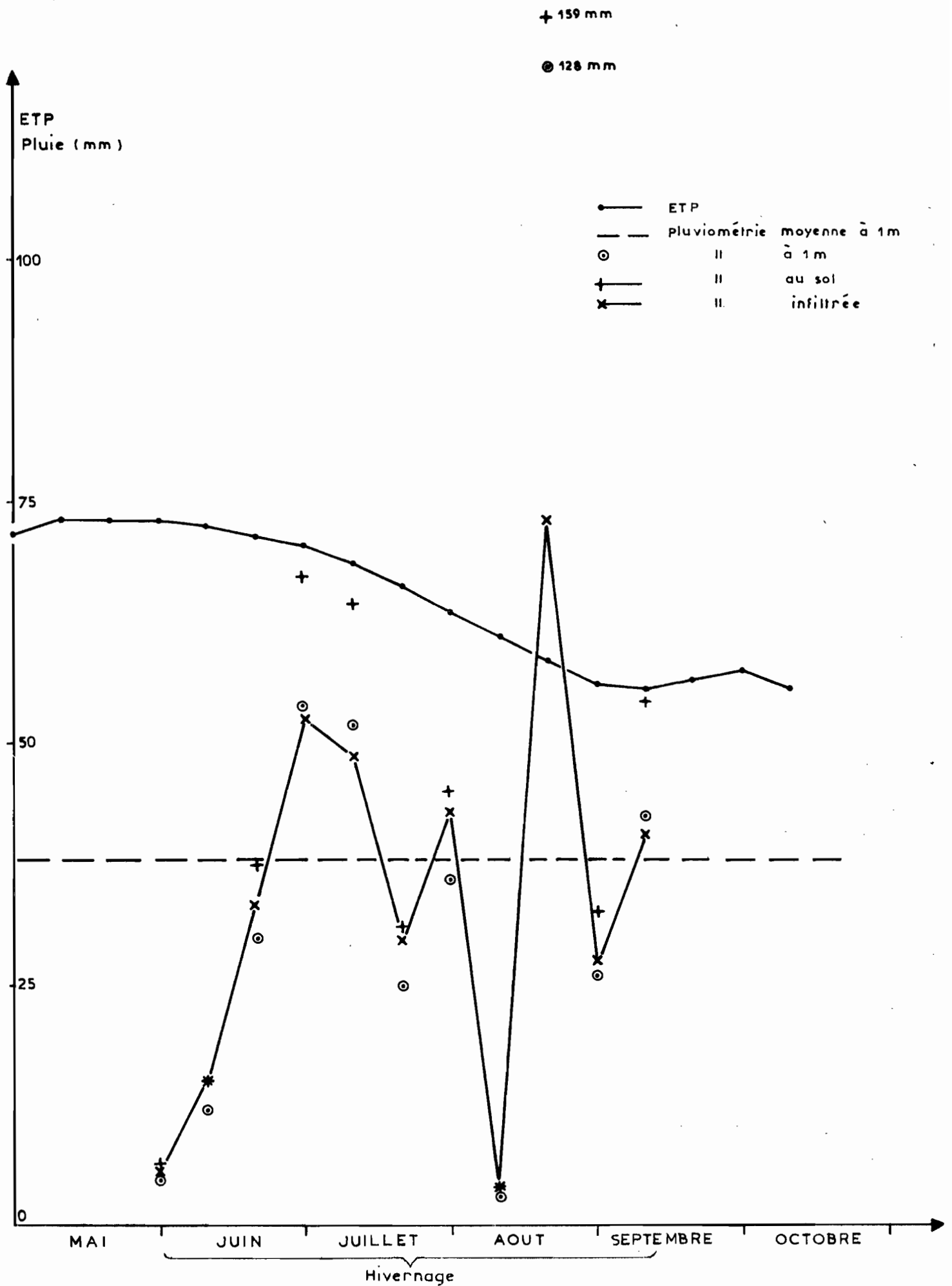


Fig. 49 BILAN HYDRIQUE THEORIQUE DECADEIRE  
DANS LE GLACIS DE GOUNTOURE (Ase)



