Bilan hydrique et production végétale dans quelques écosystèmes sahéliens, représentatifs du bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta.

Marcel SICOT
Laboratoire d'Agronomie
Centre ORSTOM de Ouagadougou
Haute-Volta.

INTRODUCTION

Les maigres ressources fourragères du milieu sahélien résultent d'un équilibre précaire des interactions des facteurs biophysiques. Les variations de grande amplitude de ceux-ci peuvent provoquer de véritables catastrophes écologiques. Les dernières en date, dont les séquelles n'ont pas encore disparu ont été déclenchées par la sécheresse rigoureuse qui sévit de 1969 à 1973. Les conséquences dramatiques : pâturages désertifiés, troupeaux décimés, malnutrition humaine, famine et dégradation de l'état sanitaire..., accusèrent le déséquilibre existant entre une production primaire médiocre et erratique, d'une part et une pression d'exploitation du milieu croissante d'autre part et montrèrent la nécessité d'aboutir rapidement à un nouvel équilibre.

C'est pour rassembler les connaissances nécessaires à cet aménagement, qu'a été entrepris dans le bassin versant de la Mare d'Oursi et à l'initiative de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, un ensemble de recherches pluridisciplinaires intitulé : "Etude des possibilités d'aménagement agro - sylvo - pastoral, en vue de lutter contre l'aridité dans l'Oudalan, en Haute-Volta".

En fait partie, le programme : "Bilan hydrique et production végétale dans quelques écosystèmes sahéliens, représentatifs du bassin versant de la Mare d'Oursi, en Haute-Volta", dont il est ici question. Il a pour objectif :

- estimer la production végétale et ses variations en fonction de l'hétérogénéité du milieu,

3 OCT. 1984
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 15806
Cote : B

- étudier les relations liant cette production aux différents facteurs écologiques, au facteur hydrique en particulier, qui s'avère le plus limitant en conditions naturelles,
- élaborer un modèle fréquentiel de production primaire, fonction du bilan hydrique, dont la simulation devrait contribuer efficacement au développement régional, en fournissant les données objectives de ressources fourragères, qui font actuellement défaut.

Autrement dit, en rapprochant principalement des données de bilan hydrique et de biométrie végétale, on espère expliciter jusqu'à la modélisation, le déterminisme et les modalités de la production de phytomasse, en conditions naturelles.

I CADRE EXPERIMENTAL

Le bassin versant de la Mare d'Oursi, d'une superficie de 60.000 ha, au nord de la Haute-Volta, (fig. 1), fait partie de la bordure septentrionale de la zone sahélienne, caractérisée pour l'essentiel, par 8 à 9 mois consécutifs de sécheresse rigoureuse et une pluviométrie inférieure à 600 mm, (350 à 450 mm actuellement), tombant en averses orageuses pendant l'hivernage.

Du milieu naturel qui ne sera pas décrit, (se reporter aux descriptions de SICOT 1976, 1977, 1978, JOLY, DEWOLF et RIOU 1980, LEPRUN 1977a et 1977b, TOUTAIN 1976...), on retiendra le nombre et la diversité des disparités biophysiques réunies dans cet espace relativement réduit (fig. 2).

11 Dispositif expérimental. Mesures effectuées

Cette hétérogénéité et les différents volets de l'objectif, font que les investigations sont menées à deux niveaux :

- le niveau de l'ensemble du bassin,
  où domine l'aspect, estimation globale de la biomasse végétale,
- le niveau des parcelles d'étude,
  où l'estimation est beaucoup plus détaillée et l'on s'attache en outre, à analyser le déterminisme et les modalités de la production.

Le tableau ci-après indique le schéma d'organisation du dispositif expérimental, les variables mesurées et la fréquence des mesures. Les figures 3 et 4 montrent la composition et la distribution spatiale des dispositifs stationnel et parcellaire, permettant respectivement, l'intégration des mesures de biomasse à l'ensemble du bassin et l'analyse des phénomènes biophysiques. La figure 5 présente la station météorologique et les bassins versants servant à la mesure du ruissellement superficiel.

12 Méthodes et techniques de mesure

Les techniques d'observations et de mesures sont des plus classiques : déterminations floristiques, notations phénologiques, comptages en placettes et en points quadrats, fauches, séchages, pesées d'échantillons végétaux et de sol..., exceptée la mesure de l'humidité du sol par neutronométrie, méthode relativement récente, mais dont l'utilisation se généralise rapidement. Le profil hydrique du sol est relevé ordinairement bien au-delà de la zone d'humectation : 250 à 360 cm en milieu sableux, 150 cm en glacis. Les données de ruissellement sont issues des mesures hydrologiques exécutées parallèlement sur bassins versants représentatifs, du milieu étudié. Les mesures de ruissellement en case de ruissellement et d'érosion initialement prévues au niveau des parcelles font défaut.

II RESULTATS

La collecte des données se poursuit depuis 1976-1977. Le dépouillement et l'interprétation des résultats partiels s'effectuent conjointement. Leur synthèse est à peine commencée.

21 Données recueillies

On n'insistera pas sur les différents résultats obtenus, sur les résultats de production de biomasse, en particulier, (figures de 8 à 11), puisque tel n'est pas l'objet de ce séminaire, mais l'analyse de la complémentarité des données repose sur le comportement hydrodynamique des sols, lequel individualise trois milieux types :

- les milieux sableux, dunes et piémonts sableux, (fig 7A et 7B), où l'eau s'infiltre profondément dépassant par moment la zone des mesures neutroniques,

Tableau A

Tableau A synoptique de l'organisation du dispositif expérimental et de la conduite des mesures.

Niveau d'intégration	Ensemble du bassin	Parcelle
unité d'échantillonnage	Groupements végétaux fonction des unités géomorphologiques, pédologiques	Faciès de groupements végétaux intégrant les éléments de la rugosité superficielle, la fissuration du sol...
Dispositif expérimental	Dispositif stationnel : 30-40 sites de mesures dans 14 des 23 types de groupements végétaux inventoriés par l'étude agrostologique (TOUTAIN, 1976)	Dispositif parcellaire : 6 parcelles principales, 3 parcelles secondaires dans les milieux hydropédologiques types : milieux sableux, de glacis à texture fine et grossière et selon des situations géomorphologiques et topographiques bien définies: dunes, piémont, glacis pédiments, pente, bas-fonds...
déterminations	. Spectre floristique . Biomasse épigée sur pied, litière . Ruissellement sur bassin versant élémentaire . ETP (Penman)	. Spectre floristique . Phénologie . Biométrie et phytosociologie du couvert végétal . Biomasse diverses : vivante, morte, nette, des racines, des graines... . Pluviométrie . Ruissellement sur bassin versant élémentaire . Fluctuation du profil et de la réserve hydrique du sol . ETP (Penman)
Fréquence des mesures	annuelle	journalière (pluies, ruissellement...) décadaire

Tableau B Représentativité des mesures de variables

Niveau de l'échelle spatiale	Physiques	Végétales	Mesures végétales	Mesures hydropédologiques!
Discontinuités élémentaires	rugosité:micro-buttes, microdépressions. fissuration pièges à graines	faciès de groupement végétal (def. GROUZIS) - plages nues, couvertes	- point quadrat : floristique, phytosociologie... - placette élémentaire de prélèvement de biomasse 0,5 m × 0,5 m (parcelle), 1 m × 1 m (site de mesure) - placette élémentaire de prélèvement de graines : 0,3m × 0,3m (g. au sol), 0,5 × 0,5 (total des graines) - placette élémentaire de mesure de densité : 0,2 m × 0,2 m. - site stratifié (micro butte, dépression) de sondages racinaires Ø=0,64m	- site stratifie de mesures neutroniques : micro-buttes, microdépression. - site stratifié de prélèvements gravimétriques : microbutte, micro dé-dépression - pluviométre journalier - pluviométre totalisateur
Intégration			paramètres de stratification phytosociologique	paramètres de stratification micromorphologique / phytosociologique
Parcelles de 100 m × 100 m	-Unité géomorphologique -Unité pédologique -Caractéristiques texturales -Situation topographique	groupement végétal (def. TOUTAIN)	- 250 points quadrats - 30 prélèvements de biomasse épigée - 30 prélèvements de graines - 15 mesures de densité - 30 mesures racinaires	5 6 tubes de mesures neutroniques 8 prélèvements gravimétrique 1 pluviomètre journalier 1 " totalisateur
Intégration			Paramètres de stratification phytosociologique et biométriques du couvert	paramètres de stratification micromorphologique et phytosociologique
Site de mesures "à petite échelle"	-idem-	-idem-	Echantillonnage systématique : 30-40 prélèvements linéaires équidistants (100/200m) de biomasse épigée	30-40 notations de micro-relief (cf. prélèvements de biomasse épigée) -pluviométrie ponctuelle ou d'après réseau d'isohyètes. - ruissellement sur bassin versant local ou similaire.
Intégration à l'ensemble du bassin	complexe d'unités morphogénétiques...	complexe de groupements végétaux	paramètres de stratification phytosociologique	paramètres de stratification phytosociologique.

- les milieux à texture fine, glacis limono-argileux dépressions et bas-fonds argileux et vertiques, où en dehors des fentes de retrait l'infiltration est arrêtée par l'imbibition et le gonflement de la couche superficielle, (fig. 6A),
- les milieux à texture grossière, pédiments granitiques ou latéritiques, peu perméables en surface, mais fissurés et très poreux en profondeur, où l'eau qui pénètre dans le profil s'accumule dans les cavités ou circule au contact de la roche-mère (fig. 6B).

