

R E L A T I O N S E N T R E :

CERTAINS CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET
LA COMPOSITION VOLUMIQUE SAISONNIERE EN AIR ET EAU,
LE COMPORTEMENT A L'INFILTRATION ET A LA FILTRATION,
LA DISTRIBUTION VERTICALE DES RACINES,

EN QUELQUES POINTS CARACTERISTIQUES DES SOLS
DE GUYANE FRANCAISE SEPTENTRIONALE

F.-X. HUMBEL, Mai 1978

Partie d'un rapport en cours d'achèvement sur :

LES SOLS DES TERRES HAUTES ET DE LA PLAINE COTIERE
ANCIENNE EN GUYANE FRANCAISE SEPTENTRIONALE :
Organisation en systèmes et dynamique actuelle de l'eau

par R. BOULET, E. FRITSCH et F.-X. HUMBEL.

CHAPITRE	I	: METHODES DES MESURES FAITES POUR CARACTERISER LES TYPES DE CHEMINEMENT DE L'EAU.	Pages
	1.1.	<u>Répartition de l'air et de l'eau :</u>	
	1.1.1.	Pourquoi mesurer les quantités d'air et d'eau présentes dans le sol à différentes périodes de l'année ?	P. 1
	1.1.2.	Définitions et présentation des résultats.	P. 2
	1.1.3.	Lecture des diagrammes de composition volu- mique.	P. 4
	1.2.	<u>Comportement du sol à l'infiltration et à la filtration d'eau déposée en surface par l'expérimentateur.</u>	
	1.2.1.	Définitions et objectif de cette étude.	P. 7
	1.2.2.	Etude expérimentale de l'infiltration.	P. 9
	1.2.3.	Etude expérimentale de la filtration.	P. 10
	1.3.	<u>Etude de la répartition verticale des racines.</u>	
	1.3.1.	Intérêt des mesures d'enracinement.	P. 14
	1.3.2.	Comment ont été faites ces mesures d'enracine- ment.	P. 15

CHAPITRE	II	: RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST VERTICAL ET LIBRE, DONC PROFOND (DYNAMIQUE VERTICALE).	
	2.1.	<u>Terrain SS 10 sous forêt.</u>	P. 17
	2.2.	<u>Terrain SLM sous pinède.</u>	P. 20
	2.3.	<u>Comparaison avec des sols ferrallitiques d'Afrique (Cameroun).</u>	P. 22
CHAPITRE	III	: RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST VERTICAL ET LIBRE, SAUF EN QUELQUES ENDROITS OU IL EST BLOQUE ULTERIEUREMENT PAR REMONTEE DE NAPPE.	P. 28

CHAPITRE	: RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST	Pages
	VERTICAL ET PROFOND (DYNAMIQUE VERTICALE) MAIS QUEL- QUE PEU RALENTI DANS LA PARTIE SUPERIEURE DU SOL.	
4.1.	<u>Terrain SS 4 sur S.D.B.</u>	P. 30
4.2.	<u>Terrain SS 15 sur migmatite.</u>	P. 32
CHAPITRE	V : RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST	
	LIMITE OU BLOQUE DANS LES HORIZONS SUPERIEURS, AVEC	
	FORMATION DE POCHES D'EAU ET MEME D'UNE NAPPE PERCHEE	
	A ECOULEMENT LATERAL. TERRAINS A DYNAMIQUE SUPERFI- CIELLE ET LATERALE.	P. 35
5.1.	<u>Le terrain HAR 7 sur schiste Bonidoro.</u>	P. 36
5.2.	<u>Terrain IFAC-f et son défrichement IFAC-v.</u>	P. 41
5.3.	<u>Terrains SS 17 - SS 18 sur migmatite.</u>	P. 48
CHAPITRE	VI : LES VARIATIONS VERTICALES DE TEXTURE DANS LES SOLS DES	
	TERRES HAUTES.	P. 55
CHAPITRE	VII : RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU PLUVIA-	
	LE EST COMMANDE PAR LE BATTEMENT D'UNE NAPPE TRES PEU	
	PROFONDE.	P. 59

CHAPITRE I

METHODES DES MESURES FAITES POUR CARACTERISER LES TYPES DE CHEMINEMENT DE L'EAU

1.1. REPARTITION DE L'AIR ET DE L'EAU

1.1.1. Pourquoi mesurer les quantités d'air et d'eau présentes dans le sol à différentes périodes de l'année ?

Les plantes doivent pouvoir trouver dans le sol l'air qui est nécessaire à la respiration de leurs racines. C'est pourquoi il est mauvais que le sol soit gorgé d'eau pendant de longues périodes[‡]. Mais le sol doit aussi fournir aux plantes l'eau qui est nécessaire à leur développement, notamment celle qui alimente journallement leur transpiration. En somme, il faut qu'un certain équilibre entre l'air et l'eau contenus dans les pores du sol soit réalisé tout au long de l'année ou de la saison de culture. Ainsi, l'air et l'eau sont les facteurs primordiaux de fertilité, c'est-à-dire ceux dont il faut d'abord connaître -et si nécessaire améliorer- l'équilibre, avant de se soucier des besoins du sol en fertilisants chimiques et organiques.

Mais les différents facteurs de fertilité, eau, air, matière organique, phosphore, calcium, potassium, etc. n'interviennent que dans le volume de sol effectivement prospecté par les racines et les radicelles. Il importe donc de déterminer ce volume, ou mieux -puisque la densité racinaire décroît assez progressivement en profondeur- de mesurer la répartition verticale des racines, afin de connaître la densité d'exploitation du sol par les plantes dans les couches successives (ou "horizons") du sol.

Les mesures présentées ici concernent, non pas des sols cultivés, mais des sols encore sous végétation naturelle, la forêt pour la plupart. Il faut en effet connaître l'état initial des terrains, avant défrichage, afin de choisir une culture adaptée à cet état ou -lorsque cela est possible- de modifier celui-ci pour le rendre propice à la culture envisagée^{‡‡}.

[‡] Certains végétaux extraient l'oxygène dissous dans l'eau et supportent ainsi un long engorgement. D'autres respirent par des racines aériennes. Ce qui est dit ici ne s'applique pas à ces plantes particulières, ni par conséquent à des cultures qu'on peut inonder, comme le riz.

^{‡‡} Il faut donc connaître aussi les exigences en air et en eau de cette culture, besoins qui varient avec la variété considérée, selon les progrès de la génétique.

En examinant les résultats obtenus, on devra aussi penser que l'équilibre air-eau ne dépend pas seulement des propriétés du sol, mais aussi du climat, lequel ne reproduit pas chaque année des conditions identiques : cet équilibre est fonction du couple sol-climat. Un même sol sera par exemple longuement engorgé au cours d'une saison des pluies particulièrement pluvieuse, et suffisamment aéré en année "normale".

Les teneurs en eau qui sont indiquées dans ce rapport sont celles de 1976, année qui a comporté à la fois une saison des pluies exceptionnellement humide et une saison sèche exceptionnellement sèche (J. DUFRESNE, 1977). En 1977, l'écart saisonnier de teneur en eau du sol a été bien moins important.

1.1.2. Définitions et présentation des résultats

L'air et l'eau sont les fluides qui sont contenus dans les pores du sol, pores dont le volume global est appelé porosité totale[‡], que l'on exprime en % du volume total. Dans ce "volume poral", toute entrée (ou sortie) d'eau y est compensée par une sortie (ou entrée) d'un volume égal d'air : l'eau chasse^{***} l'air et l'air remplace l'eau.

En tout point et à chaque instant, on a, en volume :

$$\% \text{ air} + \% \text{ eau} = \text{porosité totale}$$

Cette porosité totale est à peu près constante toute l'année (léger gonflement possible en saison des pluies), si le sol n'est pas travaillé évidemment (on peut négliger le travail par la faune). La courbe qui représente les variations verticales de la porosité totale est donc une caractéristique stable du sol initial. Dans les diagrammes qui donnent la composition en volume du sol (figure P. 1), son trait a été renforcé : toute bosse de cette courbe vers la gauche indique une couche plus compacte à ce niveau, toute bosse vers la droite une couche plus poreuse.

[‡] Le reste du volume est occupé par de la matière solide, dont certains constituants sont rigides (cailloux, sables) et d'autres sont déformables ou "plastiques" lorsqu'ils sont humides (argile, matière organique).

^{***} ou comprime, dans certains cas.

Quant aux fluides qui se partagent cette porosité, leurs teneurs varient à chaque instant en fonction des apports d'eau au sol par l'atmosphère ou la nappe phréatique, de l'évaporation directe, de la transpiration des plantes, et de circulations d'eau internes au sol déterminées soit par la "suction" des couches plus sèches, soit par la gravité (poids) qui s'exerce sur l'eau dite libre (c'est-à-dire celle qui n'est pas retenue par "capillarité" dans les pores fins).

Cependant, il existe au cours du cycle saisonnier des périodes où les teneurs du sol en air et eau varient très lentement (c'est le cas en fin de saison sèche, lorsque les pluies sont rares et que l'évapotranspiration devient très lente, le sol étant sec) ou oscillent faiblement autour d'une même valeur (c'est le cas en saison des pluies, lorsque le sol est humecté mais ressuyé, c'est-à-dire que l'eau de gravité qui filtre rapidement a été entraînée en profondeur ou latéralement). Ces deux situations extrêmes sont caractérisées dans les diagrammes de composition volumique par deux courbes qui indiquent les variations verticales de :

\underline{h}_m , teneur volumique en eau à la fin de la saison sèche (fin Octobre),

\underline{h}_M^* , teneur volumique en eau du sol ressuyé* de saison des pluies (vers Juin, après deux jours sans averse).

Les diagrammes de composition volumique indiquent aussi la teneur en eau au pF 4,2, c'est-à-dire au "point de flétrissement permanent" des végétaux. L'eau qui est comptabilisée à gauche de cette courbe de pF 4,2 volumique (en pointillé) n'est pas extractible par les plantes car elle est trop fortement retenue dans des pores très fins.

La manière dont on a opéré pour mesurer les teneurs en eau saisonnières donnant les courbes \underline{h}_m et \underline{h}_M est aussi celle qui a été utilisée pour suivre la circulation dans le sol, non pas de l'eau de pluie, mais d'eau déposée expérimentalement en surface du sol (voir en 1.2.3.).

Les diagrammes indiquent aussi, à droite de la courbe de porosité totale (trait renforcé), la composition en volume du sol en constituants solides. De

* Lorsque le sol, ou l'horizon considéré, se ressuint mal ou pas du tout, à cause de la présence d'un "piège" imperméable, l'échantillon contient de l'eau libre, dont une partie s'échappe cependant lors du prélèvement. Un astérisque signale ces cas, qui correspondent à des poches d'eau piégées dans le sol, ou à une nappe d'eau perchée qui circule latéralement.

gauche à droite, figurent les volumes occupés par :

- le refus (constituants de diamètre supérieur à 2 mm) ;
- les sables grossiers (diamètre compris entre 0,2 et 2 mm) ;
- les sables fins (diamètre compris entre 0,05 et 0,2 mm) ;
- les limons (diamètre compris entre 0,002 et 0,05 mm) ;
- l'argile granulométrique (particules^{*} inférieures à 0,002 mm) ;
- la matière organique dont les fines particules sont aussi plus ou moins agglomérées.

En ce qui concerne le refus, deux cas ont dû être distingués :

- Ses constituants n'ont pas d'enveloppe imperméable (restes de roche altérée, plus ou moins ferruginisée, qu'on appelle des lithoreliques) de sorte que l'air et l'eau que contient leur propre porosité communiquent avec l'extérieur et sont de ce fait accessibles aux plantes.
- Ses constituants ont une enveloppe à porosité très fine qui isole les fluides contenus dans leur porosité ou sont, dans leur totalité, de porosité fine (nodules, concrétions ferrugineuses, quartz).

Dans le premier cas, on a comptabilisé l'air et l'eau de ces constituants avec ceux du sol. Dans le second cas, leur volume n'est pas séparé de celui de la matière solide proprement dite^{**}.

1.1.3. Lecture des diagrammes de composition volumique

Ces diagrammes condensent une information considérable, qu'il serait fastidieux et malcommode de présenter sous forme de tableaux de chiffres. On peut les lire en deux étapes :

- a) Etude de l'équilibre air-eau du haut en bas du sol et aux deux saisons extrêmes. (Volumes figurés à gauche de la courbe de poro-

* Plus ou moins agglomérées entre elles et aux autres constituants et dont la séparation nécessite l'action d'un produit "dispersant".

** En fait, le passage des lithoreliques aux nodules ferrugineux est progressif de bas en haut, mais on lui a tracé une limite brusque, par commodité.

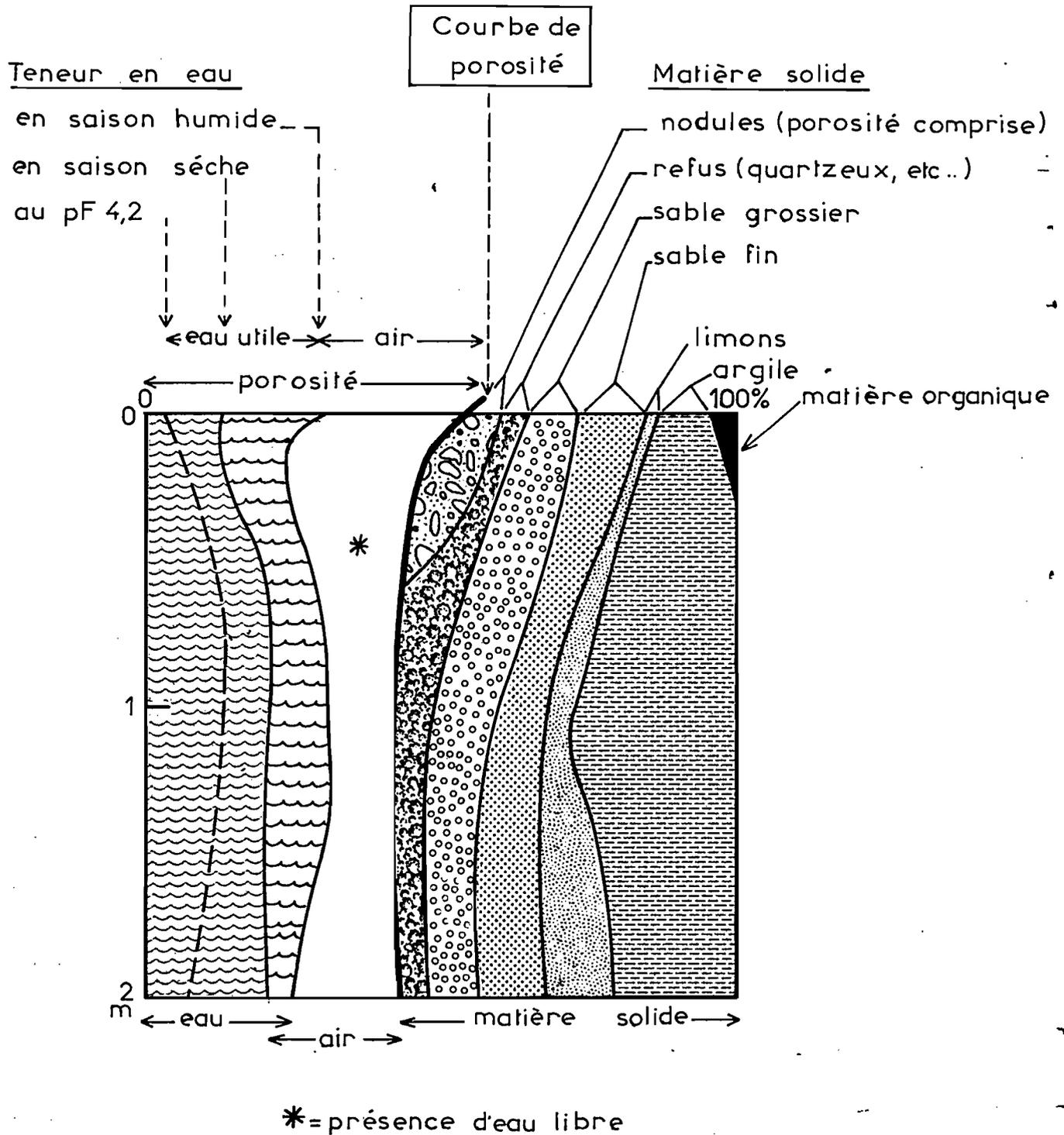
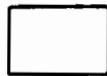
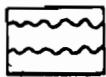


Figure: P.1 . Légende des diagrammes volumiques. ,

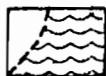
sité totale dont le trait est renforcé).