## ANNEXE III

Description pédologique des sols  
des différentes stations

Notes de terrain de J.C. Leprun

Profil pédologique : Koel Pied de la montagne PARA 1

8	x	Sable particulaire plus ou moins lamellaire. Lits limoneux et humiques, lits de sables grossiers alternés. Les graminées ont des racines dans cet horizon. Horizon sableux gris brun (sable moyen et fin).
5		Structure 1) Vaguement polyédrique à nuciforme aux graminées. 2) Massive à débit polyédrique
31		Porosité tubulaire très forte due à faune. Présence de canaris gabbro. Porosité texturale tubulaire fine. Effet Mulch Chsion faible. Enr <sup>+</sup> fin assez dv. vertical. Contraste moyen plan. Transition 5 cm. Horizon brun rouge assez foncé, sableux, peut être plus argileux. Structure massive à tendance polyédrique verticale nette. Cohésion d'ensemble moyenne. Cohésion des mottes plus forte qu'en haut. Porosité fine à intersticielle. Porosité large moins bonne. Enracinement fin vertical moyen.
65		

Transition difficile

Horizon brun rouge plus pâle

Présence de canaris. Débris de quartz

Activité biologique (rats rongeurs)

Quelques racines verticales fines. Les racines diminuent nettement en densité.

155		Horizon très homogène. Matériau sableux rouge beige. Structure massive à débit moyen aisé plan.
170		horizon un peu frais. Canaris à plats surface. Quelques racines.

- 
- . Sol brun rouge subaride. Il peut faire passage à un sol ferrugineux.
  - . Diminution de la matière organique jusqu'à 65 cm.
  - . Teneur en eau favorable.
  - . Sol meilleur que PARA 2 favorable à la culture.



Profil pédologique Koel Parcelle PARA2

<u>7,5</u> Yr 6/5	0.5	jaune beige très sableux. Croûte lamellaire dessus limoneux, dessous très mal visible. Structure polyédrique 0,5 à 2 cm subanguleux mal développée. Cohésion d'ensemble moyenne à faible. Cohésion des mottes faibles.
5 <u>7,5</u> Yr 5/5		Porosité tubulaire fine à très fine. Porosité assez bonne sauf en surface. Activité biotique mal visible assez forte localement. Enracinement cultivé : billon et interbillon.
3,75 Yr 5/6	5.20	A11 Gris brun devenant rouge vers le bas C sableux très faiblement argileux (inf. à 5 %). Structure massive à débits polyédriques moyennement subanguleux. Débit mamelonné. Cohésion d'ensemble moyenne. Cohésion de mottes moyenne à faible.
60		Porosité idem en haut moins développé. Activité biotique bien développée (fourmis, rats). Enracinement un peu moins développé qu'en haut, bien réparti. Traces de vieilles racines limite distincte 3 à 4 cm.
87	20-60	Horizon brun rouge homogène, sableux, faiblement argileux, sable moyen surtout, apparemment bien arrondi. Structure massive à net débit polyédrique moyen, débit très mamelonné. Porosité tubulaire et intersticielle assez bien développée. Cohésion d'ensemble plus forte qu'en haut. Cohésion des mottes moyenne. Elles éclatent. Activité biotique forte. Grosses termites, coléoptères jaunes avec point noir. Enracinement fin et très fin assez bien développé vertical.
103		Quelques sables grossiers, gravillons. Débris canaris nombreux, limite graduelle. Horizon de transition avec le dessous.
7,5 Yr 5/8	60-87	La couleur s'éclaircit. Le taux d'argile augmente un peu. Cohésion plus forte. Activité biotique même nouvelles galeries qui s'installent. Enracinement fin qui diminue, bestiaux, canaris.
150	87-103	Même horizon de transition
	103-150	Très compact, sableux argileux 10 à 12 % d'argile <sup>x</sup> . Couleur tirée vers le jaune beige. Structure massive à débit polyédrique large anguleux. Débit malaisé faiblement mamelonné. Cohésion d'ensemble et des mottes fortes. Vague reticulum jaune ocre, porosité fine diminuée, concrétions calcaires dans galeries de termites. Activité biotique diminue nettement. Galeries de termites neuves. Vers la base du sol, grandes plages décolorées jaune. Enracinement faible à nulle.