22 Complémentarité des résultats

221 Complémentarité des résultats au niveau du bassin

Il existe au niveau du bassin une régression linéaire entre la biomasse épigée Q, du cycle végétatif annuel de la strate herbacée, d'une part, la pluviométrie et le ruissellement correspondants d'autre part, (SICOT 1979, fig. 13) :

$$Q = a \ (P - R) - b \qquad (1)$$

mettant en évidence la complémentarité de ces trois variables. Le terme P-R, dénommée pluie efficace est assimilable à l'ETR, l'évapotranspiration réelle durant le cycle végétatif. En effet, sans recharge de nappe et en considérant que toute l'eau infiltrée est consommée à l'arrêt de la végétation, l'équation générale du bilan hydrique :

$$P = R + D + AS + ETR \qquad (2)$$

où D est le drainage et AS la variation de la réserve hydrique du sol, s'écrit en fin de cycle :

$$P = R + ETR \quad \text{soit} \quad ETR = P-R \qquad (3)$$

Donc

$$Q = a \ (P-R) - b = a \ ETR - b \qquad (4)$$

Les termes a et b sont des constantes caractéristiques de la distribution des précipitations au cours du cycle et de son incidence sur la production végétale : (croissance en sous-périodes humides, augmentation du catabolisme, arrêt de croissance en sous-périodes sèches). Ils font de la régression un modèle annuel de production primaire, (production apparente), spécifique des particularités agroclimatologiques de l'année.

En 1976 et 1977 avec des pluies à peu près pareillement distribuées, la régression obtenue a été, (fig. 13) :

$$Q_{t/ha} = 0,01\ (P-R)_{mm} - 1,73_{t/ha} \qquad (5)$$

On s'oriente, à ce niveau, vers un modèle général, pluriannuel, faisant intervenir quelques caractéristiques pluviométriques : pluviométrie utile, durée du cycle pluviométrique et l'évapotranspiration potentielle pendant cette période. Ce modèle pourra se formuler par :

$$Q = a \frac{(P-R)_u}{ETP} - b \qquad (6)$$

$(P-R)_u$ étant la pluviométrie utile pénétrant dans le sol et ETP tenant compte de la durée du cycle végétatif.

223 Complémentarité des résultats au niveau des parcelles

Au niveau parcellaire l'équation générale du bilan hydrique au pas de temps décadaire s'écrit, (cf figure 12) :

$$P_i = R_i + D_i + AS_i + ETR_i \qquad (7)$$

où P_i, R_i, D_i, AS_i, et ETR_i sont respectivement la pluviométrie, le ruissellement, le drainage, la variation globale de la réserve hydrique du sol et l'évapotranspiration réelle, pendant la décade de rang i.

Les termes : P_i et AS_i sont mesurés, R n'est pas mesurée localement, D_i n'est absolument pas mesuré et ETR_i est calculé d'après l'équation.

Pour établir le bilan hydrique on est amené à :

1) négliger le drainage, en considérant que,
   a) les flux hydriques, (drainage ou remontées capillaires) sont nuls au delà de la zone d'humectation,
   b) le bilan des entrées et sorties d'eau du système par flux hydriques latéraux est nul,

2) pallier ~~à~~ l'absence de mesures parcellaires du ruissellement en :
   a) négligeant le phénomène en milieux sableux,
   b) procédant à des relevés de profils hydriques avant et après pluie, dans la mesure du possible,

c) faisant l'hypothèse que le ruissellement en nappe spécifique au type de milieu considéré est spatialement homogène, ce qui permet d'utiliser les mesures de ruissellement des hydrologues en bassins versants,

d) espérant modéliser le poste de ruissellement-infiltration sur les bases de l'expérience de pluies simulées faite en collaboration avec des pédologues et des hydrologues : (COLLINET et al 1980).

L'équation générale du bilan est alors tronquée en :

$P_i = AS_i + ETR_i$ (8), en milieux sableux

$P_i = R_i + AS_i + ETR_i$ (9), dans les autres milieux.

En dehors des situations où les entrées et sorties d'eau sont naturellement mal contrôlables, cas des impluvium, bas-fonds inondables et pédiment à écoulement hypodermique et des rares périodes où le drainage n'est pas nul en milieux sableux, ces hypothèses sont parfaitement justifiées et vérifiées et les résultats obtenus, aussi précis que ceux découlant de l'hétérogénéité du milieu physique et biologique : (précision des estimations de biomasse, 7 à 13 % en milieux sableux, 15 à 30 % en milieux à texture fine et 7,5 à 16 % en milieux à texture grossière, (GROUZIS 1979).

Le rapprochement systématique des données de biomasse végétale et de bilan hydrique n'est pas encore effectué. Mais le parallélisme assez rigoureux observé entre les fluctuations de la réserve hydrique des sols et la phénologie de diverses espèces végétales, (fig 14, GROUZIS, SICOT, 1980) permet d'envisager l'élaboration d'un modèle de production primaire à ce niveau.

III DISCUSSION

31 Analyse critique de l'opération

L'énumération des résultats mentionnés ci-dessus, l'examen des documents déjà publiés, montrent que le bilan du programme est déjà largement positif. Cependant la conduite de l'opération a été perturbée par de nombreux problèmes qui se sont posés au cours de son déroulement et même infléchi l'objectif initial.

On doit noter :

- l'anachronisme du planning des interventions qui a fait débuter le programme avant ou en même temps que des études écologiques de bases comme la géomorphologie, la pédologie, la botanique..., dont les résultats auraient du faciliter l'implantation du dispositif expérimental et la conduite des mesures et non en confirmer le bien fondé,

- l'orientation particulière de l'étude de l'érosion et du ruissellement, (étude de l'incidence de la culture traditionnelle sur le ruissellement et l'érosion hydrique en un site sableux de piémont), qui a ~~privé~~ exclu les mesures de ruissellement au niveau des parcelles,

- l'impossibilité d'améliorer les techniques et méthodes de recherches en cours d'étude, au vu des premiers résultats : par exemple, l'impossibilité de procéder à des mesures de flux hydriques dans certains milieux, à certaines périodes, d'étudier l'incidence du bilan chimique en des parcelles représentatives du milieu étudié,...

Par ailleurs l'absence des mesures de ruissellement et de drainage oblige à formuler des hypothèses qui bien que justifiées réduisent les moyens de contrôle et infléchissent même l'objectif initial. C'est ainsi que l'ETR calculée peut être entachée des résidus du drainage.

32 Propositions pour une approche améliorée de l'objectif

Exception faite pour les problèmes de planning liés à l'organisation du projet Mare d'Oursi, la majeure partie des difficultés rencontrées est occasionnée par la restriction des moyens de recherches accordés.

En ces conditions, il suffirait de moyens en matériel et personnel suffisants pour mener à bien l'analyse des nombreuses variables rencontrées dans un milieu complexe à la fois par sa structure et les phénomènes qui s'y déroulent. Il conviendrait nécessairement de mesurer :

- le ruissellement parcellaire, en cases d'érosion et de ruissellement,
- le drainage, en cases de drainage ou par mesure des flux hydriques.

Accessoirement, l'évapotranspiration pourrait être mesurée en lysimètre et par bilan énergétique, dans le but de contrôler les résultats et d'approfondir les connaissances sur des phénomènes, tel que l'advection. Des études d'hydrologie souterraine pourraient peut être résoudre les problèmes liés aux écoulements hypodermiques en milieu à texture grossière.

Mais la méthode la plus appropriée, pour atteindre l'objectif, serait de combiner en milieu naturel des mesures collectées à la fois sous pluies naturelles en saison des pluies et simulées en hivernage et pendant la saison sèche.
Les résultats obtenus selon la méthode exposée ci-dessus donneraient l'ordre de grandeur des phénomènes et les résultats expérimentaux permettraient une analyse fine de ceux-ci et leur modélisation, en faisant largement varier les facteurs atmosphériques (pluviométrie, pouvoir évaporant de l'air), édaphiques, (milieux à caractéristiques hydropédologiques diverses) et végétale, (diversification de la composition floristique et évolution des paramètres du couvert végétal).

CONCLUSION

Dans un milieu initialement mal connu, complexe par sa structure et les phénomènes qui s'y déroulent et peu propice aux investigations scientifiques, on cherche à analyser, jusqu'à la modélisation, la production de phytomasse et l'action de son principal facteur limitant, l'eau.
Les disparités du milieu naturel amènent à circonscrire et redéfinir l'objectif à deux niveaux de l'échelle spatio-temporelle :
- estimation globale de la biomasse végétale annuelle au niveau de l'ensemble du bassin,
- analyse décadaire des phénomènes dans des parcelles de un hectare.

La première partie ne pose pas de problème et permet d'ores et déjà une modélisation de la production primaire. Pour la seconde partie et pour l'établissement du bilan hydrique, il a fallu composer avec les moyens disponibles, en réduisant le nombre de variables contrôlées et en s'appuyant sur quelques hypothèses généralement justifiées. Néanmoins les résultats déjà obtenus sont satisfaisants et laissent espérer l'élaboration prochaine d'un modèle de production primaire à ce niveau.