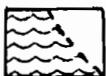
Le volume représenté par ce figuré, au centre du diagramme, est celui qui reste en air même pendant la saison des pluies, du moins dès que le sol est ressuyé. Tout rétrécissement de sa forme signale une couche moins aérée, voire même mal aérée. L'astérisque indique les couches où des poches d'eau ont été observées en saison des pluies, réduisant d'autant l'air disponible pour la respiration des racines. Le risque d'asphyxie est grand, si ces poches d'eau persistent plus de quelques jours, mais il existe de proche en proche des volumes plus sains que les racines pourront exploiter à la rigueur.



Ce figuré représente le volume qui est occupé alternativement par de l'air (périodes sèches) ou de l'eau (saison des pluies). C'est en d'autres termes la porosité disputée saisonnièrement ou périodiquement entre l'air et l'eau. Là où sa forme se rétrécit, ou disparaît (en profondeur), le sol est à la même humidité en toutes saisons : cela ne signifie pas qu'il n'y passe pas d'eau de gravité, mais que celle-ci n'occupe qu'un volume infime ; mais cela signifie surtout que les racines n'y prélèvent guère d'eau.



Ce figuré représente l'eau qui est encore disponible pour les végétaux à la fin de la saison sèche. Mais ce volume d'eau varie évidemment selon la sévérité de la saison sèche. Etant donné que 1976, année concernée par ces diagrammes, a eu une saison sèche très accentuée, ce volume d'eau doit être plus grand en année normale (la porosité disputée est alors moindre car la teneur en eau du sol ressuyé ne varie guère d'une saison des pluies à l'autre).



Ce figuré représente l'eau trop fortement retenue pour être extraite par les végétaux. Lorsqu'elle occupe une proportion importante de la porosité totale, au détriment de la porosité "disputée" et de l'air, cela signifie que les pores de l'horizon concerné sont, pour la plupart, extrêmement fins. Par conséquent, un tel horizon est imperméable dans sa masse même si, de place en place, de grosses galeries permettent à l'eau de gravité de le traverser rapidement. En dehors de ces points de passage possibles, cet horizon n'est pénétré que très lentement et donc en très petite quantité par l'eau de gravité.

En conclusion, les données précédentes renseignent principalement sur les quantités d'air et d'eau disponibles aux deux extrêmes saisonniers considérés, et de haut en bas du sol. Mais elles n'indiquent pas avec certitude comment cet air et cette eau circulent.

b) Recherche de caractères en relation avec la dynamique de l'eau
(Volumes figurés à droite de la courbe de porosité totale).

La droite du diagramme nous renseigne sur les pourcentages du volume occupés par les constituants solides de différentes tailles (mais pas sur la nature de ces constituants pour ne pas trop compliquer le diagramme). Ces pourcentages ne subissent aucune variation saisonnière notable.

Ils peuvent nous servir à détecter les changements de taille des constituants, qui coïncident avec des particularités de la dynamique de l'eau étudiée ci-dessus. Par exemple, la concentration maximum de cailloux imperméables peut coïncider avec la zone à nappe perchée, le maximum de limons avec le maximum d'eau disponible en fin de saison sèche, le maximum d'argile avec la couche formant un plancher "imperméable" pour les poches d'eau.

1.2. COMPORTEMENT DU SOL A L'INFILTRATION ET A LA FILTRATION D'EAU DEPOSEE EN SURFACE PAR L'EXPERIMENTATEUR

1.2.1. Définitions et objectif de cette étude

L'infiltration est la façon dont l'eau apportée en surface du sol pénètre dans celui-ci. L'eau qui est refusée par le sol stagne dans les moindres creux, ou alimente le ruissellement. L'eau qui ruisselle depuis le haut des versants s'ajoute en chaque point à la quantité d'eau apportée directement par les pluies.

La filtration est la façon dont l'eau qui s'est infiltrée dans le sol ressuyé^{*} s'enfonce et circule dans celui-ci, soit verticalement sous l'action de son propre poids, soit obliquement s'il s'établit une pression hydrostatique (sol saturé d'eau). Si la filtration est plus lente que l'infiltration, cette dernière réglera ensuite son débit sur le débit de filtration.

On considérera ici des résultats de mesures d'infiltration et de filtration qui concernent, non pas l'eau apportée périodiquement par les pluies, mais de l'eau déposée en surface par l'expérimentateur, et maintenue sur les côtés par une enceinte étanche, enfoncée de quelques centimètres dans le sol.

L'infiltration (et la filtration) peut être caractérisée par l'épaisseur de la lame d'eau qui passe en un temps donné à travers la surface du sol (ou à une profondeur donnée). Mais ce débit, qu'on appelle perméabilité et qu'on exprime souvent en cm/h^{set} , dépend des conditions opératoires, notamment de la hauteur de la lame d'eau qui recouvre la surface de mesure.

Comme en outre :

- l'eau emprisonnée dans l'enceinte ne peut échapper à l'infiltration en ruisselant,

* C'est-à-dire dont l'humidité correspond à la "capacité au champ" (cf. 1.2.3.), au-delà de laquelle le sol ne peut retenir l'eau.

** Comme l'intensité des averses.

- l'air piégé dans le sol peut s'échapper latéralement (puisque tout le terrain n'est pas submergé),
- toutes les aspérités du sol sont submergées dans l'enceinte, y compris des galeries d'animaux qui sont "hors d'eau" dans les conditions naturelles,
- la mesure ne concerne qu'une petite surface d'un terrain généralement très hétérogène.

Il apparaît à l'évidence que les conditions expérimentales de ces mesures sont bien différentes des conditions qui président à l'infiltration et à la filtration des eaux de pluie ou même des eaux ruisselées.

Par conséquent, ces mesures ne peuvent servir à déterminer l'intensité maximale^z de la pluie au-dessus de laquelle démarre le ruissellement. A Cause de l'eau qui s'engouffre dans des galeries de gros diamètre qui sont hors d'eau dans les conditions naturelles, les perméabilités mesurées expérimentalement sont généralement très supérieures à ces intensités maximales. On peut penser cependant que les résultats varient comme ces intensités maximales : plus la perméabilité mesurée expérimentalement est faible, plus l'intensité maximale est faible et donc le ruissellement probable.

Par contre, ces résultats renseignent (mais globalement seulement) sur l'abondance, la largeur, les rétrécissements et les connexions des galeries (ou pores tubulaires) du sol qui conduisent l'eau pendant l'infiltration ou la filtration. Ils nous serviront ici surtout à montrer les différences qui existent entre les divers sols de Guyane (et par rapport aux sols des régions équatoriales d'Afrique) et pour cela, il suffira de les comparer, c'est-à-dire de considérer leurs valeurs relatives, ou simplement leurs relations avec d'autres caractères ou comportements du sol.

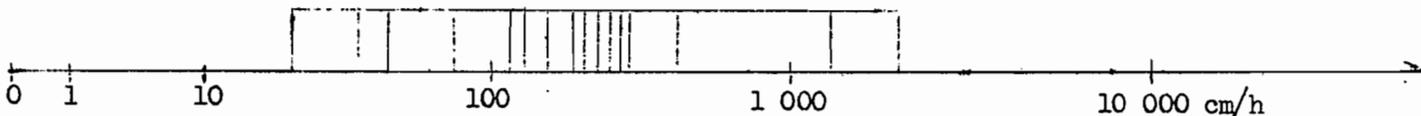
^z Le déclenchement du ruissellement dépend de la durée de la pluie, lorsque le sol présente une couche moins perméable sur le trajet de l'eau qui filtre et que le ralentissement qui en résulte s'est fait sentir jusqu'en surface.

La mesure du ruissellement nécessite des installations onéreuses, ce qui en limite le nombre. Le ruissellement alimente les crues des criques et en mesurant le débit de ces crues on peut calculer le ruissellement moyen sur le bassin versant. Ce ruissellement est exprimé en % de la pluie reçue par le bassin. Il varie non seulement avec l'intensité des averses et selon les bassins, mais aussi en fonction des pluies des jours précédents, ou encore selon l'état de dessèchement du sol. Différents bassins versants ont été étudiés et sont étudiés (piste de St-Elie) par les Hydrologues de l'ORSTOM et le C.T.F.T.

1.2.2. Etude expérimentale de l'infiltration

Lorsqu'on ancre de quelques centimètres dans le sol une enceinte en acier, qu'on y verse de l'eau et qu'on mesure l'abaissement du niveau d'eau pendant un temps donné, on peut calculer une valeur de perméabilité, par exemple 1 cm/heure. Mais on constate que, sur un même terrain, ces perméabilités varient généralement beaucoup à quelques décimètres ou mètres seulement de distance. C'est pourquoi on a besoin non pas d'une mesure unique sur chaque sol, mais de plusieurs dizaines, de manière à pouvoir calculer une moyenne (ou une médiane) qui, elle, soit caractéristique de ce sol.

Mais il est intéressant de connaître aussi la dispersion statistique des résultats car une moyenne donnée peut correspondre à des dispersions de résultats très différentes. Pour cela, le plus commode est de présenter chaque résultat par un bâtonnet sur une échelle de valeurs de perméabilité, allant par exemple de 0 à 10 000 cm/h (en resserrant les valeurs à mesure qu'elles croissent) et en réunissant les sommets des bâtonnets :



Pour pouvoir faire plusieurs dizaines de mesures par sol, il fallait une méthode simple et rapide : c'est pourquoi on n'a pas opéré avec un dispositif d'alimentation qui maintienne un niveau d'eau constant (flacon gradué, retourné en dispositif dit "de Mariotte") mais simplement en mesurant le temps t d'infiltration complète d'une lame d'eau de 12 cm de hauteur. Les enceintes où cette lame d'eau était établie sont des cadres carrés en acier de $20/10^e$ mm, de section 250 cm^2 , placés[‡] à quelques décimètres les uns des autres pour que les eaux qui filtrent ne se mélangent pas. Avec 10 cadres mis en eau successivement à une minute d'intervalle, on peut faire une centaine de mesures par jour, du moins en sol perméable.

[‡] Lors de l'enfoncement, si le cadre bute sur une racine résistante ou un caillou, il faut changer d'emplacement. Ce cas est fréquent dans les sols à cheminement de l'eau superficiel et latéral, où il y a beaucoup de cailloux et de grosses racines dans l'horizon supérieur.

En divisant l_2 (hauteur de la lame d'eau) par t (en heure), on obtient des perméabilités (en cm/h), qui sont présentées dans ce rapport (qu'il faudra cependant se garder de comparer avec des perméabilités obtenues par d'autres méthodes).

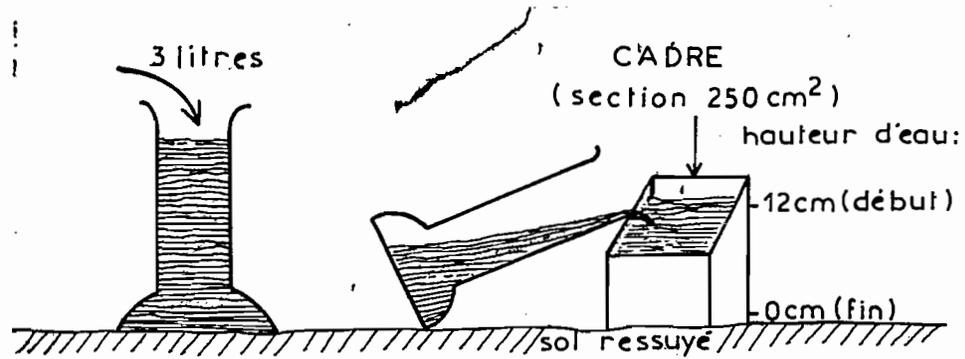
1.2.3. Etude expérimentale de la filtration

- a) - Principe : Après infiltration, l'eau filtre à travers le sol ressuyé, sous l'action de la gravité. Cette filtration ne se fait pas obligatoirement verticalement vers le bas : elle peut aussi s'effectuer en partie obliquement si l'eau rencontre un horizon imperméable, ou même simplement si le sol est saturé et que le volume saturé est en pente.

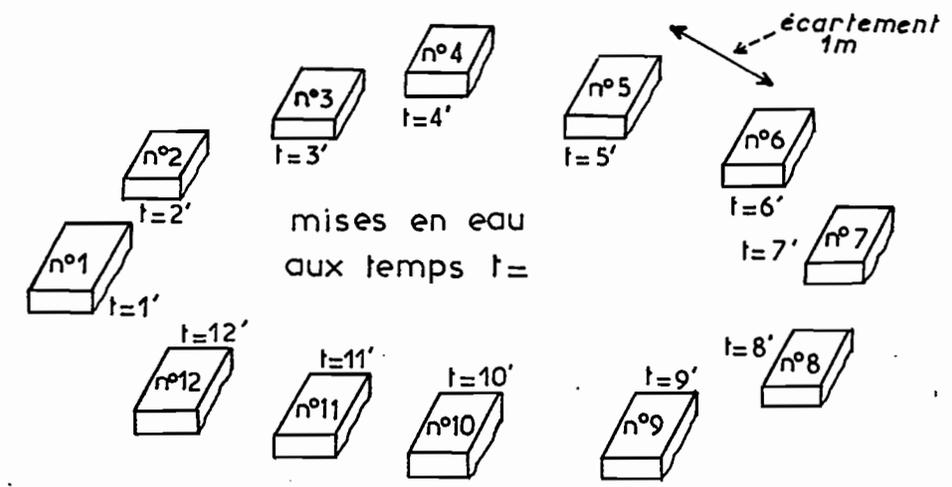
L'opération consiste à forcer à l'infiltration, dans le sol ressuyé, une certaine quantité d'eau (en la plaçant dans une enceinte ancrée de quelques centimètres dans la surface du sol) et à mesurer ensuite l'augmentation de teneur en eau du sol (provoquée par l'eau en cours de filtration). Pour suivre^x le cheminement de l'eau qui filtre, on prélève avec une tarière, à intervalles de temps successifs, des petits échantillons (100 g environ) de terre à différentes profondeurs, et on mesure la teneur en eau de ces échantillons en les pesant avant et après passage à l'étuve à 105° jusqu'à poids constant (48 heures).

Si le sol est engorgé, une partie de l'eau libre s'échappe au moment du prélèvement et la teneur en eau est alors sous-estimée. Mais le principal problème apparaît lorsqu'il existe dans le sol une nappe d'eau, ou des poches d'eau, "perchées" sur un horizon imperméable et qu'on veut connaître la teneur en eau des horizons sous-jacents : en effet, l'eau de la nappe (ou des poches) suinte sur la paroi du trou de tarière et fausse le résultat en surestimant la teneur en eau. Il faut opérer alors rapidement, avant que les pores lissés par la tarière n'aient eu le temps de se déboucher (ou à la rigueur ne prélever que la partie centrale, "sèche", de la chambre de tarière).

^x Il existe d'autres méthodes, plus précises, mais d'emploi moins commode lorsqu'on n'accède au lieu d'étude qu'à pied et par un layon. Nous ne décrivons ici que la méthode qui a servi à obtenir les résultats que nous commenterons plus loin.