Sol ferrugineux peu lessivé, peu différencié sur sable éolien de l'erg 1 (le plus ancien). Ce sol est un terme de passage à un sol subaride. Drainage interne bloqué à environ 2 m. L'eau stagne car on s'approche de la roche altérée de Koel. Signe d'hydromorphie, sol cultivé, sol favorable du point de vue physique pour la germination des graminées. A la régénération, eau abondante, mais il fait connaître sa distribution.

<sup>x</sup> Taux d'argile de 23 % après analyse.

Profil Pédologique Bas Koel PARA 3.

- 0 0-22 Sable particulaire grossier à grains ± arrondis anguleux dessus, succession limon sable grossier sur 2 cm. Dessous couleur brun rouge à chocolat argilo sableux. 35 % d'argile. Structure cubique à polyédrique 1 à 2 cm très bien développé à assemblage prismatique peu cohérent, vers le haut. Structure en plaquette fine. Cohésion d'ensemble faible, cohésion des mottes excessive. Porosité fine très faible à nulle. Porosité d'assemblage bien développé. Saupoudrage de sable le long des fissures. Activité biotique mal visible paraît assez faible. Enracinement fin graminéen très bien réparti. Contraste moyen. Transition graduaire.
- 22
- 53 22-53 Couleur brun rouge moins vif qu'en haut, plus sombre, même texture plus argileux. Structure prismatique avec sous structure polyédrique 2-3 cm. Structure moins développée qu'en haut. Cohésion d'ensemble plus forte, cohésion des mottes identiques. Porosité fine meilleure. Nombreux plomb de chasse de Mn. Beaucoup de petits quartz et même petit feldspath. Activité biotique faible. Quelques termites. Enracinement fin faible, bien réparti.
- 75
- 53-75 Horizon de transition de marron s'estompe. Gris olive apparaît. Argilo sableux. Plus de minéraux altérables qu'en haut. Toujours les plomb de chasse de Mn. Structure devenant massive à débit polyédrique avec tendance à structure verticale de plus en plus de débris de quartz et de plomb de chasse en formation.
- 127 75-127 Horizon d'altération argileux de la roche olive domine, gris et jaune safran. Par plages, on trouve sur les éléments structuraux de la couleur marron qui préfigure les horizons du haut très argileux. Structure prismatique 20 cm 5. Assez mal développé, débit cubique. Cohésion d'ensemble très forte. Cohésion des mottes excessives. Porosité faible. Activité biotique atteint son maximum, termites, fourmis, nombreux plombs de chasse, enracinement très faible à nulle, limite bien distincte.
- 190 127-190 Passage à la roche, arène plastique. Structure de la roche avec toujours les minéraux, termes de passage avec la roche dure et l'horizon de dessus. Quelques plages argileuses à activité biotique = Structure polyédrique assez fine 1 à 2 cm, nombreuses galeries. Ace niveau, naissance des ségrégations calcaires qui bizarrement ne se situe qu'en dessus de cet horizon. Vers la base de gros noyaux de roches qui sont très proches des gabbios de Koel (boules, chaos).

---

Coclusion . Sol brun subaride typique (modal) issu d'un gabbro

- . La M.O. descend doucement
- . Structure favorable à la pénétration des racines jusqu'à 50 cm
- . Propriétés physiques très bonnes, mais sur une faible hauteur
- . Propriétés chimiques excellentes.

Très bon sol de cultures (MaTs, Coton).

---

Sgri dénomination de ce faciès ne convient pas,, les sols ne sont pas halomaphes, les colluvions manquent.