REFERENCES BIBLIOGRAHIQUES

- COLLINET J. et al. 1980. Rapport de terrain sur la première opération "Mare d'Oursi". Etude LAT/03 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques 14 p. multigr.

- GROUZIS M. 1979. Structure, composition floristique et dynamique de la production de matière sèche de formations végétales sahéliennes, (Mare-d'Oursi - Haute-Volta). A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM rapp. multigr. 56 p., fig.

- GROUZIS M. et SICOT M. 1980. Une étude phénologique de population d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques. Comm. Symposium sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis Abeba 8-12 avril 1980, 11 p., fig.

- JOLY F., DEWOLF Y. et RIOU G. 1980. Le bassin de la Mare d'Oursi, (Haute-Volta). Etude géomorphologique et géodynamique. Contraintes naturelles. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-PARIS VII, rapp. multigr. 65 p., fig.

- LEPRUN J.C. 1977a. Rapport de mission pédologique. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM rapp. multigr., 19 p., 1 c. h. t.

- LEPRUN J.C. 1976. Esquisse pédologique au 1/50.000 des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM 53 p., 1 c. h. t.

- SICOT M. 1976. Evaluation de la production fourragère herbacée. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM, rapp. multigr. 45 p. + annexes.

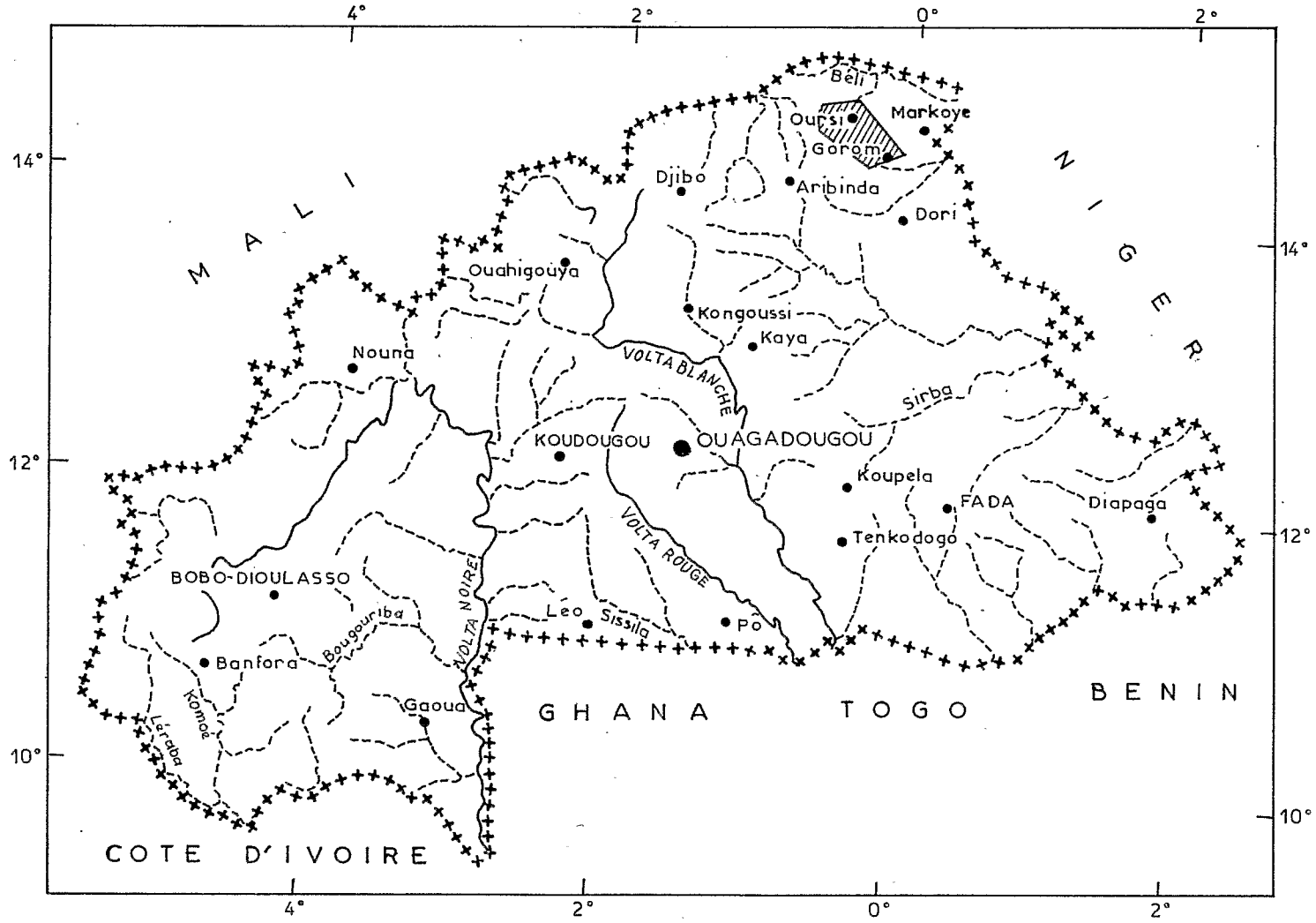
- SICOT M. et ZEGANADIN J.P. 1977. La retention hydrique des sols du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). I Considération sur la capacité au champ de deux sols sableux. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM, rapp. multigr. 24 p.

- SICOT M. 1978. 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). Rapp. multigr. 75 p. + annexes.

- SICOT M. 1979. Déterminisme de la production et des immobilisations minérales de la strate herbacée des parcours naturels sahéliens. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-ORSTOM, rapp. multigr. 12 p., 9 tabl., 7 fig.

- TOUTAIN B. 1976. Notice de la Carte des ressources fourragères au 1/50.000. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). DGRST-IEMVT, 61 p., 1 c. h. t. 12 p.