① MISE EN EAU D'UN CADRE

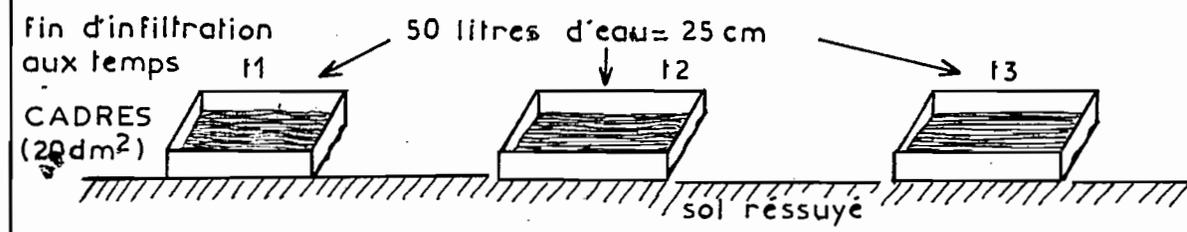


② DISPOSITIF GENERAL: batterie de 12 cadres

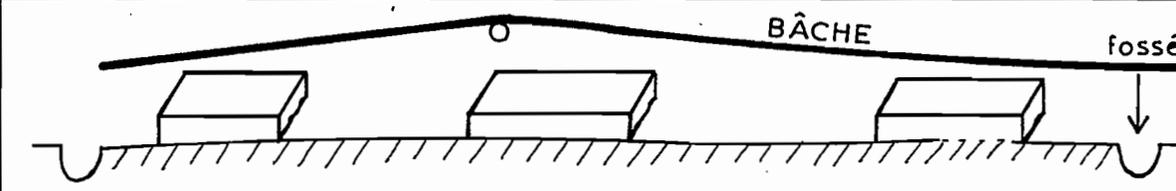
Cadre	n°1	n°2	n°3	n°4, ...
temps final	7'	4'	18'	57'
Initial	1'	2'	3'	4'
durée	6'	2'	15'	53'
cm/h	120	360	48	13,5

③ EXEMPLE DE RESULTAT.

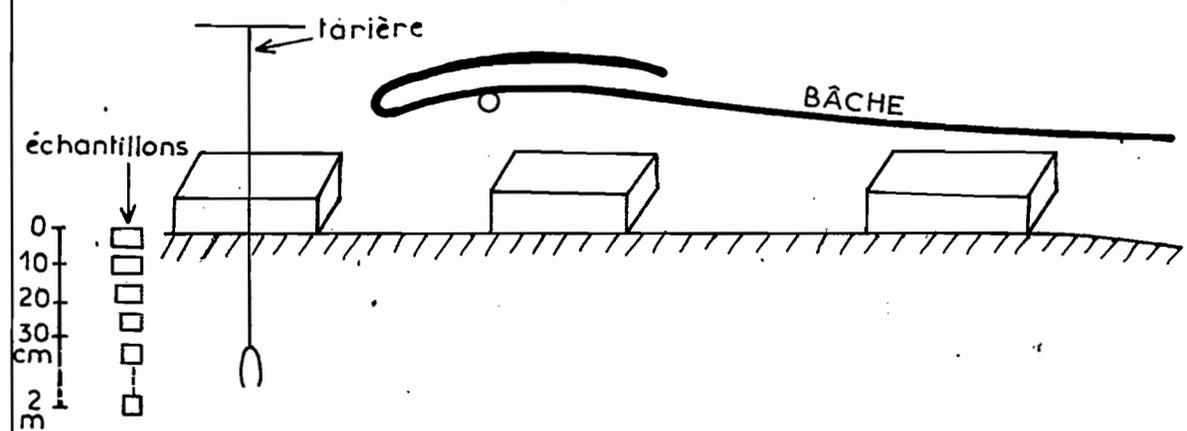
Figure P 2: Expérience d'infiltration.



① INFILTRATION FORCEE.

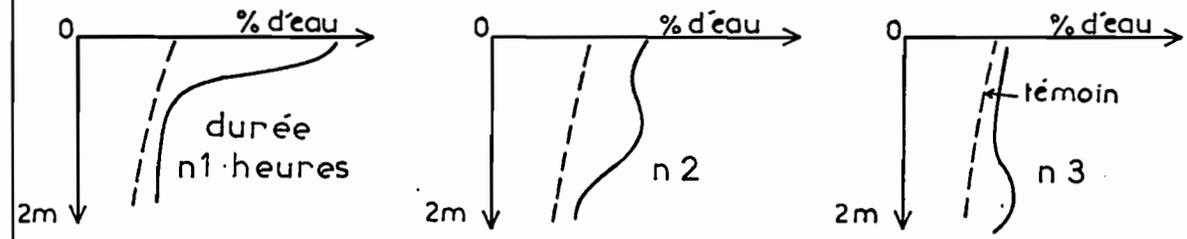


② MISE A L'ABRI DE LA PLUIE ET DE L'EVAPORATION DIRECTE.



③ PRELEVEMENTS A LA TARIERE AU TEMPS t1+n1 heures.

④ DETERMINATION AU LABORATOIRE DE LA TENEUR EN EAU DES ECHANTILLONS.



⑤ TRACÉ DES COURBES DE RESSUYAGE.

Figure P 3: Expérience de filtration.

Un autre problème est celui de l'hétérogénéité du sol : à quelques décimètres ou mètres de distance, la teneur en eau peut varier, soit parce qu'il y a, à certains endroits, des poches d'eau, soit parce que le sol y a des pores plus fins (il est plus argileux par exemple) et qu'il retient alors plus d'eau. Il est donc difficile de suivre par cette méthode* les variations de teneur en eau d'heure en heure après l'infiltration puisqu'il faut se placer à un endroit différent pour chaque mesure horaire. C'est cependant ce qu'on a fait, mais en prenant soin de ne comparer que des échantillons identiques.

Les mesures effectuées à différentes profondeurs (tous les 5 à 10 cm) dans le sol et à différentes heures après l'infiltration ont permis de tracer des courbes de teneur en eau qu'on appelle courbes de ressuyage* (voir dépliant) de l'eau libre**.

Au bout de quelques jours, si le sol est protégé non seulement de la pluie mais de l'évaporation directe et de la transpiration des plantes (évapotranspiration), toute l'eau libre devrait être évacuée et la teneur en eau du sol ne varier plus guère. Si tel est le cas, on dit que le sol est "à la capacité au champ". Mais dans certains sols de Guyane, des poches d'eau peuvent persister dans le sol pendant plus d'une semaine (avant d'être enfin séchées par évapotranspiration) de sorte que la mesure de la teneur en eau à la capacité au champ n'y est guère possible (et n'a guère d'intérêt). Dans les autres sols, la capacité au champ est atteinte en 2 à 4 jours et c'est aussi ce qui se passe dans la nature lorsqu'il ne pleut plus pendant quelques jours (il y a cependant une reprise d'eau par évapotranspiration, d'au plus 4 mm par jour).

Pour bien interpréter les courbes de ressuyage, il faut déterminer aussi les teneurs en eau d'un "témoin", c'est-à-dire d'un emplacement qui ne reçoit pas d'eau (qui, dans les mesures effectuées en saison des pluies, cor-

* Le sol ne recevant plus d'eau par sa surface à partir de l'instant zéro (fin de l'infiltration), il commence à se ressuyer de l'eau libre qu'il contient.

** Cette eau libre est celle qui n'est pas retenue par des pores suffisamment fins pour jouer le rôle de "capillaires" et qui a la possibilité de se déplacer sous l'action de la gravité.

respond à peu près à la capacité au champ).

b) Remarque : Avec la méthode énergique du chauffage à 105°, on dessèche le sol beaucoup plus que ne peut le faire une plante par l'intermédiaire de son système racinaire. Par conséquent, dans la teneur en eau totale qui figure dans les courbes de ressuyage, une partie de l'eau seulement est disponible pour les plantes : on l'appelle eau utile et on exprime commodément celle-ci en mm d'épaisseur (épaisseur de la lame d'eau qu'on obtiendrait en extrayant l'eau utile d'une couche de sol ou sur toute l'épaisseur de sol prospectée par les racines).

L'eau qui n'est pas extractible par les plantes correspond à peu près à ce qu'on appelle eau retenue au pF 4,2, qu'on obtient par une mesure au laboratoire.

Toutes ces teneurs en eau ont d'ailleurs déjà été distinguées dans les diagrammes de composition volumique car la teneur en eau en saison des pluies correspond à peu près à la capacité au champ.

c) Protocole utilisé :

En pratique les courbes de ressuyage ont été établies comme suit :

- On protège de la pluie (bâche) et du ruissellement (rigoles) une surface de sol assez grande (6 x 6 m), quoique dépourvue de gros arbres.
- En 10 points suffisamment éloignés les uns des autres[‡], on enfonce de 5 cm dans le sol des cadres métalliques de 20 dm² de section. Chacun reçoit une quantité d'eau excédant la teneur en air des deux mètres supérieurs du sol (25 cm généralement). La fin de l'infiltration est le temps zéro de l'expérience de filtration.

[‡] Et non placés les uns en aval des autres, pour éviter les contaminations par écoulements obliques.

- Au temps t, on prélève à la tarière, au centre d'un cadre, des échantillons de terre à différentes profondeurs jusqu'à 2 m, et on détermine leur teneur en eau (par séchage à l'étuve). On "sacrifie" ainsi successivement les cadres (points d'humectation) à des temps t qui sont :

0, 1, 2,,3, 4, 6, 12, 24, 48 et 96 heures après l'infiltration.

- On détermine aussi les teneurs en eau à différentes profondeurs en des points qui n'ont pas reçu expérimentalement d'eau et qui servent de "témoins" pour l'étude du phénomène de ressuyage : l'un est pris au début de l'étude, deux autres à la fin (96 h) en des endroits, l'un abrité, l'autre non abrité de la pluie et du ruissellement.

- Pendant toute l'étude, et si possible quelques jours avant, l'apport pluvial au sol est mesuré^{*}, dans un pluviomètre, ce qui permet de juger des apports d'eau latéraux éventuels par formation de nappe perchée. En effet, comme les terrains d'expériences n'ont pu être protégés de tels écoulements (ce qui aurait nécessité des fossés amont et latéraux suffisamment profonds et où le niveau d'eau resterait toujours assez bas), il a fallu recommencer l'étude chaque fois que des averses importantes provoquaient de tels apports perturbateurs.

* Et les modalités de son infiltration-filtration étudiés, en ouvrant de petites fosses.

1.3. ETUDE DE LA REPARTITION VERTICALE DES RACINES

1.3.1. Intérêt des mesures d'enracinement

Ce sont les racines qui extraient du sol l'eau "utile" pour alimenter la transpiration et le développement des végétaux. Ce sont elles aussi qui ont besoin d'air pour leur respiration. Il est donc important de savoir jusqu'où vont les racines en profondeur, comment elles sont réparties selon leur diamètre et par tranches de même épaisseur, quel aspect elles présentent (tracé plus ou moins sinueux et ramifié, présence d'une gaine noirâtre, abondance des racines mortes, etc...).

La masse racinaire contenue dans les tranches successives du sol décroît très rapidement de haut en bas. Décroît aussi, généralement, la proportion de grosses racines au profit des plus petites. Mais ces décroissances ne se font pas avec la même rapidité dans les différents types de sols et la décroissance est même parfois interrompue par un palier où la masse racinaire reste constante sur plusieurs décimètres d'épaisseur. Or, il apparaît que le mode de décroissance[⊗] est caractéristique du type de cheminement de l'eau : les sols à cheminement de l'eau vertical et libre par exemple présentent une décroissance plus lente et plus régulière que les sols à cheminement superficiel et latéral.

Nous ne donnerons pas ici d'appréciation sur l'aspect des racines mais seulement des données quantitatives sur le poids de racines, par tranches d'épaisseur 20 cm, échelonnées de haut en bas entre 0 et 2 m de profondeur, et seulement pour des sols encore sous végétation naturelle (forêt essentiellement). Pour utiliser ces résultats, il faut avoir à l'esprit que :

- Lors du défrichage et par les pratiques culturales ultérieures, les propriétés du sol qui influent sur l'enracinement vont être modifiées (notamment le cheminement de l'eau et la compacité des couches supérieures).

[⊗] La masse racinaire, quant à elle, dépend aussi de la pauvreté du milieu en éléments chimiques et en eau utile : elle est par exemple plus importante sous forêt dans les "sables blancs" grossiers (très pauvres) que dans les sols plus argileux.

- La mise en culture tend à réduire la compétition entre espèces végétales au profit d'une seule. Or, celle-ci n'a pas forcément les mêmes capacités à pénétrer et occuper les horizons profonds par ses racines, que la forêt naturelle dans laquelle plusieurs centaines d'espèces sont en compétition.
- Si la culture est annuelle, c'est chaque année qu'elle devra développer son système racinaire, en partant de la couche supérieure.

C'est pourquoi on constate le plus souvent que les systèmes racinaires des plantes cultivées sont moins fournis et pénètrent moins profondément que ceux de la végétation naturelle. L'intérêt des résultats de mesure de répartition des racines sous forêt naturelle qui seront présentés (dépliant) est alors :

- De persuader, si nécessaire, le lecteur de l'influence du mode de cheminement de l'eau sur l'enracinement et donc sur la croissance des plantes.
- D'indiquer quels sont les types de répartition des racines qui révèlent l'existence d'un mode de cheminement de l'eau défavorable aux plantes : devant une coupe de sol fraîchement ouverte, il est possible en effet, grâce à l'examen de l'enracinement, d'avoir une idée du type de cheminement de l'eau, même en saison sèche, lorsqu'il n'y a plus d'eau qui s'infiltré.
- De connaître les obstacles naturels à la pénétration des racines, obstacles qu'il faudra supprimer, en système de culture, par des pratiques appropriées, si l'on veut améliorer l'exploitation du sol par la plante et ses racines.

1.3.2. Comment ont été faites ces mesures d'enracinement

Les mesures du poids de racines ont été faites, pour chaque type de sol, sur une surface de 2 m² choisie entre 4 ou 5 arbres, d'espèces communes dans la forêt et à peu près à égale distance des différents troncs pour que dans le volume étudié, les racines de plusieurs espèces soient en compétition.

Chaque pelletée de terre est déposée sur une bâche où des trieurs séparent les racines. Comme les racines sont très abondantes dans les horizons supérieurs et qu'il est difficile alors de les séparer toutes, on prélève un peu de la terre laissée par chaque trieur (pour chaque couche) et on sépare

sur un tamis toutes les racines laissées dans cet échantillon : on peut ainsi -le poids de terre, le poids de racines (et par ailleurs la densité apparente) étant mesurés- compléter le résultat du premier tri par une bonne estimation du poids des petites racines qui ont échappé à ce tri.

Les racines prélevées par tranche de 20 cm d'épaisseur et pour chaque mètre carré de terrain, sont lavées puis séchées, d'abord à l'air ensuite à l'étuve à 105° jusqu'à poids constant (plus de 4 jours sont parfois nécessaires, même en tronçonnant les racines), enfin pesées globalement, puis après séparation en trois classes selon leur diamètre (moins de 2 mm, entre 2 mm et 1 cm, entre 1 et 4 cm, les racines de diamètre supérieur à 4 cm n'ont pas été comptabilisées, leur abondance varie trop sur une surface de 1 m²).

Les résultats (la moyenne des deux m² contigus) sont présentés sous la forme d'histogrammes (cf. dépliant) où le poids de racine figure en abscisse (de gauche à droite des plus fines aux plus grosses) pour des tranches de profondeur croissante, apparaissant en ordonnée. Comme la décroissance du poids de racines est très rapide à partir de la surface, il a fallu changer d'échelle (la tranche 0 - 20 cm est surtout concernée) et même préciser les résultats pour la couche 1 - 2 m avec une échelle dix fois supérieure (petit histogramme décalé vers la droite).

Le total obtenu pour la tranche 0 - 2 m varie de 3 à 8 kg/m². C'est par rapport à ce total que sont exprimés les pourcentages des différentes tranches, qui figurent sur le dépliant et qui renseignent sur la décroissance. Rappelons en effet que le poids total n'est pas la donnée la plus intéressante à considérer : ce sont des pourcentages de racines par tranches (notamment 0 - 20 cm, 20 - 60 cm, 1 - 2 m) qui retiendront notre attention.

CHAPITRE II

RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST VERTICAL ET LIBRE, DONC PROFOND (DYNAMIQUE VERTICALE). Sols à équilibre air-eau favorable aux cultures. Comparaison avec des sols d'Afrique humide.

Les mesures pour caractériser ce type de cheminement de l'eau ont été faites sous forêt naturelle en un seul endroit, le terrain SS 10, qui est placé au sommet d'un interfluve de la région de Saut-Sabbat, et qui dérive d'une roche-mère homogène (granite ?). On donnera aussi les caractères d'un terrain (SLM) qui porte une pinède installée vers 1964 (forêt des Malgaches près de Saint-Laurent) pour montrer quelles peuvent être les modifications apportées par la mise en valeur.