Profil Pédologique (Outarde) PARA 4 Winde-Tiuluki

0		
10 Yr 6/4	3	0-3 Apport de sable lamellaire légèrement compacte dessus (battant), fragile avec enracinement maximum de Schön faldia. Couleur beige-jaune. Peut donner une structure polyédrique fine.
ou 1,75 Y 5/4 2,50 Y 5/3	20	3-20 Structure cubique ; 2 à 3 cm en assemblage prismatique peu cohérent. Très bien développée. Gris brun. Gravieres de quartz. Très peu de gravillons. Cohésion d'ensemble faible. Cohésion des mottes fortes. Porosité structurale bonne, fine. Enracinement fin, moyennement développé. Fentes où du sable de l'horizon supérieur s'est installé. Activité biotique faible.
2,5 Y 5/3	40	20-40 Couleur olive assez foncé. Feldspath, convictions calcaires, quartz sauf dans fissures. Petites faces lissées obliques à la base. Enracinement assez faible surtout dans les fissures. Structure prismatique moyenne. Saupoudrage de sables dans fissures.
2,5 Y 6/3	110	40-110 Olive plus claire. Mouchetures calcaires. Très rares éléments grossiers dans les fentes. Eléments de roche altérée (migmatite) Structure massive à débit oblique. Cohésion d'ensemble forte. Cohésion des mottes excessives.

---

Conclusion . Sol brun subaride vertique peu développé, peu épais

- . Mélange d'éléments de dessous et d'éléments de transit
- . Presque tout se trouve dans la roche. Homogénéisation sur les 40 cm. Sables, gravillons descendant par les fentes.
- . Aspect de surface. Glacé, beige clair avec épandage de graviers de quartz
- . Modules violets de cuirasse. Depiols de sables colonisés par Schoenfeldia rares ; acacia, balanites.

Profil Pédologique AMs Oursi PARA 5

0	
10 Yr 6/5	
14	
8,75 Yr 6/6	<u>0-14</u> Gris brun clair légèrement encroûté sur le dessus. Structure sableuse, faiblement nuciforme 2 à 4 cm. Cohésion d'ensemble faible. Cohésion des mottes faibles. Porosité texturale très bonne. Porosité tubulaire fine moyenne. Enracinement fin bien développé sur 5 cm. Activité biotique moyenne.
40	
8,75 Yr 5/6	<u>14-40</u> Brun faiblement grise. Sables grossiers arrondis. Structure massive à débit polyédrique. Cohésion d'ensemble moyenne. Cohésion des mottes faibles. Porosité (idem en haut) meilleure. Activité biotique moyenne concentrée. Enracinement fin bien développé.
75	
	<u>40-75</u> Sable moyen et fin, brun grisé, ancien horizon humifère. Structure massive, débits à tendance verticale. Cohésion d'ensemble moyenne. Cohésion des mottes moyenne. Elles éclatent. Porosité plus faible qu'en haut. Activité biotique plus faible. Grandes fentes partout qu'en haut, anciennes racines. Présence de canaris (ancien sol enterré). Enracinement fin diminue mais continue. Enracinement fort dans fissures. Traces de charbons de bois.
120	
	<u>75-120</u> Horizon brun rouge sableux homogène fin et moyen. Structure massive à débit aisé faiblement mamelonné. Cohésion d'ensemble moyenne. Cohésion des mottes moyenne. Porosité fin bien développé. Enracinement très fin moyennement développé. Pas de canaris, traces d'anciennes racines.
170	
	<u>120-170</u> Très sableux plus fin, jaune clair. Structure massive nette tendance particulière. Cohésion d'ensemble plus faible. Cohésion des mottes moyenne à faible. Porosité excellente. Enracinement faible. Ancienne biologie.
10 Yr 8/6	
	<u>170-260</u> Sable blanc, reticulum jaune, hydromorphe. Sable très fragile. Traces d'anciennes racines et faune. Hydromorphie maximum à la base (brun clair tâché). Pas de racines actuelles.
	<u>260-300</u> Passage au matériau. Sable rose jaune. Tâches d'hydromorphie. Sable lavé particulière peu de tenue quelques anciennes racines visibles. Forte porosité due aux racines.
260	

Conclusion

2 sols superposés

Haut : Sol peu évolué à faciès brun rouge

Bas : Brun rouge bien différencié, hydromorphie

L'hydromorphie semble prendre vers le sud. Hydromorphie ancienne. L'eau ne doit pas arriver là. Les racines pompent l'eau jusqu'à 1,50 m. 2 m.