Fig. 1 CARTE DE SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE



Zone étudiée

Echelle 1/5.000.000e

Fig. 2 COUPE SCHEMATIQUE DE L'ORGANISATION GEOMORPHOLOGIQUE DU BASSIN DE LA MARE D'OURSI

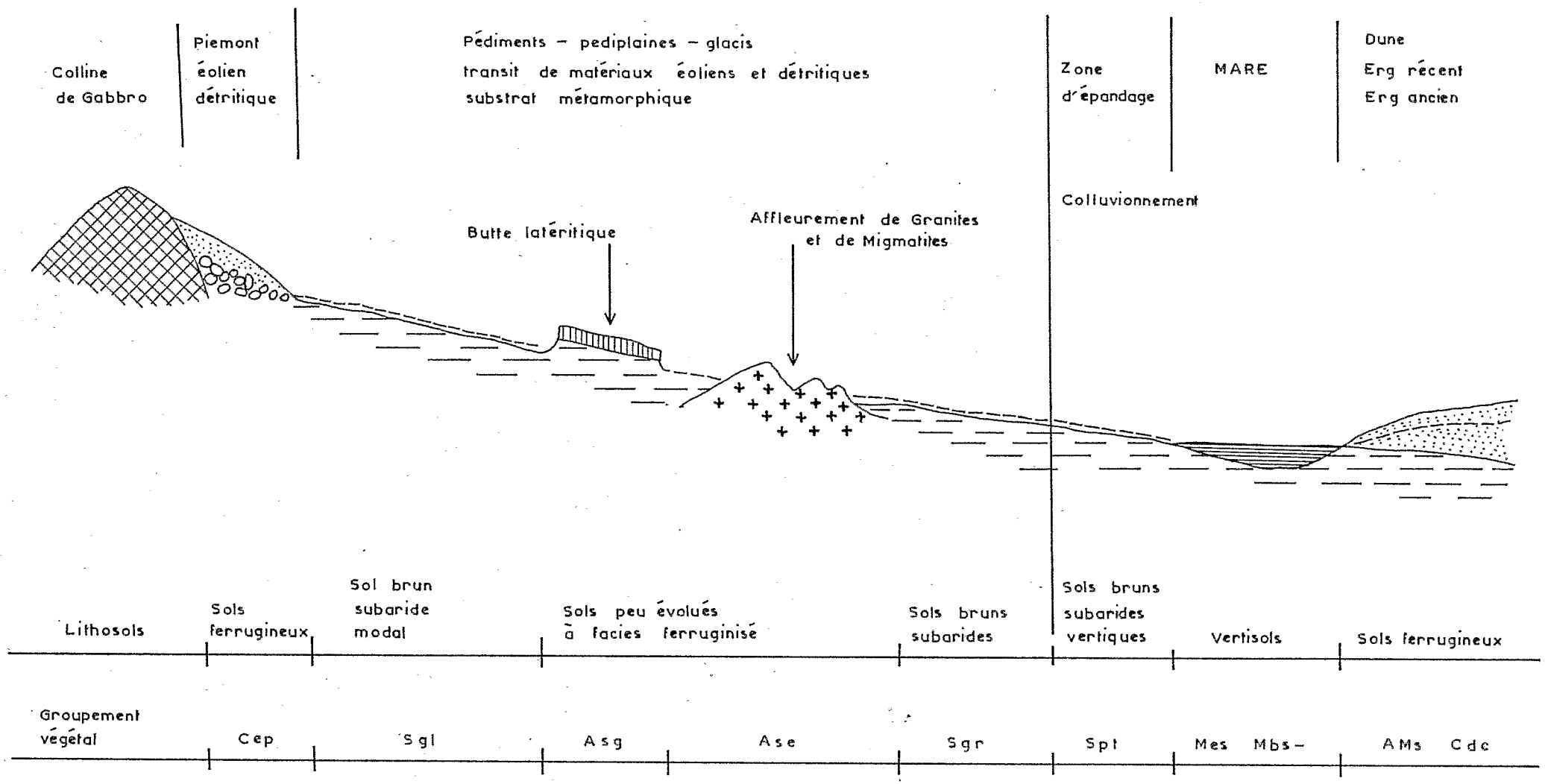


Fig. 3 DISPOSITIF STATIONNEL

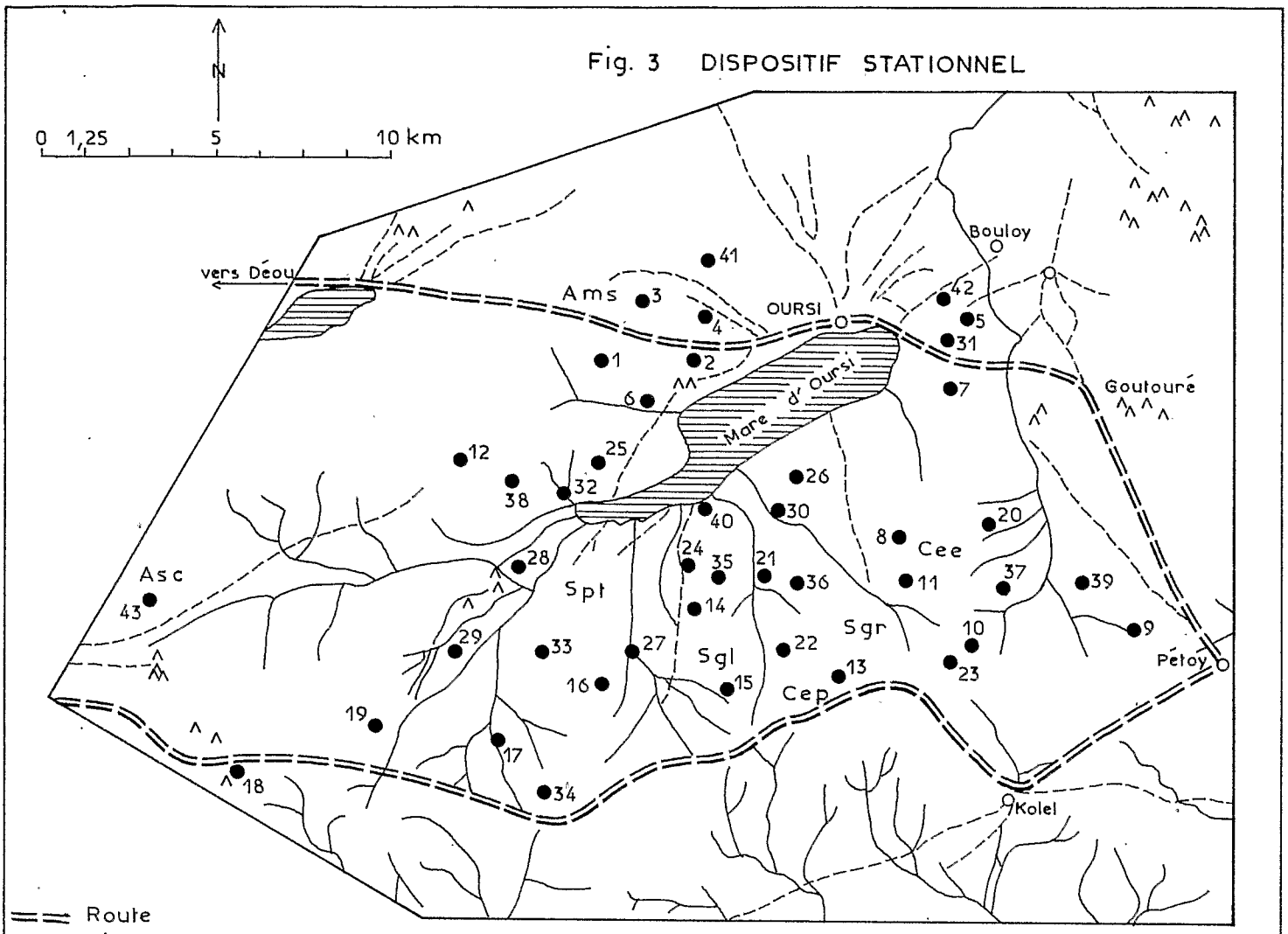


Fig. 4 DISPOSITIF PARCELLAIRE

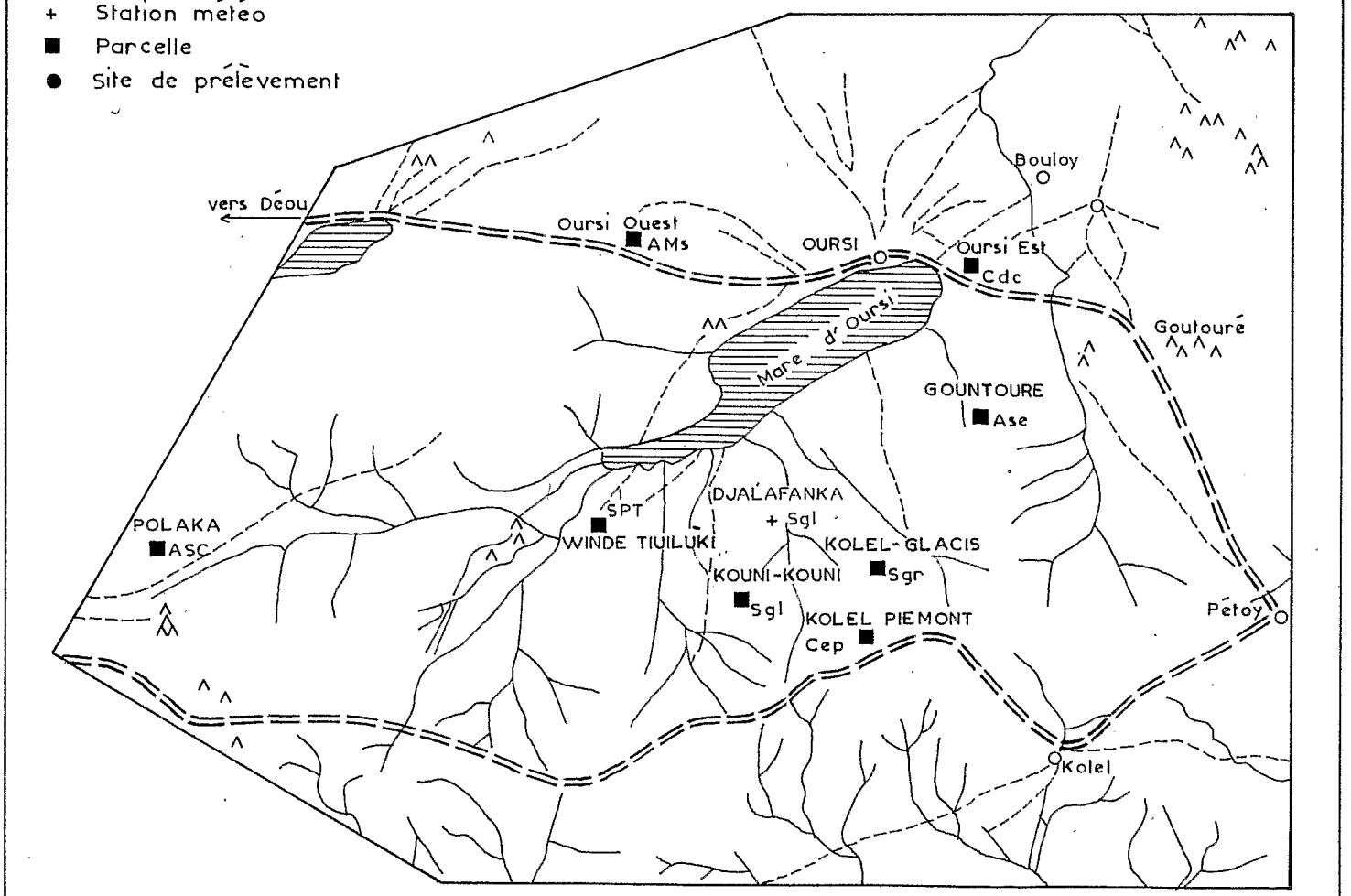
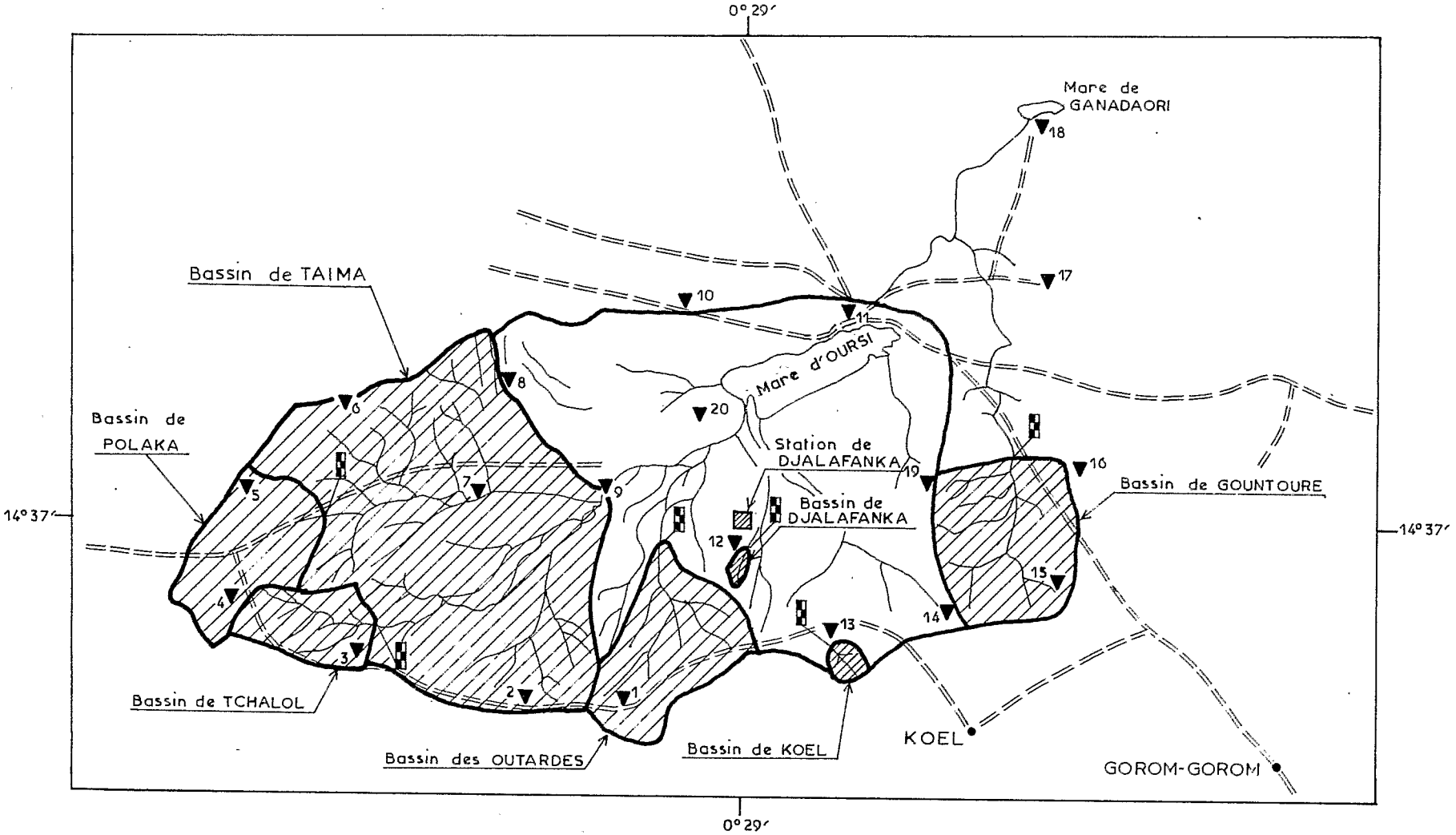