2.1. TERRAIN SS 10 SOUS FORET

Dans le sol SS 10, le refus (cailloux, graviers) est presque inexistant mais les sables sont abondants et grossiers (diagramme volumique sur dépliant à la fin de l'ouvrage). Il semblerait alors que ce puisse être ces constituants rigides, formant ce que l'on appelle le squelette du sol, qui confèrent à celui-ci un cheminement de l'eau vertical et libre. En fait, cette condition n'est pas suffisante et c'est surtout à la présence de micro-agrégats sur plusieurs mètres d'épaisseur, qu'on doit attribuer le ressuyage rapide[‡] de ce type de terrain.

On constate -sur le diagramme volumique- que l'air et l'eau sont en quantités à peu près équivalentes dans ce sol (bon équilibre air-eau) et sans variations verticales brusques (du moins à partir de 20 cm de profondeur). La variation saisonnière (porosité disputée) se marque sur toute la hauteur étudiée (plus de 2 m donc) et il n'y a pas dans ce sol trop d'eau fortement retenue (au pF 4,2). La couche superficielle est plus aérée. Ainsi, la partie du diagramme qui représente le volume d'air a une forme légèrement évasée, ouverte vers l'atmosphère.

[‡] Inversement, la stabilité de ces micro-agrégats paraît dépendre du maintien de ces bonnes conditions de ressuyage.

A noter cependant que la courbe de porosité totale (trait renforcé) présente vers 10 cm de profondeur une légère bosse vers la gauche, indiquant une couche plus compacte. Celle-ci correspond à un horizon où l'argile n'est plus agglomérée en micro-agrégats et qui, du fait de ce tassement, retient un peu plus d'eau (bosse vers la droite dans la courbe de teneur en eau de saison des pluies h_M). Mais cette augmentation de compacité et d'humidité n'est pas gênante ici puisqu'il reste encore beaucoup d'air à ce niveau.

L'infiltration est rapide en SS 10 comme le montrent les perméabilités en surface du sol, obtenues par la méthode décrite en 1.2.2. (tableau P. 1). On peut donc s'attendre à ce que ici, toute l'eau apportée par les pluies s'infiltré. Effectivement, on n'observe pas de ruissellement généralisé (en dehors des zones piétinées évidemment).

Les mesures de filtration expérimentale (méthode décrite en 1.2.3.) montrent que l'eau apportée en surface du terrain SS 10 s'enfonce verticalement et atteint assez rapidement la profondeur. Il y a cependant ralentissement à deux niveaux (voir courbes de ressuyage sur dépliant):

- au-dessus de l'horizon compact[‡] subsuperficiel, vers 10 - 20 cm de profondeur (courbe 0 heure) ;
- au-dessus du maximum de teneur en argile (cf. chap. VI) à 1,2 m de profondeur (courbes 3 h et 12 heures).

La courbe de teneur en eau atteint une position stable au bout de 2 jours (superposition des courbes 48 et 96 heures). L'eau apportée en surface a donc alors transité à travers les deux mètres supérieurs, pour rejoindre ensuite en profondeur la nappe phréatique (non repérée). Toutefois, ces teneurs stables sont un peu supérieures à celles des témoins, ce qui peut être attribué à deux phénomènes, vraisemblablement combinés :

- reprise par évapotranspiration au cours d'une période insuffisamment pluvieuse de sorte qu'au moment de l'étude (janvier 78) l'humidité du sol était inférieure à la capacité au champ ;

[‡] Les teneurs en eau qui apparaissent dans ces courbes de ressuyage sont des teneurs pondérales. Par conséquent, l'accumulation d'eau qui apparaît au niveau de l'horizon compact est encore plus prononcée en expression volumique, comme on peut le constater sur le diagramme volumique (dépliant).

- filtration très lente d'une petite partie de l'eau de gravité, le sol mettant alors plus de 4 jours à se ressuyer aussi complètement que le témoin.

Le ralentissement de la filtration au niveau de l'horizon compact subsuperficiel est suffisamment prononcé pour qu'il y détermine un maximum de teneur en eau, bien que le pourcentage d'argile décroisse de bas en haut et entraîne logiquement au contraire une diminution de la quantité d'eau retenue. Ce maximum correspond donc à une petite accumulation d'eau de gravité à ce niveau, et (ou) à une modification de la capacité de rétention d'eau par le sol puisque ce léger maximum persiste même dans le sol ressuyé (courbes 48 h, 96 heures et témoins.

TABLEAU P. 1

Perméabilité en surface des sols, sous forêt (en cm/h).

Sols à dynamique verticale profonde :

Terrain	kM	km	kM/km	M	m	M/m	i	i/m	n
SS 10	864	119	7	425	360	1.2	343	0.95	36
SS 15	1234	160	8	533	476	1.1	475	1.00	12
SS 4	1080	152	7	522	455	1.1	448	0.98	48
SS P	1440	576	25	914	912	1.0	516	0.57	24

Sols à dynamique superficielle et latérale :

Terrain	kM	km	kM/km	M	m	M/m	i	i/m	n
HAR 7	720	0,3	2400	115	62	1.9	120	1.94	36
IFAC-f	320	76	4	191	206	0.93	133	0.65	12
SS 17	393	8	49	66	40	1.65	58	1.45	24
SS 18	480	88	5	92	61	1.51	84	1.38	24

kM, km = valeurs maximale, minimale ; M = moyenne ; m = médiane ;
i = interquartile ; n = nombre de mesures.

Pour la méthode de mesure utilisée se reporter au chapitre P I

La répartition des racines (histogramme sur dépliant) montre en SS 10 une décroissance du poids de racines, en fonction de la profondeur, qui est certes rapide, puisque la tranche 0 - 20 cm contient 68% du poids total, mais moins que dans les sols à cheminement de l'eau superficiel et latéral. On note même un premier palier vers 40 - 80 cm de profondeur et un second, plus étalé, entre 1 et 2 m. Ce dernier palier laisse penser que la pénétration des racines est encore plus profonde, comme la variation saisonnière de teneur en eau. Ces deux comportements paraissent d'ailleurs assez étroitement liés : les obstacles à la pénétration de l'eau peuvent être aussi des obstacles à la pénétration des racines et ce sont les prélèvements d'eau par les racines qui sont à l'origine de la principale variation saisonnière de teneur en eau.

2.2. TERRAIN SLM SOUS PINEDE

Sous la pinède de la forêt des Malgaches, le cheminement de l'eau est vertical comme en SS 10[‡], mais la perméabilité de surface est nettement plus faible par endroits, notamment dans les creux du microrelief, là où celui-ci est bien marqué. Cette irrégularité de l'infiltration paraît due aux actions humaines : tassement, durcissement, colmatage par l'argile sont le résultat probable des pressions, dessèchement et façonnement d'un microrelief qui se sont produits lors du défrichement, ou au cours de la longue histoire culturelle de ce sol proche de Saint-Laurent.

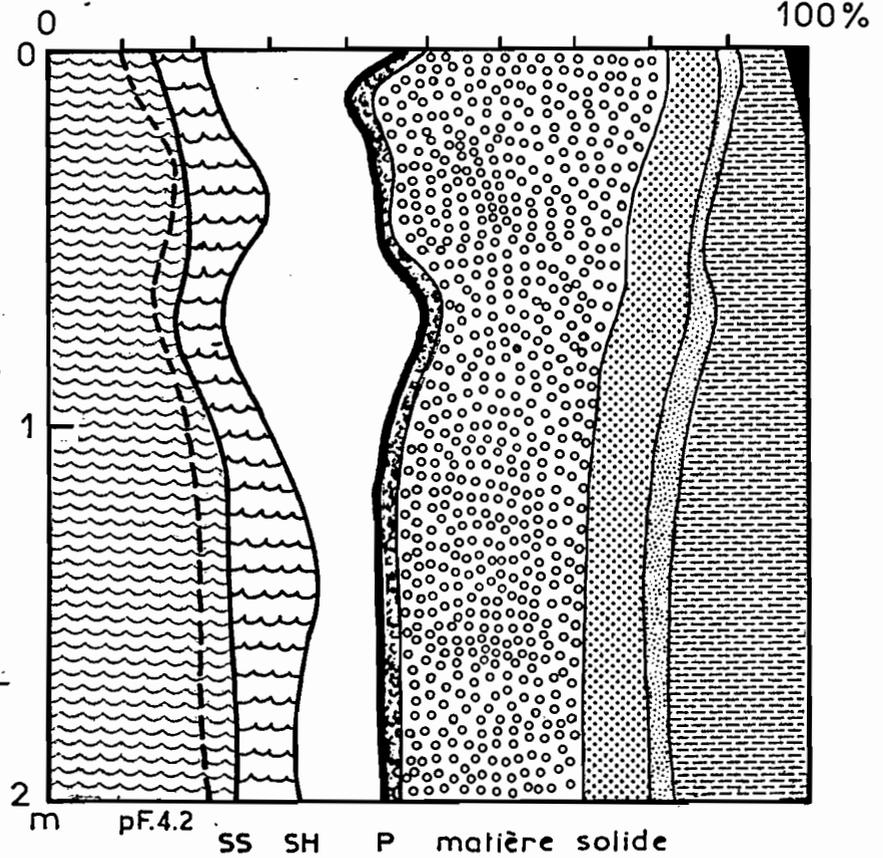
Le tableau P. 2 présente les valeurs de perméabilité de surface, obtenues en trois endroits. En 1 et 2, le microrelief est peu marqué et les creux de celui-ci ne sont pas significativement moins perméables : les résultats ont alors été ordonnés (par valeurs croissantes). En 3, l'influence du microrelief apparaît au contraire nettement. Ce terrain de plantation se distingue donc des terrains laissés sous forêt naturelle par des perméabilités plus faibles et par une hétérogénéité de l'infiltration.

[‡] Le sol SLM dérive du sédiment appelé Série Détritique de Base. Il est nettement moins argileux (12% d'argile en surface, 29% à 1 m) que le sol SS 10 (34% et 54% respectivement).

Composition volumique

SLM: tranche 0-2 m

eau au pF.4.2 : 18% soit	360mm
eau libre	{ SS 3,5% 70mm
	{ SH 8% 160mm
air (S.H)	17,5% 350mm
porosité	43,5% 870mm
argile	15% 300mm
limons	3,5% 70mm
sable fin	8,5% 170mm
sable grossier	29% 580mm
cailloux	0,8% 10 mm
mat. org.	56,5% 1130 mm



(voir légende page P.5)

Répartition des racines

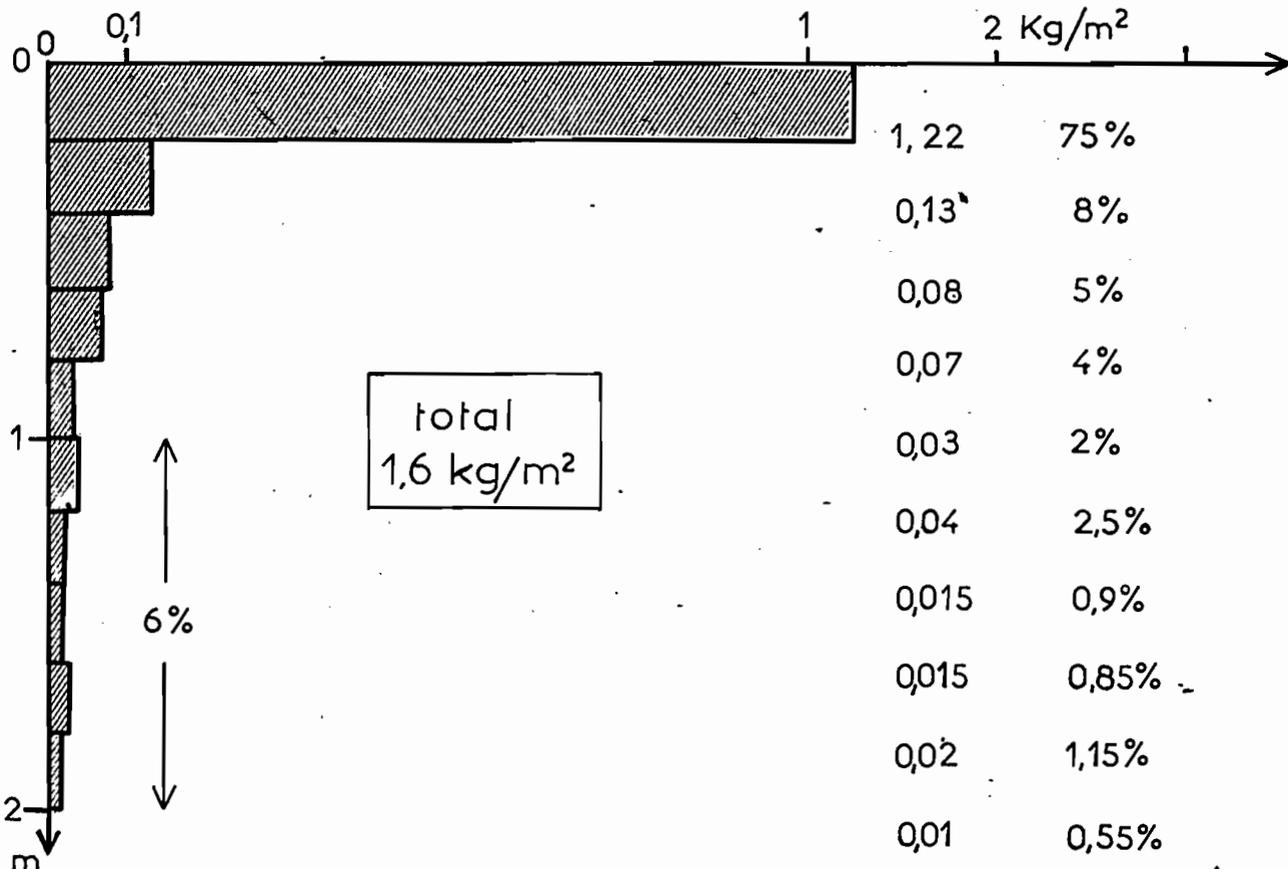


Figure: P4 : Terrain SLM sous pins caraïbes. Composition volumique et répartition verticale des racines.

TABLEAU P. 2

Irrégularité de la perméabilité en surface du terrain SIM sous pinède (12 mesures en 3 endroits distants de quelques mètres)

Endroit	Débits d'infiltration, en cm/h, en saison des pluies												M	m	i
n° 1	13	15	18	20	22	28	30	31	33	41	45	55	29	29	18
n° 2	92	129	160	184	184	188	216	270	298	332	411	655	261	202	143
n° 3	← Bosse → ← Versant → × Creux → ← Versant														
	540	360	360	576	63	206	33	60	72	33	120	411	236	283	324

(M = moyenne, m = médiane, i = interquartile)

La courbe de porosité (figure P. 4) est un peu plus mouvementée qu'en SS 10 d'abord parce que l'horizon compact, proche de la surface, est un peu plus accusé (bosse vers la gauche à 20 cm de profondeur), ensuite parce que vers 60 - 80 cm de profondeur, il existe des poches incomplètement remplies de sable bouillant, ce qui diminue la porosité moyenne à cette profondeur (bosse vers la droite). Mais il n'y a pas rétrécissement important de la partie du diagramme qui représente l'air, de sorte que ce sol se caractérise par un bon équilibre air-eau. C'est d'ailleurs un sol où le squelette rigide est abondant (sables grossiers surtout) et où l'argile est en partie agglomérée en microagrégats.

Le diagramme de la figure P. 4 caractérise un point haut du microrelief. Dans le creux voisin (à 2 m de là), l'horizon compact est plus accusé et situé tout en surface, et l'infiltration est ralentie. Ainsi, selon les points, le cheminement vertical de l'eau est libre, ou ralenti en surface. La mise en exploitation d'un terrain cù, dans les conditions naturelles, le cheminement de l'eau était très probablement vertical et libre, entraîne une infiltration irrégulière et fait basculer une partie du terrain dans la catégorie des sols où le cheminement vertical de l'eau est ralenti à la partie supérieure.