Surface 3/4 intérieur, pente presque interdune. Sable délié gris brun.

Végétation continue A. Mutabilis

S. Gracilis

Acacia Radiana Chlous priouri, Balanitis Combretum.

Profil Pédologique Gountouré PARA 6

<p>0</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>10 Yr 6/3,5</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>14</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>5 Yr 5/5</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>32</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>4,75 Yr 6/8</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>55</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>7,5 Yr 7/6</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>75</p> <hr style="width: 100px; margin: 5px 0;"/> <p>105</p>	<p><u>0-14</u> Gris pâle. Sable grossier et moyen très peu d'éléments fins. Structure lamellaire ou surface avec sable en transit 2 à 3 cm. Dessous structure massive à débit polyédrique moyennement développé. Enracinement très bien développé. Beaucoup d'anciennes racines. Activité biotique moyenne, termites.</p> <p><u>14-32</u> Beige, jaune beige plus argileux, horizon d'accumulation. Structure polyédrique grossière moyennement développée. Cohésion d'ensemble plus forte, mottes plus fortes. Porosité très bonne. Activité biotique plus forte (termites). Enracinement fin assez bien développé. Beaucoup de racines. Grosses racines anciennes, parallèles à l'horizon.</p> <p><u>32-55</u> Limite assez brutale, faiblement ondulée. Gravillons sur 10 cm, <u>morceau d'une carapace</u>. Débris de roches ferruginisées et non ferruginisées. Quartz vers le bas où il domine. Horizon en place. <u>Passé de quartz dans le sens de la schistosité. Pont d'argile liant le squelette</u>. Beaucoup plus de racines petites. L'eau reste. Galeries de termites. Horizon A2B. Cohésion d'ensemble faible argile. Structure polyédrique fine développée.</p> <p><u>55-75</u> Horizon A2. Même qu'en haut mais très lessivé, irrégulier. Quelquefois, il pénètre dans le passé de quartz de la roche. Quelquefois, il s'appuie sur un Bi squelettique. Beaucoup de racines fines exploitées par la faune. Horizon très fragile beige, ocre jaune, gris, s'appuie sur un Bi avec limite variable où le squelette est cimenté par un argile gris blanc ocre qui peut s'appuyer sur de gros îlots de roches altérées où l'on trouve <u>des éléments qui se ferruginisent avec revêtement noir de Mn en dessous : filon de quartz qui jusqu'à la roche forme un véritable A2. Zone de passage préférentielle de l'eau</u>. Quelques petites racines en tout sens.</p> <p><u>75-105</u> Très fragile. Éléments grossiers revêtus d'une couche limite de sables fins, s'appuyant sur roche en place altérée diaclasée. <u>miroir de diaclases</u>. L'eau stagne là, et la roche s'altère tout pend vers le N.E. très brutalement 50 cm/1,50 m.</p>
--	---

Conclusion : les deux premiers horizons sont des horizons de transit de colmatage, peu évolué à faciès ferruginisé mais plus riche en ferromagnésie, sur granite tassé (sol lessivé à arène à migmatite plus hétérogène qu'à Polaka. Ce profil coulé encore mais s'il y a colmatage ou si un banc de sable s'établit dans le sens de l'écoulement, l'écoulement se fera dans un autre sens.

Les micro-buttes sableuses deviennent le sens de l'écoulement. Zone favorable car impluvium venant à un affleurement rocheux et arrivant sur un plateau avant la mare, si bien que l'eau stagne et se répartit suivant l'altération.

Substrat géologique : granite migmatique.