Fig. 5.

DISPOSITIF DE MESURES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES
DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSI



▼ Totalisateur

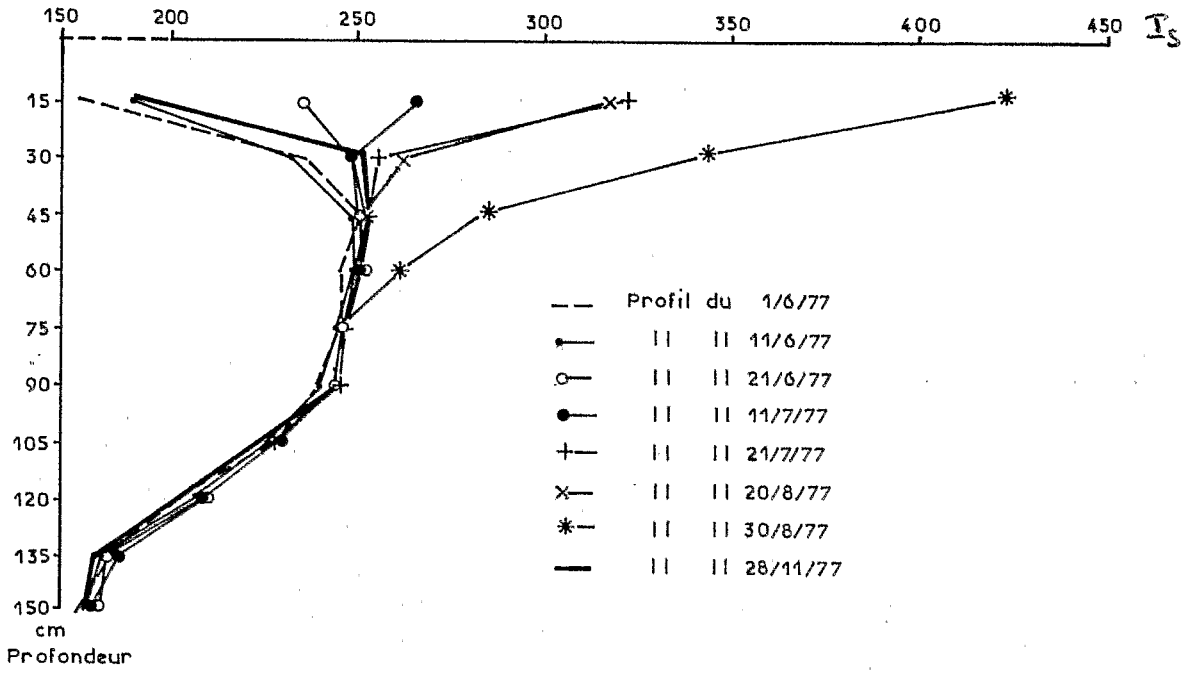
Station limnimétrique

Station climatologique

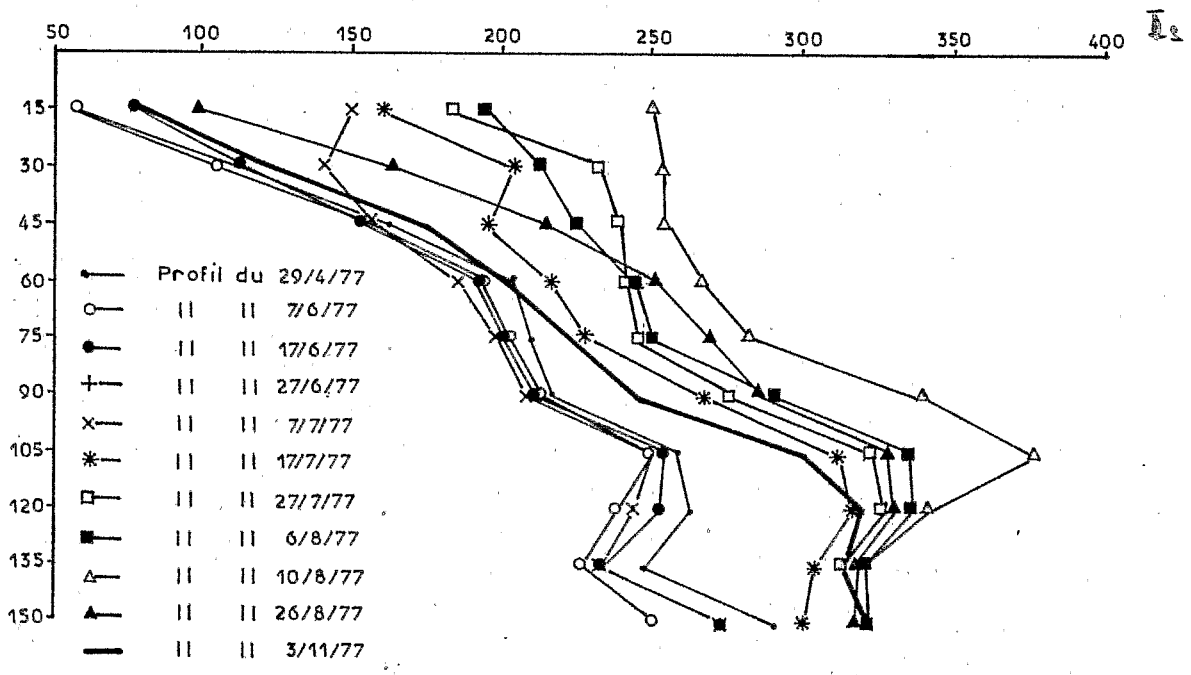
Bassins observés

ECHELLE. 1 / 200 000

Fig. 6 VARIATION DU PROFIL NEUTRONIQUE MOYEN EN 1977

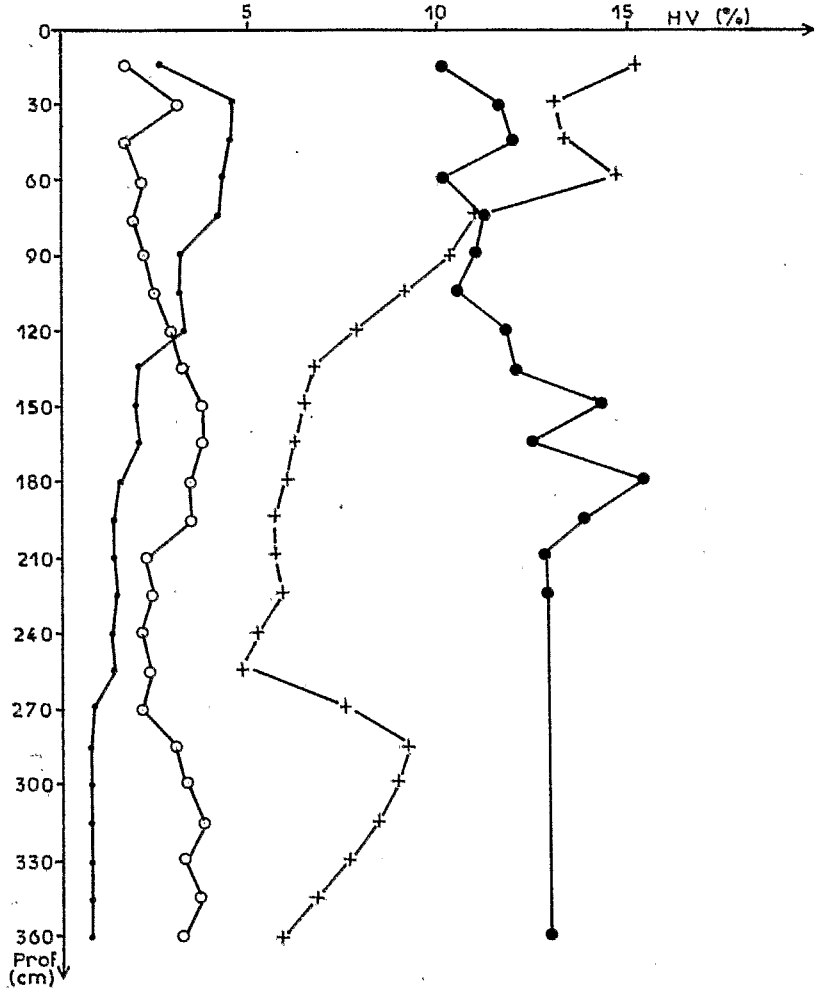


A GLACIS DE KOEL

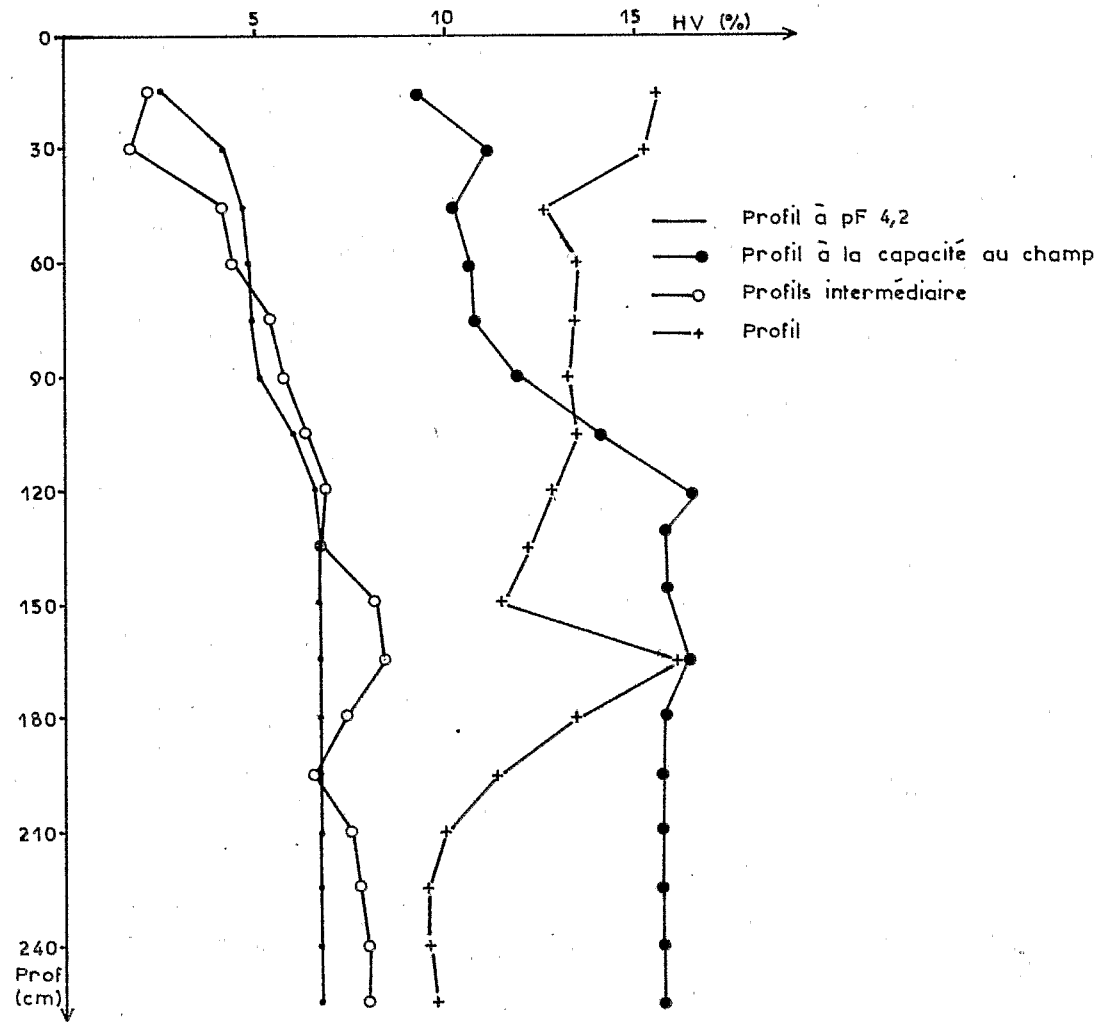


B PEDIMENT DE GOUNTOURE

Fig. 7 ENVELOPPE DES PROFILS HYDRIQUES RELEVES EN 1978 EN MILIEUX SABLEUX



A DUNE D'OURSI



B PIEMONT KOLEL

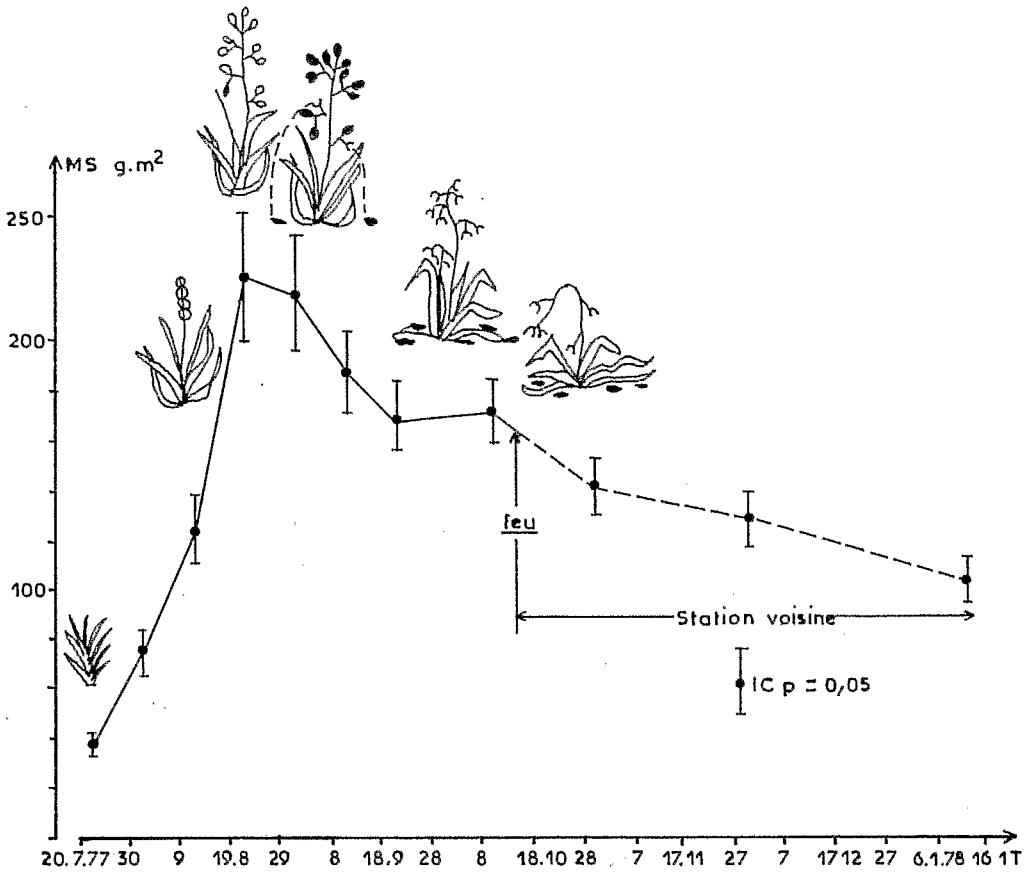


Fig. 8 DUNE OURSI OUEST (A'ms)

EVOLUTION DE LA BIOMASSE EPIGEE (MS) EN FONCTION DU TEMPS (T)