La distribution verticale des racines (figure P. 4) ne diffère pas beaucoup de celle du sol SS 10 : la tranche 1 - 2 m contient par exemple encore 6% du total. Toutefois la concentration superficielle est un peu plus prononcée, l'horizon compact gênant probablement la pénétration dans la couche 20 - 40 cm. Mais le total (tranche 0 - 2 m) est seulement la moitié de celui de SS 10, et le tiers de celui

de SS 4 (sol dérivé comme SLM de la Série Détritique de Base, voir chapitre 3) : sous forêt naturelle ancienne et où de nombreuses espèces sont en compétition, le total racinaire est donc nettement plus élevé que sous une plantation, récente, d'une seule espèce d'arbre.

2.3. Comparaison avec des sols ferrallitiques d'Afrique (Cameroun)

Les sols du type SS 10 présentent de grandes analogies avec des sols appelés "ferrallitiques" en Afrique humide. Pour préciser ces analogies, nous comparerons les résultats précédents du sol SS 10 de Guyane à des résultats obtenus sur deux sols du Cameroun méridional (Afrique équatoriale). Ce seront le sol jaune-OTT- du Sud-Cameroun, région où le climat comporte chaque année deux saisons sèches presque également marquées, et le sol jaune/rouge-GOY- du Centre-Sud, où la seconde saison sèche est inégalement marquée selon les années, comme en Guyane. A noter toutefois que ces sols du Cameroun ne reçoivent que 1 600 mm de pluie par an (le couple sol-climat y a donc des caractéristiques différentes).

a) - Composition volumique :

La figure P. 5 donne les diagrammes volumiques établis en 1972 (année de pluviosité "normale") en deux points d'un sommet d'interfluve, dans un sol à cheminement de l'eau vertical et libre du Cameroun méridional (réserve forestière de OTTOTOMO au SW de Yaoundé). Ces deux points, OTT 1 et OTT 2 ne sont distants que de quelques décamètres mais le point OTT 1 pourrait avoir été tassé lors d'aménagements sylvicoles datant de 1938.

On constate que le sol non tassé OTT 2 contient beaucoup plus d'air que SS 10 dans l'horizon de surface, ce qui donne à cette partie du diagramme une forme d'entonnoir. Dans le sol tassé OTT 1, l'aération est moindre, comme en SS 10 et il y apparaît de même une couche légèrement plus tassée à la partie supérieure.

La figure P. 6 permet de comparer SS 10 au sol GOY du Cameroun Central, situé à la latitude de SS 10 et également sous forêt, mais déjà dans la zone du contact forêt-savane (150 km plus au nord que OTT). Ce sol a, comme SS 10, une structure très fine et friable (microégrégats), qui disparaît à la partie supé-

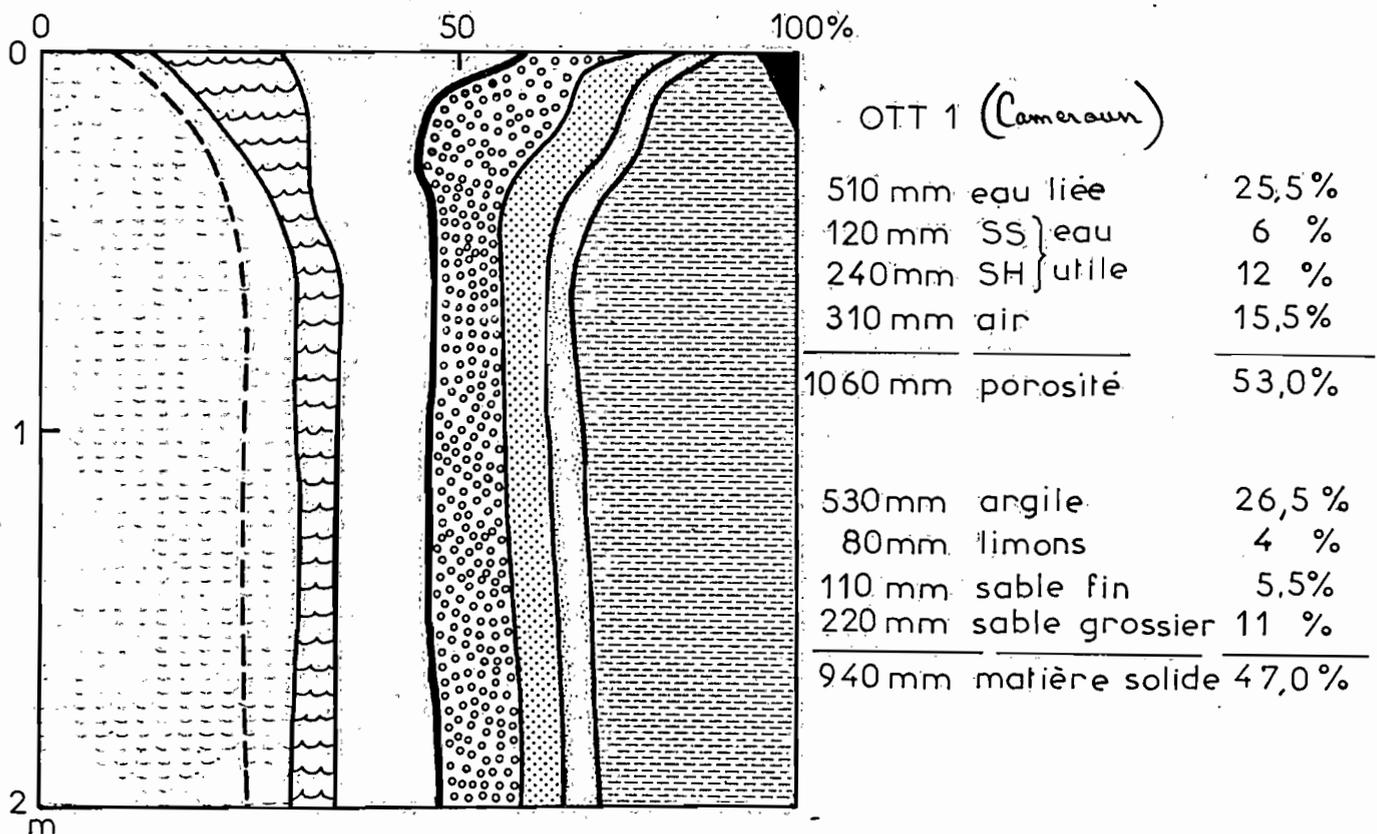
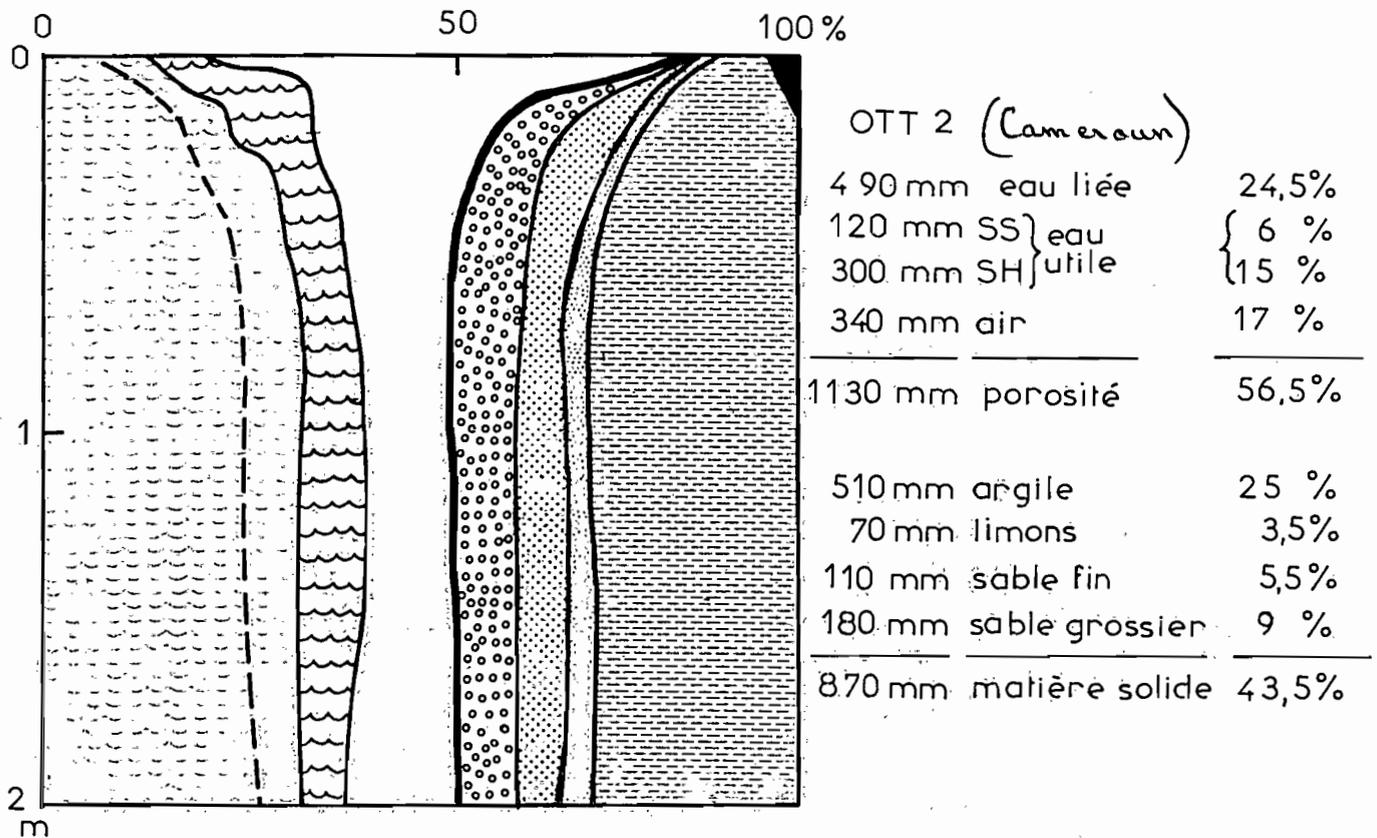


Figure: P5 . Diagrammes de composition volumique en deux points (OTT1 et OTT2) d'un sol du Cameroun méridional (cheminement de l'eau vertical et libre, réserve forestière d'ottotomo). La compacité et la teneur en eau plus élevées en OTT1 semblent dues à un tassement (aménagement sylvicole en 1938?)

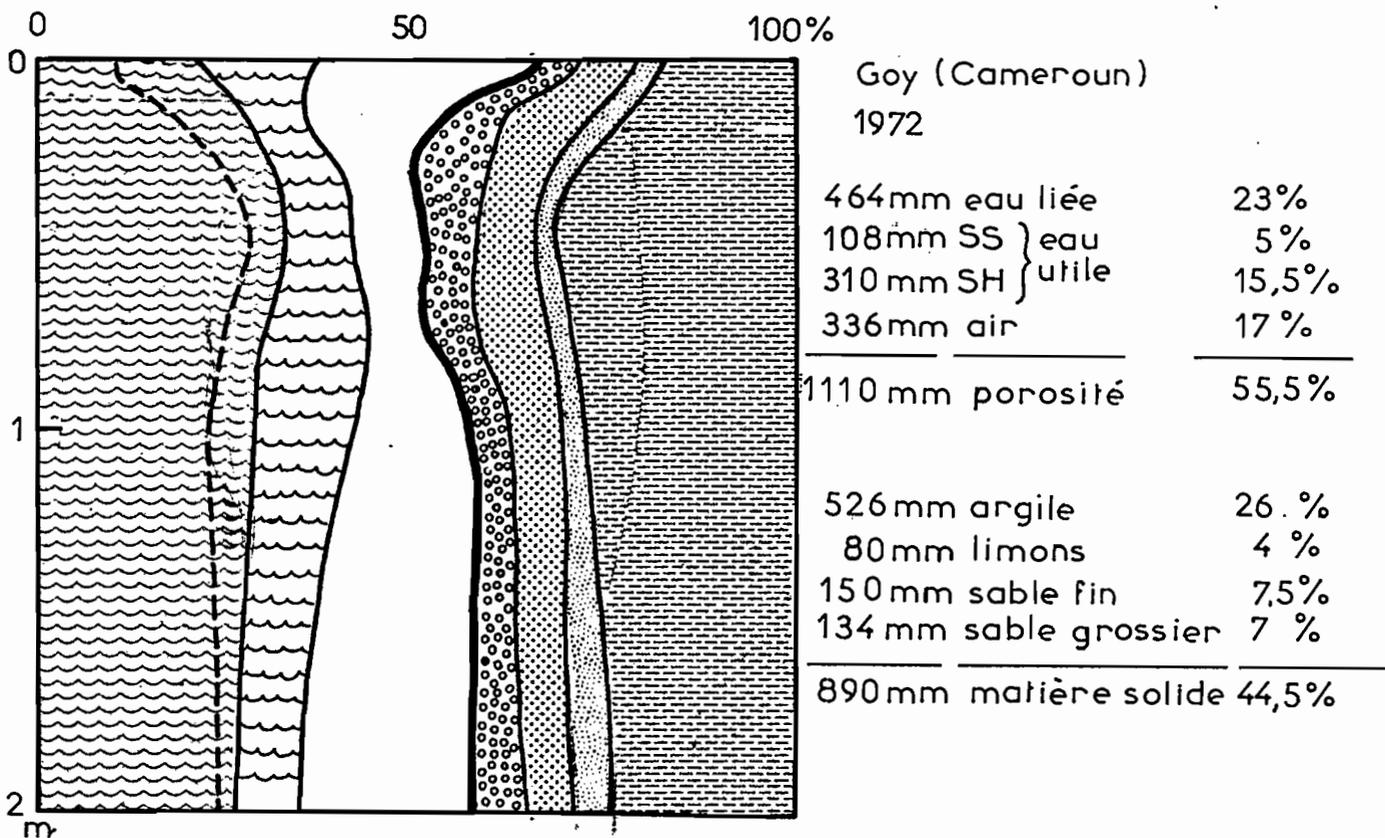
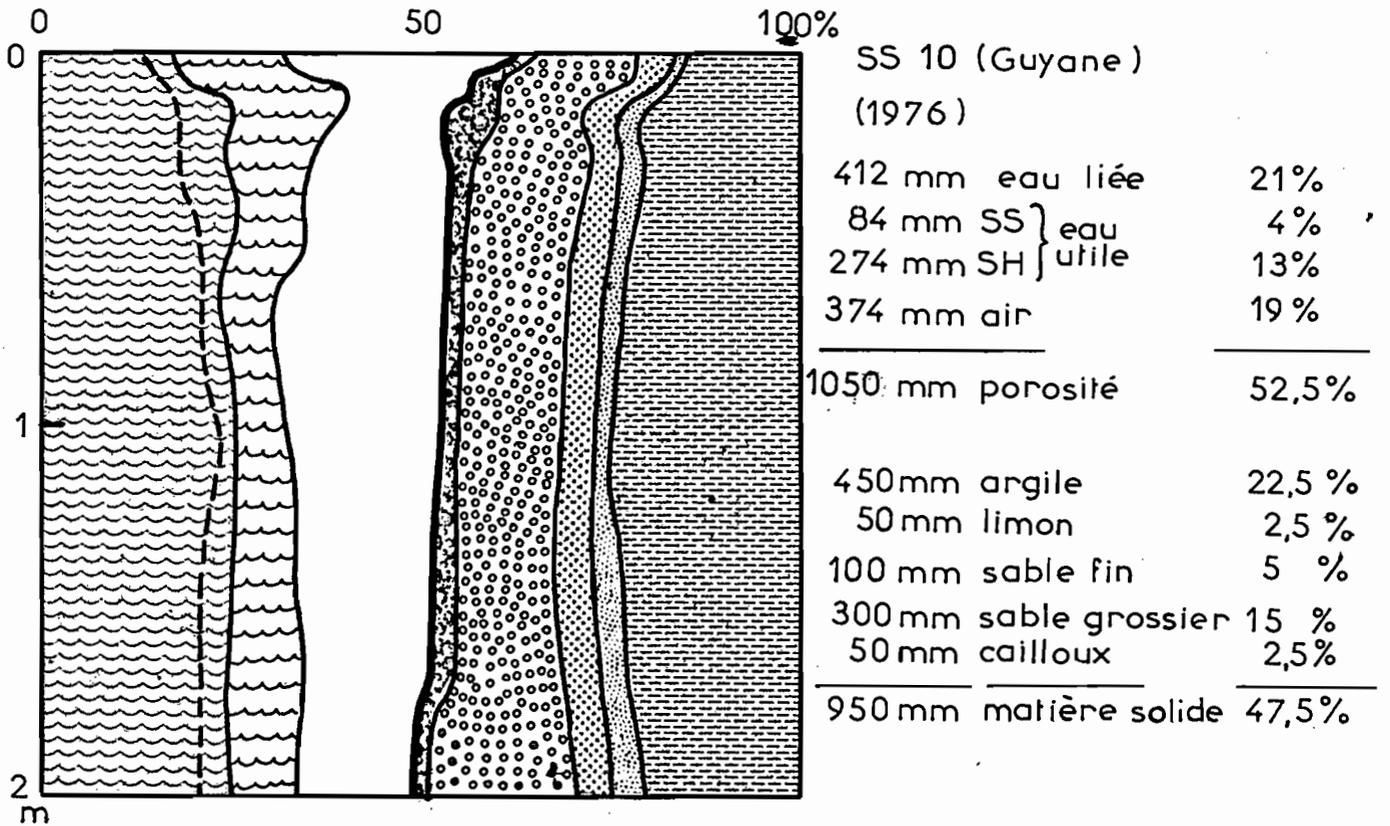


Figure: P6 Comparaison des diagrammes volumiques de deux sols à cheminement de l'eau vertical et libre, l'un en Guyane (SS10), l'autre au Cameroun (Goy, sous forêt semi-décidue, au contact forêt-savane) SS10 et Goy sont à peu près à la même latitude.

rieure dans une couche plus compacte. Celle-ci est toutefois plus épaisse, plus profonde et plus accentuée qu'en SS 10.

Au total, le sol SS 10 se distingue des sols du Sud Cameroun (non tassés) par cette augmentation de compacité à la partie supérieure, augmentation qui est cependant moins accentuée que dans les sols forestiers de la zone du contact forêt-savane.

Dans ces différents sols forestiers, le dessèchement n'atteint pas, en fin de saison sèche, le point de flétrissement permanent ($pF\ 4,2$), même en année exceptionnellement sèche (1971 au Cameroun, 1976 en Guyane). Par conséquent, les réserves d'eau utile ne sont jamais épuisées et comme il n'y a pas non plus d'engorgement, ce type de sol se caractérise par un bon équilibre air, eau. C'est une qualité qu'on attribue habituellement aux sols "ferrallitiques" et on peut donc qualifier ainsi sans inconvénient les sols du type SS 10.

b) - Perméabilité de surface :

Les mesures de perméabilité en surface du sol confirment cette absence d'entrave au cheminement vertical de l'eau : les débits d'infiltration en surface du sol y sont très supérieurs aux intensités maximales des pluies et si, à l'intérieur du sol, le débit de filtration peut descendre localement au-dessous de 1 cm/h, cela se produit à une profondeur suffisante (plus de 20 cm) pour que la couche poreuse susjacente puisse emmagasiner l'apport d'eau d'une forte averse sans cependant être saturée. C'est pourquoi le ruissellement n'y est, sous forêt préservée, qu'exceptionnel ou très localisé. C'est là aussi une caractéristique de la majorité des sols ferrallitiques d'Afrique (RODIER - 1976).

En conclusion, le sol SS 10 ne se distingue pas fondamentalement des sols décrits en Afrique humide sous l'appellation de sols ferrallitiques. Il semble que beaucoup de sols du Surinam classés en vertisols aient ces mêmes qualités, du moins dans la zone actuellement mise en valeur dans les Terres Hautes (sur série détritique de base notamment).

On pourra donc se reporter valablement aux essais agronomiques réalisés en Afrique humide ou au Surinam, lorsqu'on aura à cultiver un terrain ayant les caractéristiques de SS 10.

L'exemple de OTT 1 montre cependant qu'un tassement infligé à ce type de sol lors d'une intervention (agricole, sylvicole) pourrait laisser sa trace plusieurs décennies plus tard, même dans le cas où le couvert forestier a été préservé ou régénéré. Ce risque de tassement doit être un souci principal de l'utilisateur puisqu'il amène une péjoration de cet équilibre air-eau qui est précisément la principale qualité de ces sols. Leur grande épaisseur utilisable et la progressivité des variations verticales sont aussi des qualités importantes de ces sols, permettant une exploitation profonde par les racines, mais elles découlent de ce cheminement vertical et profond de l'eau de pluie qui est lui-même à l'origine de ce bon équilibre air-eau. Les qualités ci-dessus vont donc fréquemment ensemble (et peuvent disparaître ensemble si le défrichement ou les pratiques culturales sont menées sans précaution).

Les sols d'Afrique humide (Cameroun) et les sols de Guyane à cheminement de l'eau vertical et libre ont tous des perméabilités de surface élevées, **mais** avec cependant quelques différences significatives, que traduit le tableau P. 3.

TABLEAU P. 3

Perméabilité de surface, sous forêt naturelle, en cm/h de sols à cheminement de l'eau vertical et libre

Région	Nbre de mesures	k_M	k_m	k_M/k_m	M	m	M/m	i	i/m
Guyane	108	1234	119	10	487	422	1,15	412	0,98
Cameroun	120	1395	4	349	234	157	1,49	268	1,71

(k_M , k_m = valeurs maximale, minimale obtenues, M = moyenne, m = médiane, i = interquartile[§]).

[§] Différence entre les valeurs qui sont situées aux 3/4 et au 1/4 de la suite des valeurs, ordonnées dans le sens où elles croissent. L'interquartile donne de la dispersion une représentation qui minore l'influence des valeurs extrêmes, en particulier de ces valeurs élevées dues à la mise en eau de grosses galeries fauniques qui ne participent pas forcément à l'infiltration, dans les conditions naturelles (cf. chapitre P. 1).

En Guyane, les perméabilités de surface sont plus élevées, ce qui peut résulter de la texture souvent plus sableuse de l'horizon supérieur. Mais la dispersion des résultats est moindre (rapports k_M/k_m , ou i/m), ce qu'on peut relier à une activité moindre de la faune : il y a moins de cavités et galeries de vers, termites, petits mammifères, etc. Le fait que la moyenne soit très supérieure à la médiane indique la présence de quelques grosses galeries, irrégulièrement réparties et qui sont à l'évidence d'origine faunique.

Les sols du Cameroun et de Guyane se distinguent aussi par la "mouillabilité" des mottes de l'horizon humifère, qui est plus faible en Guyane. et par l'instabilité des mottes des horizons sous-jacents à l'état trempé : celles-ci s'effondrent en Guyane ^{lorsqu'elles sont trempées} à des profondeurs (50 cm) où elles sont encore stables dans les sols du Cameroun. Ces différences montrent que ces sols, par ailleurs assez comparables, pourraient se distinguer au niveau même de l'assemblage fin des constituants ou des propriétés de ceux-ci. Par conséquent, il serait préférable de contrôler l'applicabilité à la Guyane des résultats d'essais agronomiques effectués en Afrique humide, même pour les terrains à cheminement de l'eau vertical et libre.

c) - Enracinement :

En ce qui concerne l'enracinement, les données disponibles dans la littérature (Côte-d'Ivoire, Amazonie) n'ont pas été obtenues par la méthode de mesure utilisée ici (cf. P. 1.3.) : les méthodes utilisées diffèrent même d'un auteur à l'autre. Les différences portent en particulier sur le diamètre maximum des racines qui sont comptabilisées.

Par ailleurs, les auteurs donnent peu de renseignements sur les sols, et notamment sur la dynamique de l'eau. Il semble que les sols BANCO-plateau de Ch. HUTTEL (1967), LAMTO de J1. DEVINEAU (1976) et LATOSOL de KLINGE (1973) ont un cheminement de l'eau vertical et libre. Le tableau P. 4 permet de comparer les résultats obtenus sur ces sols (tirés des graphiques des auteurs) avec ceux des terrains SS 10 et SS 4 (chapitre suivant). Ces résultats sont

exprimés en % du total racinaire de la tranche* 0 - 1 m, et par tranches de 20 cm d'épaisseur :

TABLEAU P. 4

Distribution verticale des racines dans des sols à dynamique de l'eau verticale et libre (en % de la tranche 0 - 1 m).

Pays	↓		Amazonie	↓		
	Côte-d'Ivoire			Guyane Française		
Auteur	HUTTEL	DEVINEAU	KLINGE	HUMBEL		
Sol	Banco-P	Lamto	Latosol	SS 10	SS 4	Autres
Tranche						
0- 20 cm	44	65	50	69	73	61
20- 40 cm	24	16	20	21	14	25
40- 60 cm	12	10	13	5	8	8
60- 80 cm	11	5	11	2	3	4
80-100 cm	10	5	6	2	2	1

Les méthodes de HUTTEL et KLINGE prennent en compte moins de grosses racines, lesquelles sont surtout dans la tranche 0 - 20 cm. Par conséquent leurs résultats concernant cette tranche sont sous-estimés, et ceux des tranches inférieures surestimés, par rapport à ceux de DEVINEAU et HUMBEL. Dans ces conditions, les distributions verticales par tranches sont assez voisines.

Ces distributions sont en tous cas très différentes de celles obtenues dans des sols où la dynamique verticale de l'eau est ralentie (pas d'information sur Yapo), ainsi que dans les podzols (tableau P. 5).

* Pour la tranche 1 - 2 m, HUTTEL obtient en BANCO-plateau environ 6% c'est-à-dire un chiffre voisin de celui obtenu en SS 10. Ailleurs les données sur cette tranche ne sont pas fournies.

TABLEAU P. 5

Distribution verticale des racines dans des sols à dynamique de l'eau superficielle et latérale et dans des podzols (en % de la tranche 0 - 1 m), (mêmes sur et sous-estimations pour HUTTEL et KLINGE).

↓

Pays	Côte-d'Ivoire		Guyane		Amazonie
Auteur	HUTTEL		HUMBEL		KLINGE
Sol	Banco-T [*]	Yapo?	SS 18 ^{**}	Podzol	Podzol
Tranche					
00- 20 cm	73	79	90	77	85
20- 40 cm	18	9	6	11	11
40- 60 cm	4	8	2	9	3
60- 80 cm	2	3	1	2	1
80-100 cm	2	2	0,4	1	1

Agagu

* Banco-T = Talweg (sol de bas-fond hydromorphe ?).

** Voir chapitre *PX*.

CHAPITRE III

RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST VERTICAL ET LIBRE, SAUF EN QUELQUES ENDRITOIS OU IL EST BLOQUE ULTERIEUREMENT PAR REMONTEE DE NAPPE.

Sol SSP sous forêt sur sables blancs grossiers : équilibre air-eau défectueux, par manque d'eau en saison sèche, localement par excès d'eau en saison des pluies.

Les mesures ont été faites dans la région de Saut-Sabbat, au point SSP qui est sur un plateau à socle migmatitique recouvert de quelques mètres de sédiment (Série Détritique de Base). Ce sédiment est évolué en podzol (sol à humus grossier et à sables blancs déliés) sauf en quelques points du rebord de plateau où subsistent des sols jaunes sablo-argileux.

Au point SSP, la nappe n'a pas été observée, mais sur ce type de plateau on observe en quelques endroits une remontée de nappe phréatique jusqu'en surface pendant les périodes pluvieuses.

Le diagramme volumique de SSP (dépliant) montre un très grand déséquilibre air-eau au détriment de l'eau, retenue en trop faible quantité par ce sol presque dépourvu d'argile. En période sèche, la teneur en eau descend au-dessous du pF 4,2 (lui-même très faible) et on peut en conclure que les arbres ne trouvent pas, sur les deux mètres ~~supérieurs~~ étudiés, toute l'eau qui leur est nécessaire.

Or, on constate que l'enracinement des arbres y est très profond (et très abondant). Dans la tranche 1 - 2 m qui contient 4% du poids de racines, la décroissance est lente* et les racines moyennes (2 - 10 mm) y sont encore abondantes. De plus, ces racines y ont une direction verticale et sont peu

* Si cette décroissance se poursuit régulièrement, la tranche 2 - 3 m contient encore 1,7% du poids total de racines.

ramifiées. Ce comportement du système racinaire pourrait s'expliquer par la nécessité de prélever de l'eau en profondeur (nappe, ou base du podzol, ou contact avec le socle migmatitique) pour compenser le déficit des deux mètres supérieurs.

A noter que l'horizon supérieur, épais et d'humus grossier, retient plus d'eau et contient beaucoup de radicelles. Il assure donc une part importante de l'alimentation des végétaux.

Les zones submergées à certaines périodes pluvieuses, se distinguent des précédentes par la disparition de l'horizon humifère (le sable blanc affleure) par la présence de chenaux où circule l'eau de la nappe affleurante, et par le développement d'arbres à racines aériennes. L'enracinement n'y a pas été étudié mais il semble que ces caractéristiques réduisent les possibilités d'alimentation en eau en dehors des périodes de submersion. Pendant celle-ci, au contraire, l'aération est très réduite (oxygène dissous dans l'eau mis à part).

En SSP, la perméabilité de surface est très élevée (tableau P. 1). Ces valeurs sont parmi les plus élevées obtenues sur les sols de Guyane. La submersion observée en période pluvieuse à certains endroits provient donc bien d'une remontée de nappe phréatique et non d'un refus à l'infiltration de la surface du sol.

Le ressuyage de l'eau de gravité est très rapide (cf. dépliant) et la variation saisonnière de teneur en eau très faible (tableau P. 7). Les terrains du type SSP (sables blancs) sont donc secs en toutes saisons jusqu'à 2 m de profondeur et les végétaux doivent donc chercher plus profondément l'eau qui leur est nécessaire, ou se contenter de celle qui est retenue dans la couche superficielle d'humus grossier.

CHAPITRE IV

RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU EST VERTICAL ET PROFOND (DYNAMIQUE VERTICALE), MAIS QUELQUE PEU RALENTI DANS LA PARTIE SUPERIEURE DU SOL. Equilibre air-eau correct, sauf en périodes pluvieuses au niveau de ce ralentissement.

Les mesures pour caractériser ce type de terrain -assez répandu en Guyane- ont été faites en deux endroits, différant par la profondeur à laquelle se produit ce ralentissement.

SS 4 (Saut-Sabbat) est situé au bord de ce plateau recouvert de sédiment qui porte SSP en son centre (voir chapitre III). L'horizon compact qui provoque le ralentissement de la filtration y est mince (10 cm) et relativement profond (40 cm). En fait, il varie latéralement en épaisseur et compacité, sur quelques mètres de distance.

SS 15 (Saut-Sabbat) est au sommet d'un interfluve sur migmatite. L'horizon compact est mince mais il débute à seulement 10 cm de profondeur. Le ralentissement du drainage se marque dans l'horizon humifère par des taches et d'autres caractères, dont on montrera la répartition sur le terrain à l'aide d'une petite carte.

En ces deux endroits, le sol est jaune, épais, meuble et à variations verticales progressives, la petite couche compacte mise à part. La teneur en argile est plus faible en SS 4 (16% en surface et 35% à 1 m) qu'en SS 15 (35 et 52%).

4.1. TERRAIN SS 4 Sur Série Détritique de Base

Le diagramme volumique de SS 4 (dépliant) indique que ce sol présente un bon équilibre air-eau sauf au niveau de l'horizon compact (pincement "en sablier" de la partie du diagramme représentant l'air). On observe d'ailleurs, localement et au cours de fortes averses seulement, la formation d'une nappe

perchée très temporaire au-dessus de cette couche compacte[‡].

La variation saisonnière de teneur en eau se fait sentir profondément (à plus de 2 m en 1976), et en fin de saison sèche le p^F 4,2 n'est pas atteint : la forêt ne manque donc pas d'eau.

Les mesures de perméabilité de surface en SS 4 (tableau P. 1) montrent que l'horizon compact est trop profond pour influencer l'infiltration. La perméabilité paraît suffisante pour assurer l'infiltration presque immédiate des eaux de pluie et, effectivement, on n'y a pas observé de ruissellement généralisé.

Les courbes de ressuyage montrent que le cheminement de l'onde d'eau de gravité est ralenti au niveau de la tranche compacte^{‡‡}. Le retour à la situation initiale (témoin à la capacité au champ) a demandé 4 jours.