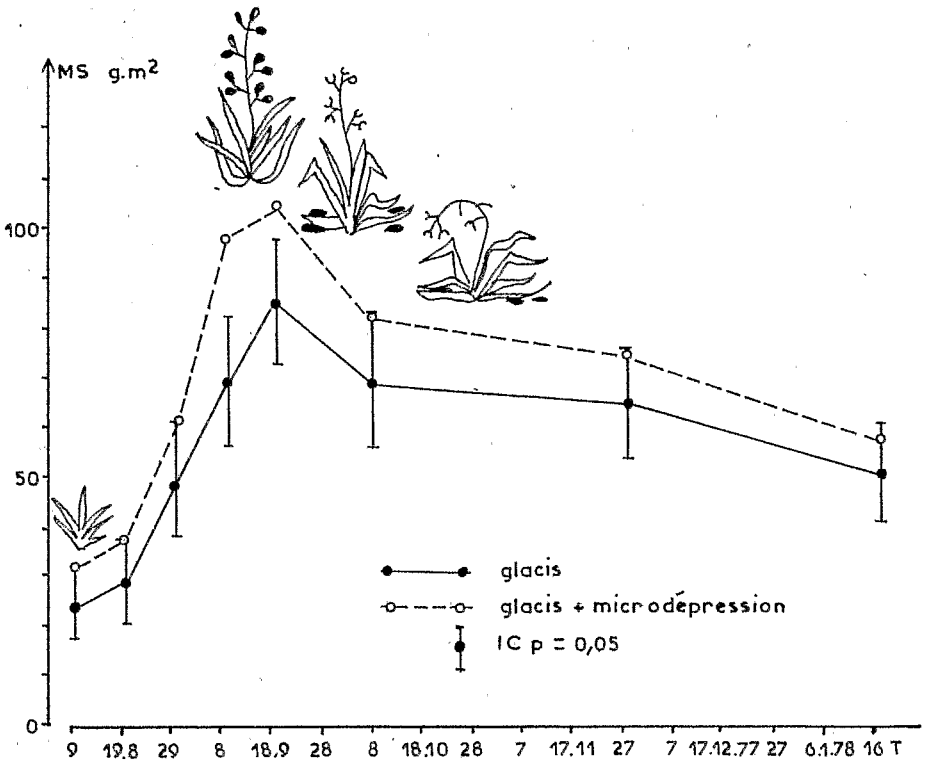


Fig. 9 GLACIS DE KOLEL (Sgr)

EVOLUTION DE LA BIOMASSE EPIGEE (MS) EN FONCTION DU TEMPS (T)

Fig. 10 GOUNTOURE (Ase)

EVOLUTION DE LA BIOMASSE EPIGEE (MS) EN FONCTION DU TEMPS (T)

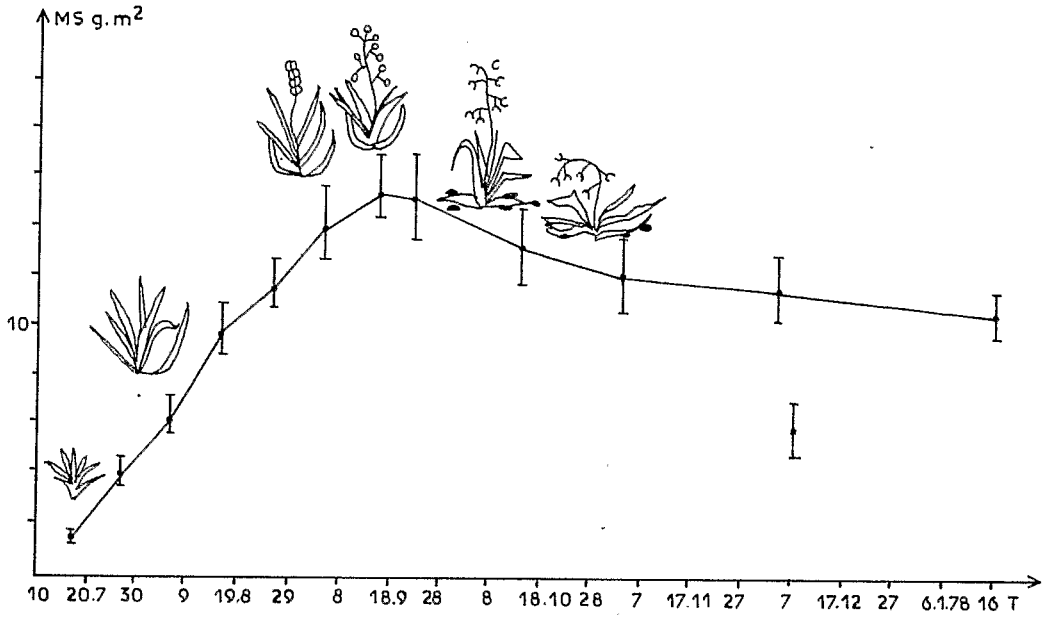
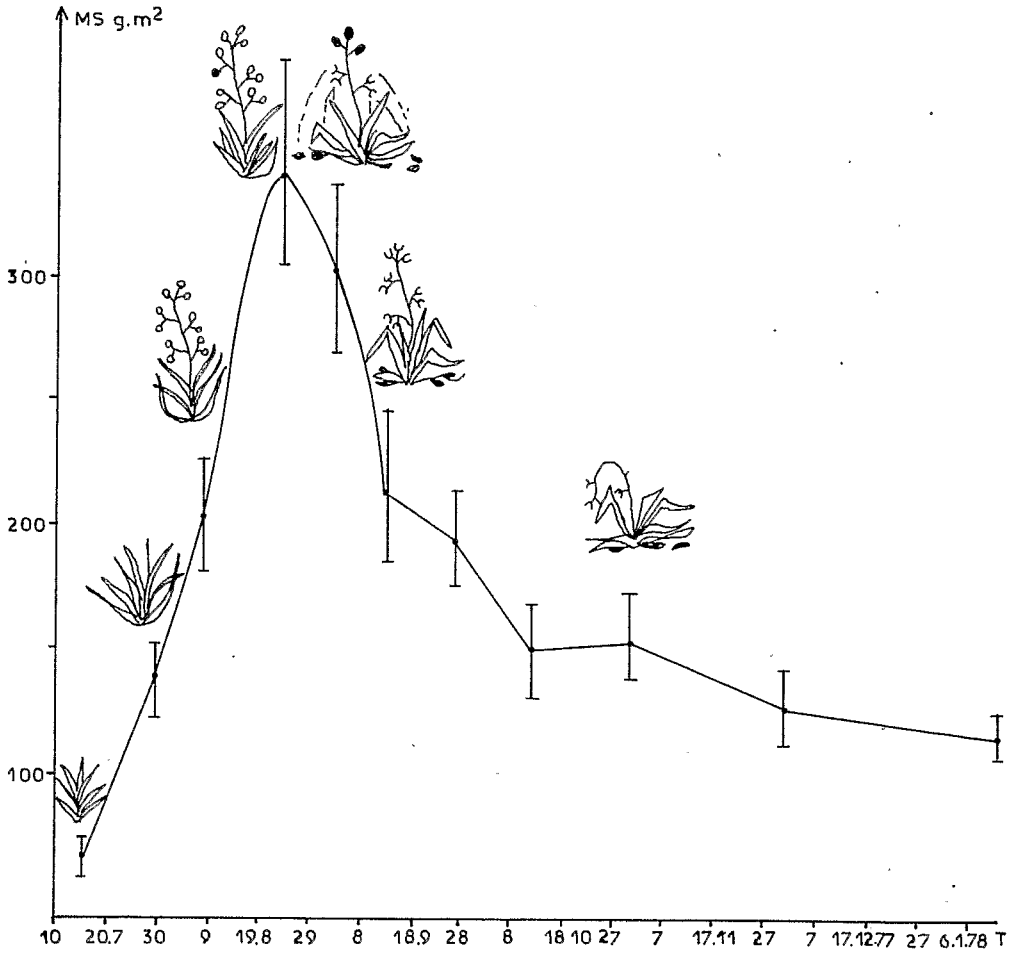


Fig. 11 BAS FOND WINDE TIULUKI (Spt)

EVOLUTION DE LA BIOMASSE EPIGEE (MS) EN FONCTION DU TEMPS (T)