L'enracinement en SS 4 est abondant et sa décroissance en profondeur est -comme en SS 10- relativement peu rapide : la tranche 0 - 20 cm ne contient que 69% du total racinaire, la tranche 20 - 60 cm en contient encore 21% et la tranche 1 - 2 m 6%. La décroissance est lente au-dessus de 0,8 m de profondeur et on observe des racinelles éparses jusqu'au contact avec le socle migmatitique qui est ici à 4,5 m de profondeur.

En conclusion, cet horizon compact n'est pas un obstacle à la pénétration des racines en profondeur et le ralentissement de la filtration qu'il provoque est assez discret. Ce type de terrain peut donc être mis en culture sans problèmes majeurs, à condition de ne pas épaissir ou rapprocher de la surface la tranche compacte lors du défrichage ou par les pratiques culturales.

[‡] La teneur en argile augmente brusquement de 7% à ce niveau pour ne commencer à décroître que vers 1,4 m de profondeur.

^{‡‡} Plus étalée en hauteur et moins accusée à l'emplacement de ces mesures qu'à celui où a été établi le diagramme volumique (variation latérale ordonnée, dans le système de sol).

Nous allons voir que lorsque l'horizon compact est plus superficiel, les inconvénients sont nettement plus sérieux.

4.2. TERRAIN SS 15 Sur migmatite

Ici, le mince horizon compact est plus superficiel (10 cm) et le diagramme volumique (dépliant) montre que l'aération est très réduite à ce niveau en saison des pluies.

Au-dessous, par contre, l'aération est correcte. Comme en SS 10 (voir chapitre 2), la variation saisonnière de teneur en eau se fait sentir profondément et le pF 4,2 n'est pas franchi : on peut attribuer ces caractères favorables à l'abondance des microagrégats, comme en SS 10.

Le ralentissement de la filtration au niveau de l'horizon plus compact n'est pas très prononcé (voir courbe de ressuyage sur le dépliant) et il ne se répercute pas sur les débits d'infiltration : les perméabilités mesurées en surface (12 mesures) selon la méthode décrite en 122, sont élevées, et on constate que les marques de ruissellement y sont discrètes, du moins en dehors des zones tassées par l'homme ou ses engins.

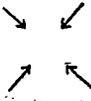
Pourtant, l'horizon humifère présente -par rapport à SS 10- des différences importantes, déterminées par un engorgement temporaire qui pourrait[⊗] sembler-il, être attribuer au ralentissement de la filtration au passage de l'horizon compact sous-jacent. Cet engorgement est inégalement marqué d'un endroit à l'autre puisque :

- La teinte d'ensemble passe de brune, homogène, à brun-noirâtre avec des plages noires ;
- Les taches rouilles d'oxydation du fer augmentent en nombre, taille et contraste ;
- La structure passe de polyédrique à lamellaire puis fondue ;
- L'humidité augmente jusqu'à la plasticité ;
- La porosité se réduit, devient surtout tubulaire, puis fermée.
- L'enracinement diminue en finesse et en densité.

[⊗] Il se peut que ce soit la modification de l'horizon humifère qui entraîne la formation de l'horizon compact sous-jacent, ou plutôt que ces différents caractères soient liés à une même cause, de nature physico-chimique,

Légende de la figure P. 7 (étude en saison des pluies : Février 1977)

Les différents caractères de l'horizon humifère

		% de superf. Figuré		
Dégénération croissante de l'horizon-humifère ↓	55,2		Horizon humifère brun foncé, sableux, sec au toucher, <u>non taché</u> . Chevelu racinaire dense, quelques sables blancs sous la litière. Teneur en eau (0 - 10 cm) : 21%.	
	17,5		Horizon identique au précédent mais présentant <u>quelques taches brun-rouille</u> localisées autour des grains de quartz et des racines ou autour des gros pores. L'horizon sous-jacent jaune ocre est lui aussi également taché. Teneur en eau (0 - 10 cm) : 21%.	
	23,0		Horizon brun, sablo-argileux, humide, à <u>nombreuses taches rouilles</u> sur plus de 10 cm. Volumes noirs organiques. Structure localement lamellaire. → Teneur en eau (0 - 10 cm) : 35%.	
	4,3		Horizon <u>gris</u> brunâtre, argilo-sableux, humide et-plastique, à pores non communicants. <u>Nombreuses taches rouilles</u> . Teneur en eau (0 - 10 cm) : 41% " en " (10 - 15 cm) : 33%.	
			Aire de répartition approximative d'une plante herbacée : <u>Bisboeckelera longifolia</u> Rudge (Cyperaceae).	
			Ancienne piste de débardage.	
			Légère dépression.	

COMMENTAIRE

- a) En surface, la dégradation croissante des caractères de l'horizon humifère par engorgement des sols peut être :
- due à la convergence des eaux vers une légère dépression ou dans l'axe d'écoulement du versant (cause naturelle) ;
 - secondaire à un tassement du sol par des passages répétés d'engins motorisés sur les pistes de débardage (cause humaine).
- b) Bisboeckelera a été observé sur toutes les catégories d'horizons humifères. Son implantation ne coïncide donc pas forcément avec les zones les plus dégradées mais sa propagation dans la région a sans doute été facilitée par ces zones engorgées.

CONCLUSION

Dégénération superficielle du sol préexistant localement dans le milieu naturel mais accentuée par l'homme.

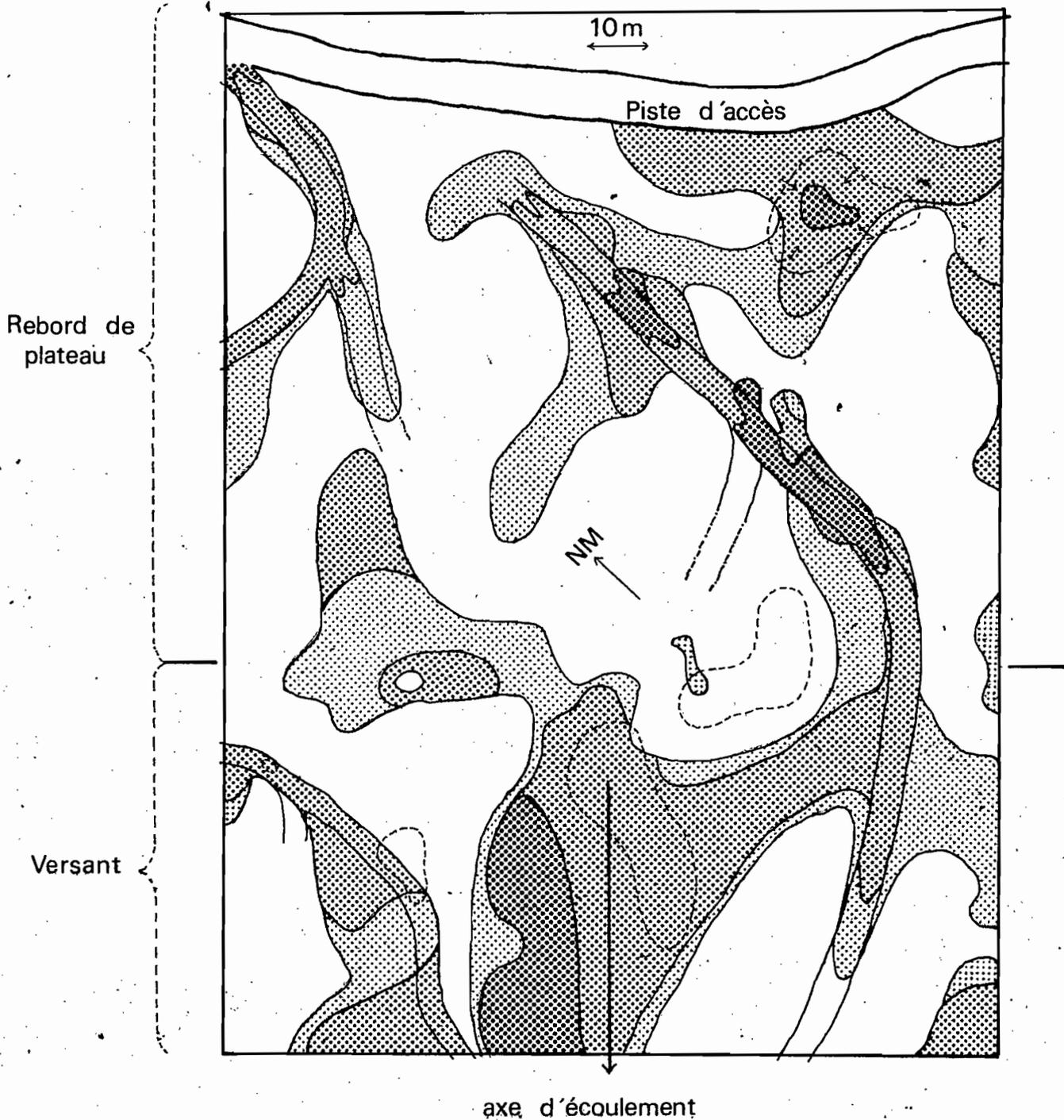


Figure: P7 Variations des caractères de l'horizon supérieur humifère d'un sol à cheminement de l'eau vertical mais ralenti en surface. Superficie étudiée: 2ha (cf légende page ci-contre)

Travail de E. FRITSCH

Une étude détaillée de ces caractères de surface a été faite sur un terrain de 2 hectares, voisin de SS 15 et sur lequel on a repéré d'anciennes pistes de débardage (figure P.7 et légende en regard). Elle montre que la péjoration des propriétés favorables aux cultures, liée à l'engorgement, existe même en dehors des pistes (par exemple dans la petite dépression et dans l'axe d'écoulement qui est inscrit dans le versant) mais qu'il est accentué ou provoqué par les interventions de l'homme (pistes).

Une plante indicatrice de milieux humides a été repérée sur ce terrain, mais les plages qu'elle occupe ne coïncident pas toujours avec les zones dégradées. C'est donc plutôt sa simple présence sur le terrain qui pourrait être significative.

L'étude chiffrée de l'enracinement (voir dépliant) montre en SS 15, et par rapport à SS 10[‡], un déficit très marqué de la tranche 0 - 20 cm, celle précisément où stagne l'eau (41% du total racinaire seulement !), avec une compensation partielle dans la tranche 20 - 60 cm sous-jacente, où l'enracinement est exceptionnellement dense (47%). Plus profondément, l'enracinement ne diffère pas de celui de SS 10, comme pour les autres caractères morphologiques.

En conclusion, les terrains du type SS 15 présentent, dans les deux premiers décimètres, des caractères moins favorables à la mise en culture que ceux de SS 10. Cette péjoration résulte non pas d'anciennes actions dégradantes de l'homme mais d'une plus grande vulnérabilité naturelle, qu'on constate sans pouvoir l'expliquer avec certitude. Les interventions de l'homme ne font qu'accroître, ou révéler cette tendance naturelle (évolution).

Mais les défauts présentés par la tranche 0 - 20 cm n'ont rien de rédhibitoire puisqu'au-dessous, le sol présente un bon équilibre air-eau dû à un cheminement de l'eau vertical et libre. On doit pouvoir, par un travail approprié, améliorer la porosité, et donc l'aération et l'enracinement dans cette tranche. Mais puisque la dégradation ci-dessus traduit une évolution naturelle, il se peut qu'elle réapparaisse et nécessite donc des corrections périodiques.

[‡] La comparaison est faite logiquement avec SS 10 puisque ces terrains dérivent de la même formation géologique, subissent le même climat (ils sont distants de 2 km) et présentent les mêmes caractères, les 2 premiers décimètres exceptés. Il existe cependant des différences plus subtiles, décrites dans HUMBEL 1977-2 et qui pourraient expliquer la dégradation de la partie supérieure de SS 15.

Ces inconvénients sont loin d'être aussi contraignants pour la mise en exploitation que ceux des sols caractérisés dans le chapitre suivant et où le cheminement vertical de l'eau est stoppé à moyenne profondeur amenant à une stagnation d'eau, c'est-à-dire à un mauvais équilibre air-eau.

CHAPITRE V

RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT VERTICAL DE L'EAU EST LIMITE OU BLOQUE DANS LES HORIZONS SUPERIEURS, AVEC FORMATION DE POCHEs D'EAU ET MEME D'UNE NAPPE PERCHEE A ECOULEMENT LATERAL. Terrains à dynamique superficielle et latérale.

Ce type de terrain, (malheureusement) fréquent en Guyane, n'a pas été à ce jour décrit ou étudié ailleurs en zone tropicale humide. C'est donc pour l'instant[‡] la grande originalité de la Guyane. Trois terrains, HAR 7, IFAC-f et SS 17-18, serviront à le caractériser :

- HAR 7 est un terrain sous forêt, situé sur la piste de Saint-Elie, à 16 km du carrefour de la RN 1, en limite sud du défrichement expérimental ARBOCEL. La roche-mère est un schiste (série de BONIDORO) micacé à faciès fin^{‡‡}. Il est placé au sommet d'une colline dénivelée de 20 mètres, dont un versant est griffé de ravines d'érosion, et son microrelief en cuvettes, est caractéristique de ce type de terrain. Sur le versant, les cuvettes disparaissent et le ruissellement est important pendant les averses (réseau de rigoles anastomosées).

- IFAC-f est un terrain sous forêt, situé à 15 km au sud-est de Saint-Laurent, sur l'ancienne route de Saut-Sabbat, près d'un défrichement ancien de l'IFAC (1969). La roche-mère est un gneiss-migmatite à grain fin dominant (roche hétérogène). Le modelé est très peu accidenté, la dénivelée entre le sommet

[‡] Cela ne signifie pas qu'il n'existe qu'en Guyane. Il est même probable qu'on en trouve prochainement ailleurs en zone tropicale humide, car ses conditions de formation ne sont nullement spécifiques de la Guyane. A première vue il ne se distingue guère des sols à dynamique de l'eau verticale et libre, sinon^{partiellement} par sa dynamique superficielle et latérale, observable en période pluvieuse seulement. Or jusqu'à maintenant les données sur le cheminement de l'eau dans les sols des régions tropicales humides sont peu fréquentes, ou ne sont pas signalées dans les cartes pédologiques.

^{‡‡} Associé dans la région à un faciès grossier du type pegmatitique où les sols ont des caractères différents (non étudiés dans cet ouvrage). D'ailleurs HAR 7 lui-même ne caractérise pas tous les sols dérivés du faciès fin.

d'interfluve et le bas-fond n'étant que de 7 mètres. En IFAC-f, qui est en haut de versant sur une pente de 2%, le microrelief est peu prononcé, sans stagnation d'eau en surface du sol après les averses (pas de cuvettes donc). Mais le ruissellement est important pendant les averses.

- SS 17 et SS 18 sont des terrains sous forêt, à 10 km à l'est de Saut-Sabbat, le long de la RN 1, sur un interfluve dérivé de gneiss-migmatite à faciès fin dominant, dénivelé de 23 mètres. SS 17 est au sommet d'interfluve, SS 18 à mi-versant, sur une pente de 15%. Sur ces deux terrains, on n'observe ni microrelief en cuvettes, ni stagnation d'eau en surface du sol après les averses. Par contre le ruissellement est important pendant et immédiatement après les averses.

Ces quatre terrains diffèrent donc soit par le modelé des interfluves qui les portent (modelé aplani en IFAC-f), soit par leur position sur l'interfluve (SS 18 est sur un versant), soit par la roche-mère (HAR 7 est sur schiste) soit par leur microrelief (cuvettes en HAR 7). On va voir qu'ils diffèrent aussi par la manière dont se traduit, à différentes profondeurs, le mauvais équilibre air-eau qui les caractérise. Tous quatre ont cependant en commun la présence à moyenne profondeur, d'un horizon compact, presque imperméable[‡].

5.1. LE TERRAIN HAR 7 sur schiste Bonidoro

5.1.1. Description du sol :

La surface du sol est creusée de cuvettes naturelles: plus ou moins rapprochées (mais non jointives), larges d'un à plusieurs mètres, profondes de un à plusieurs décimètres. Dans nombre d'entre elles, l'eau de pluie stagne après les averses pendant plusieurs jours pour les plus grandes. L'infiltration est donc inégalement répartie.