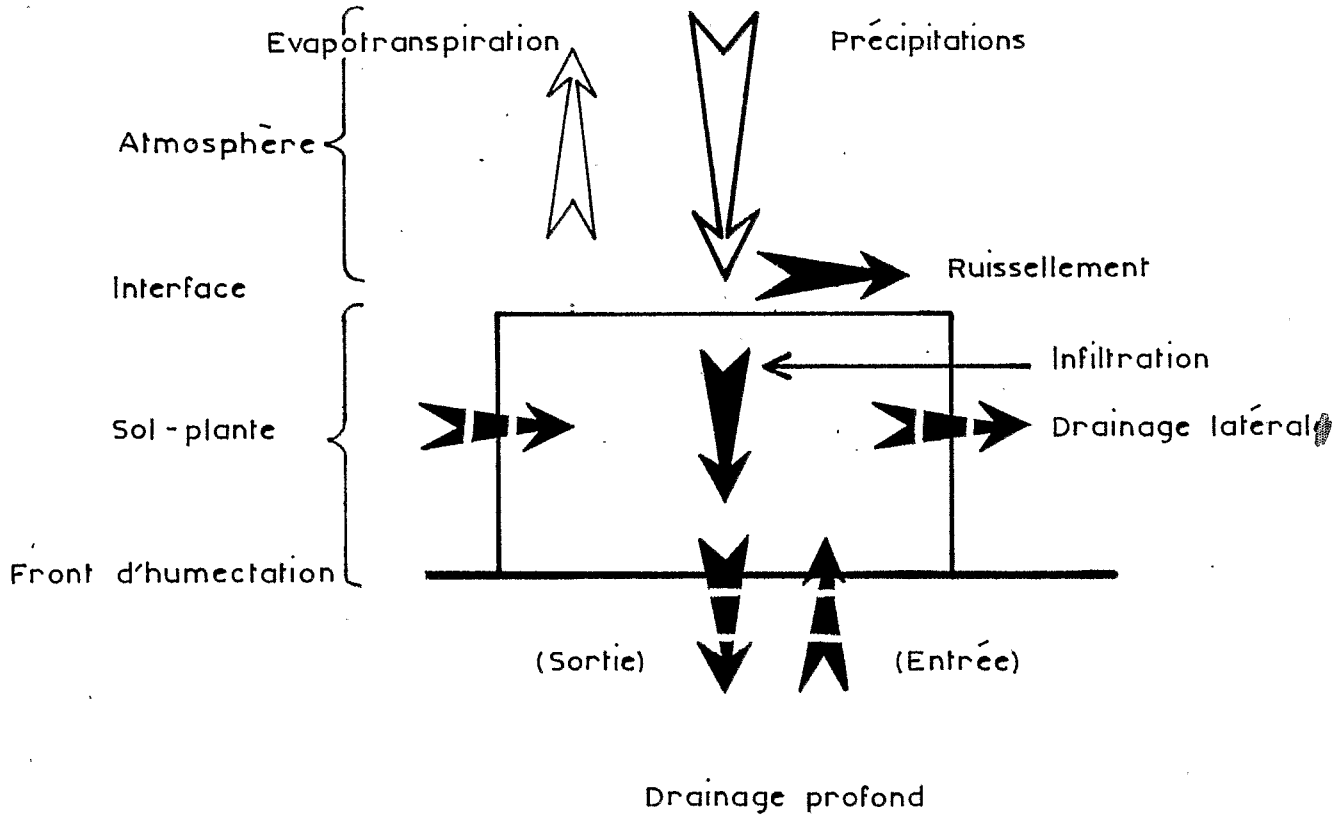


Fig. 12 ORGANIGRAMME SCHEMATIQUE DU BILAN HYDRIQUE

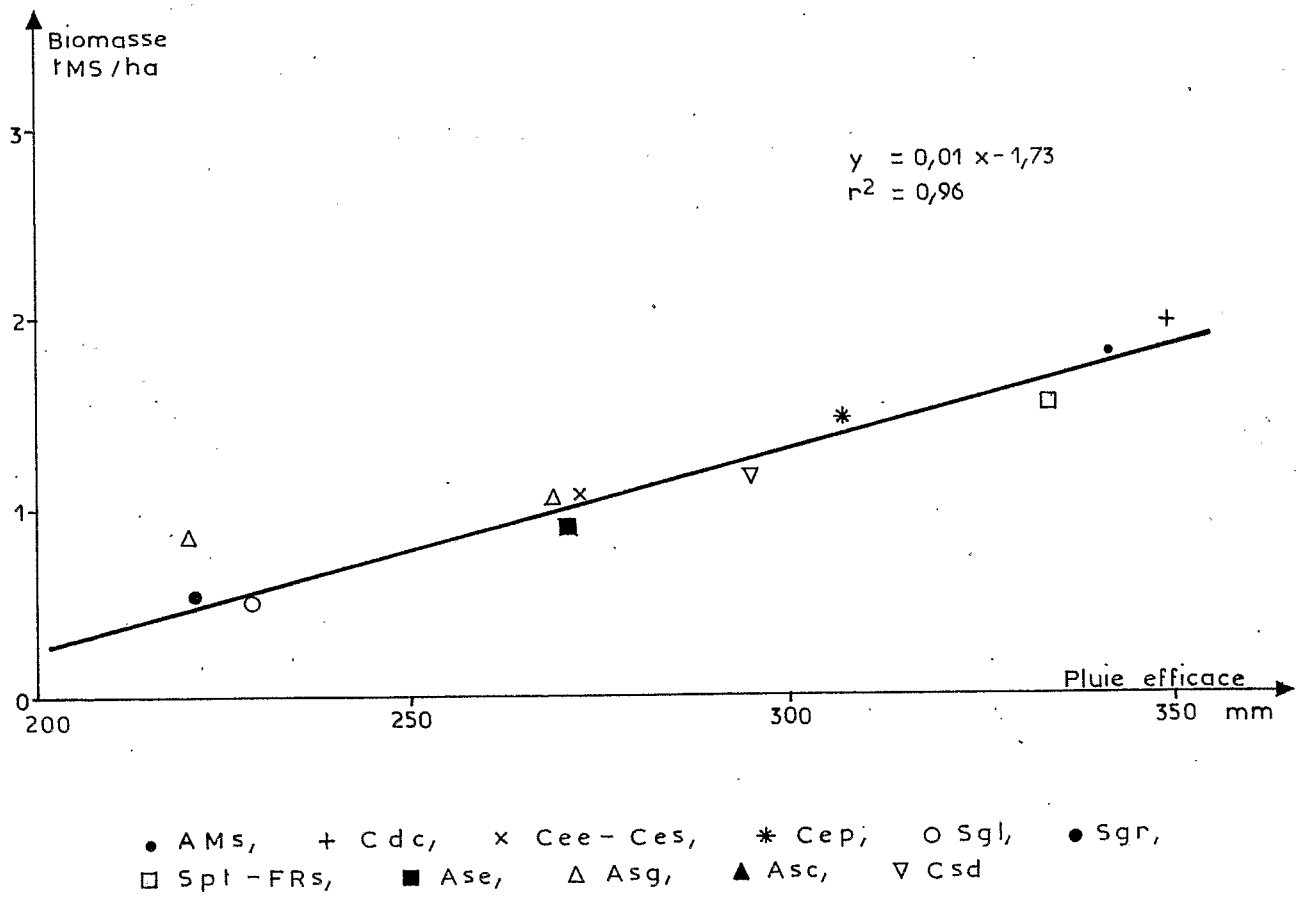
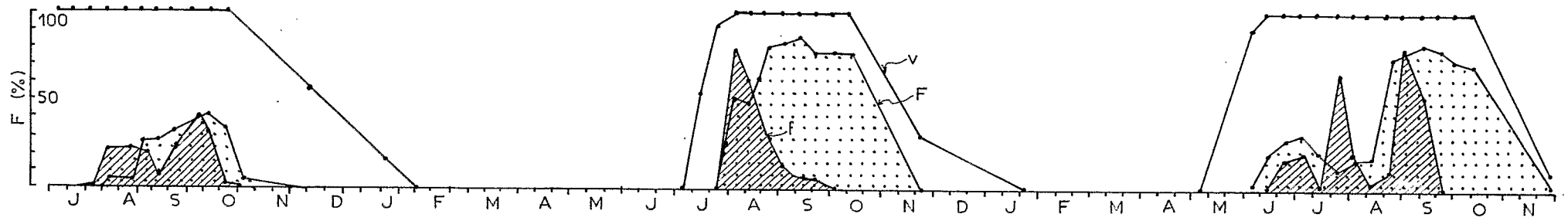


Fig. 13 BIOMASSE FOURRAGERE DES DIFFERENTS PATURAGES EN 1976



F % Fréquence des phenomènes
v Feuillaison
f Floraison
F Fructification
R Réserve hydrique

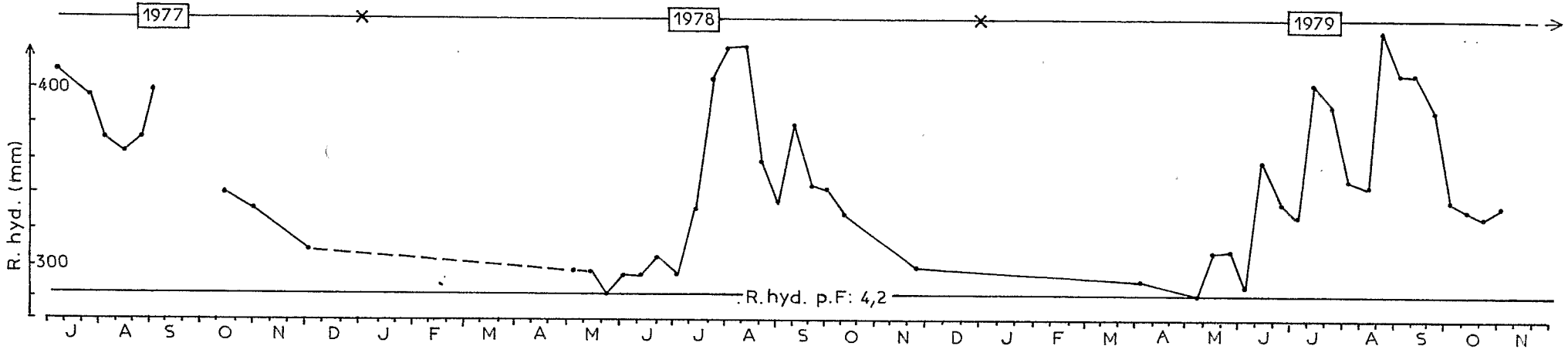


Fig. 14 RESERVE HYDRIQUE ET SPECTRES PHENOLOGIQUES DE COMBRETUM ACULEATUM