[‡] Aucune couche de sol n'est totalement imperméable. On peut alors donner différentes significations à l'adjectif imperméable :

- 1 - "qui laisse passer trop lentement l'eau qu'il reçoit, d'où un engorgement juste au-dessus". C'est alors une caractéristique du couple sol-climat, ou plus exactement du couple sol-pédoclimat.
- 2 - "de perméabilité très faible, par comparaison avec d'autres couches, ou d'autres sols à la même profondeur". C'est dans ce dernier sens qu'on l'emploie ici.

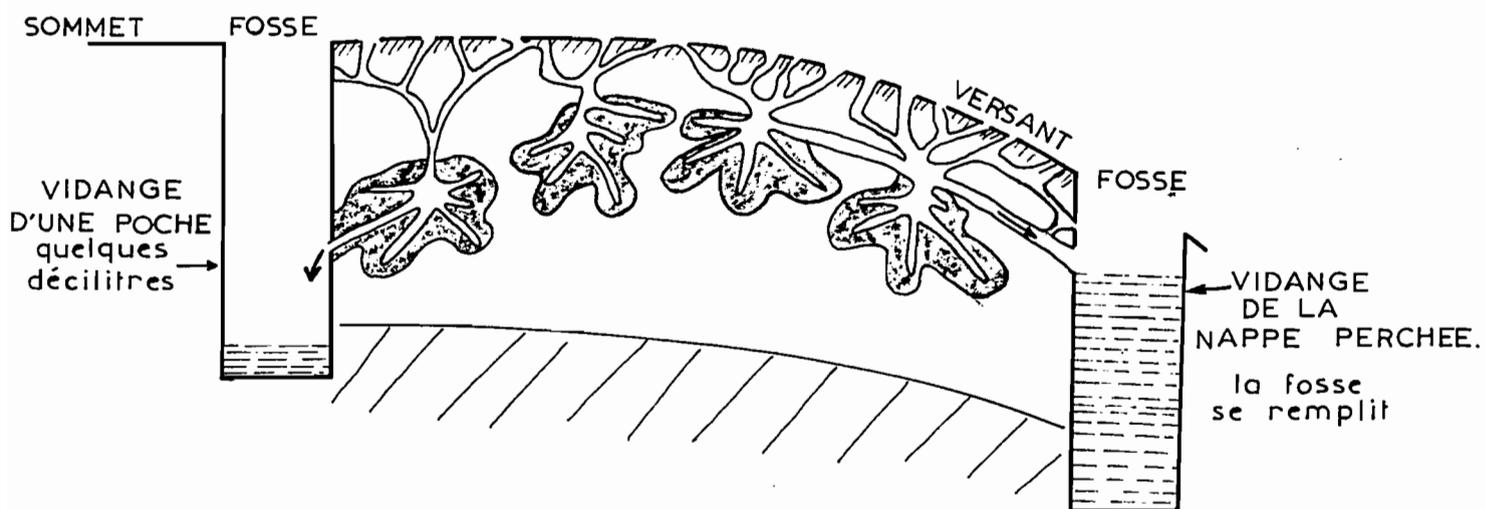
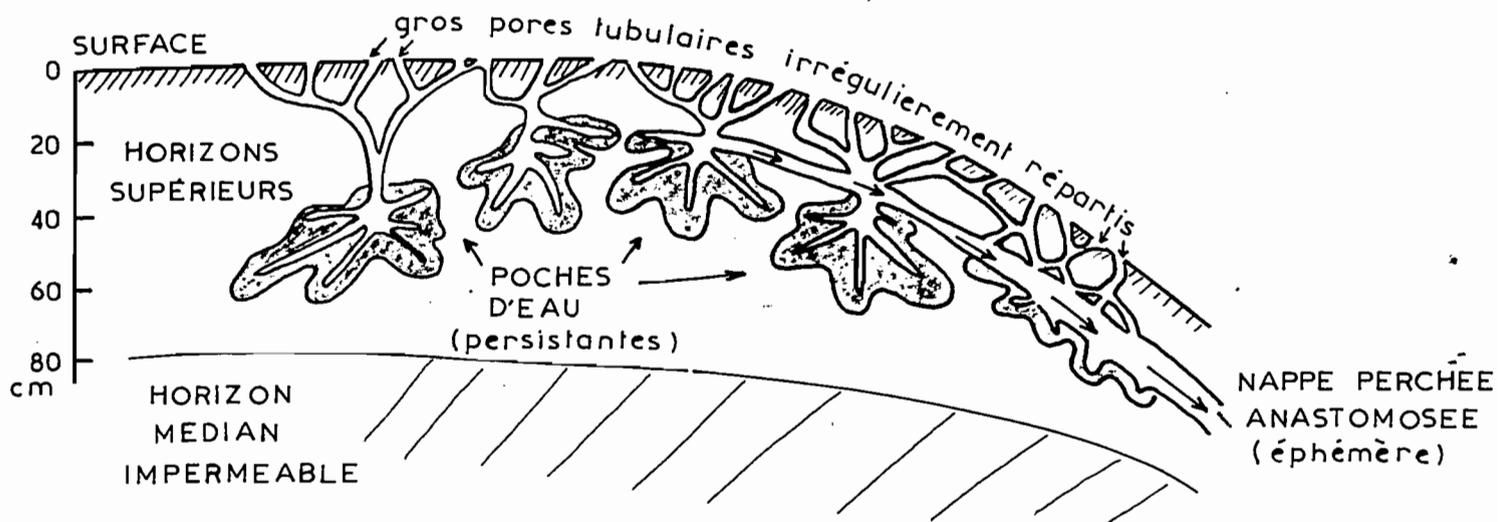


Figure P8 : SCHEMATISATION DES POCHES D'EAU ET DE LA NAPPE PERCHÉE DANS LES SOLS A DYNAMIQUE SUPERFICIELLE ET LATÉRALE (en haut), COMPORTEMENT A L'OUVERTURE DES FOSSES (en bas).

Des nodules ferrugineux et des blocs de cuirasse déterminent dans les deux décimètres supérieurs un horizon caillouteux peu épais et même discontinu. Une nappe d'eau "perchée" s'établit, pendant et un peu après les averses vers 5 - 15 cm de profondeur (figure P.8). En fait elle n'occupe pas tout le volume, mais des chenaux ^aanastomosés par lesquels elle s'écoule latéralement vers les cuvettes ou vers le versant. Ici et là, des poches d'eau immobile, occupant d'anciennes galeries de racines ou d'animaux, prolongent cette nappe vers le bas, jusqu'à 40 cm de profondeur.

L'horizon qui sert de magasin à cette nappe et à ces poches d'eau est jaune (avec une nuance vert clair pendant et après les périodes d'engorgement). Au-dessous débute un épais horizon rouge-violacé de texture fine (dominance de limons et sables fins) compact mais friable, légèrement frais au toucher en saison des pluies. L'architecture de la roche n'y est pas reconnaissable mais cet horizon est peu différent des épais horizons d'altération rouge-violacé qu'on peut observer sur les coupes de la route de Saint-Elie, là où celles-ci sont taillées dans le faciès fin du schiste Bonidoro.

5.1.2. Composition volumique :

Le diagramme volumique montre que l'aération est réduite en saison des pluies, non seulement dans les horizons supérieurs soumis à l'engorgement périodique, mais aussi dans l'horizon rouge sous-jacent. Il y a donc déséquilibre air-eau au profit de l'eau, très abondante en pourcentage du volume et dont la distribution amène deux constatations :

- La variation saisonnière se fait sentir profondément (plus de 2 m en 1976), ce qui prouve que de l'eau pénètre l'horizon rouge en saison des pluies, et que de l'eau s'en retire au cours de la saison sèche. L'horizon rouge n'est donc pas d'humidité constante au cours de l'année et il participe par conséquent à la dynamique saisonnière de l'eau. Mais l'engorgement des horizons supérieurs en période pluvieuse indique que la dynamique verticale est réduite en quantité et en vitesse des flux et que la dynamique de l'eau reste en grande partie superficielle (c'est-à-dire limitée aux horizons supérieurs). Le départ d'eau en saison sèche peut être dû soit au prélèvement effectué par les racines (alimentant la transpiration des plantes), soit à une diffusion par capillarité vers les horizons supérieurs, lorsque ceux-ci se sont suffisamment asséchés (évaporation).

- L'eau retenue au pF 4,2 ne représente guère que la moitié de l'eau retenue en saison des pluies. En fin de saison sèche, l'eau utile qui n'a pas été utilisée par la végétation est importante, notamment dans l'horizon rouge. Ce sol ne manque donc pas d'eau et les pores ultra-fins (ceux qui retiennent l'eau au pF 4,2) n'y sont pas dominants. Comme la faible aération de ce sol signifie en outre que le volume occupé par les gros pores (non capillaires) est réduit, il y a dans ce sol sur schiste à faciès fin, dominance de pores fins, retenant l'eau par capillarité, donc beaucoup d'eau utile. On peut relier cette particularité à l'abondance des limons (cf. diagramme volumique), constituants de taille[‡] intermédiaire ($0,02 < \phi < 0,05$ mm) entre celle des argiles et celles des sables.

Ces deux particularités du sol HAR 7 : humectation profonde malgré le net ralentissement de la filtration dans les horizons supérieurs et l'abondance de l'eau utile, c'est-à-dire des pores fins au détriment de pores ultra-fins et des pores grossiers, découlent donc d'une même cause, la dominance de particules de taille fine, les limons, dans ce type de sol. Mais si cette abondance de limons est effectivement une caractéristique des matériaux d'altération des schistes, ce n'est pas obligatoirement une caractéristique de tous les sols formés sur ces matériaux. Il existe, et même très près de HAR 7, des sols^{‡‡} formés sur ce même faciès fin du schiste Bonidoro, dont le matériau d'altération est par conséquent limoneux (30% de limon fin, 30% d'argile) mais dont les horizons du sol proprement dit sont argileux (65% d'argile, 15% de limon fin). De plus l'argile y est agglomérée en "microagrégats" et ces sols se caractérisent -au contraire de HAR 7- par un cheminement de l'eau vertical et libre jusqu'à une grande profondeur (c'est-à-dire comme SS 10, cf. chapitre II). On ne gardera donc d'associer automatiquement sol sur schiste et sol limoneux c'est-à-dire sol sur schiste et sol du type HAR 7.

[‡] On peut considérer en première approximation que si les constituants d'une taille donnée dominant très largement, leur assemblage ménage des pores dont la taille est du même ordre de grandeur. Par contre lorsque des constituants de différentes tailles sont associés, la porosité est déterminée par leur assemblage, et on peut avoir alors des distributions de pores très variées.

^{‡‡} Ces sols ne sont pas les plus répandus le long de la route de Saint-Elie et ils n'occupent que d'étroits sommets d'interfluve. C'est pourquoi, malgré leurs intéressantes qualités agronomiques, ils ne sont pas étudiés ici.

Voyons maintenant comment la composition et l'organisation du sol de HAR 7 influencent son fonctionnement, et en particulier l'infiltration et la filtration expérimentales ainsi que la distribution des racines.

5.1.3. Infiltration expérimentale (voir méthode en 1.2.2.) :

La perméabilité de surface est très irrégulière d'un endroit à l'autre puisque sur 36 mesures (tableau P. 1) les résultats obtenus s'étalent de 0,3 à 720 cm/h (soit 2 400 fois plus !). Le rapport i/m (interquartile sur médiane) confirme cette dispersion (1,94 !). La moyenne M est très supérieure à la médiane ($M/m = 1,85$) ce qui signifie que les valeurs les plus élevées sont dues à des conduits (galeries d'animaux, de racines etc...) irrégulièrement réparties (relativement à la taille des échantillons, 250 cm²).

En outre, cette perméabilité de surface est nettement inférieure à celle obtenue sur des sols où la dynamique de l'eau est verticale et libre. Cette différence est en accord avec l'existence de stagnation d'eau ou de ruissellement pendant les averses.

5.1.4. Filtration expérimentale (voir méthode en 1.2.3.) :

Les courbes de ressuyage (cf. dépliant) montrent que seuls les horizons supérieurs (servant de magasin aux poches d'eau naturelles en période pluvieuse) sont atteints par l'eau qu'on force à s'infiltrer : les horizons rouges sous-jacents gardent une teneur en eau constante. Des poches d'eau sont artificiellement alimentées dans les horizons supérieurs au cours de ces expériences (courbe 2 h). Ces poches n'apparaissent pas en tout point : c'est ainsi que les courbes 48 h et 96 h caractérisent des points (choisis au hasard) sans poche d'eau sous-jacente.

C'est pourquoi la teneur en eau y est voisine de celle du témoin[‡].

[‡] Il n'est pas possible de provoquer dans ces expériences un débordement des poches d'eau, c'est-à-dire une alimentation durable de la nappe perchée anastomosée. Par contre ce débordement est fréquemment réalisé en période pluvieuse, l'apport global d'eau au terrain étant alors beaucoup plus important. A noter que la correspondance entre ces poches, la nappe anastomosée et le microrelief de surface (craquelures, rigoles anastomosées) n'a pas encore été déterminée avec précision.

5.1.5. Répartition des racines :

La tranche 0 - 20 cm contient 87% du poids total de racines (tranche 0 - 2 m), la tranche 20 - 60 cm à nappe perchée et poches d'eau n'en contient que 9% et la tranche 1 - 2 m moins de 2%. La décroissance verticale est donc extrêmement rapide, quoiqu'il reste encore une quantité non négligeable de racines dans l'horizon rouge.

On constate par ailleurs qu'il y a beaucoup de grosses racines (diamètre supérieur à 1 cm) dans la tranche 0 - 20 cm, trois fois plus que dans les sols à dynamique verticale ! Cette abondance de grosses racines horizontales immédiatement sous la surface du sol est d'ailleurs une gêne pour les expériences de filtration et d'infiltration (difficulté d'enfoncement des cadres).

5.1.6. Conclusion :

Les mesures des différentes caractéristiques étudiées, composition volumique, infiltration, filtration, enracinement sont en accord entre elles et avec les observations qualitatives :

En début de saison des pluies, l'eau atteint l'horizon rouge après avoir traversé les horizons supérieurs, mais si lentement et en si petite quantité qu'il se produit des engorgements. Ceux-ci ne sont pas généralisés, mais localisés dans des volumes indépendants appelés "poches".

Puis le débordement de ces poches éparses alimente une "nappe perchée" très peu profonde (la plancher est à 5 - 15 cm de profondeur), formée de "canaux internes" anastomosés, et qui trouve un écoulement latéral en direction du versant.

A cet écoulement latéral interne s'ajoute un écoulement superficiel (ruissellement) provoqué par la faible perméabilité de surface et surtout par l'irrégularité de celle-ci d'un point à l'autre. Le ruissellement est canalisé par le microrelief et conduit soit aux cuvettes soit au versant.

L'eau qui a pénétré lentement dans l'horizon rouge (sous les cuvettes, sous les poches d'eau ou entre celles-ci ?) est reprise en saison sèche par évapotranspiration grâce aux racinelles présentes.

Bien qu'une partie de l'eau de pluie échappe au sol par ruissellement et écoulement latéral interne, les réserves d'eau utile sont abondantes et loin d'être complètement utilisées, même en fin d'une saison sèche sévère (1976). Ceci résulte de l'abondance de limons.

Les contraintes présentées par ce type de sol, dans son état initial, ne résident donc pas dans un manque d'eau utilisable par les plantes en période sèche, ni dans une trop faible épaisseur de sol accessible aux racines, mais dans un excès d'eau localisé et temporaire qui se manifeste dans les premiers décimètres, et dans une vulnérabilité[⊗] à l'érosion, liée à cette accumulation d'eau libre près de la surface.

Là où l'horizon nodulaire est plus épais (40 à 60 cm) et concentré, ce dernier inconvénient s'atténue quelque peu, certes, mais alors la quantité de terre meuble disponible pour les plantes diminue en proportion. Des problèmes de sécheresse et d'épuisement du sol pourraient alors se manifester.

5.2. TERRAIN IFAC-f ET SON DEFRIQUEMENT IFAC-v, sur migmatite

5.2.1. Description du sol :

On n'observe pas ici le microrelief en cuvettes décrit en HAR 7. Le réseau de rigoles suivi par les eaux de ruissellement est peu marqué.

L'horizon humifère, surmonté d'un mat de débris organique épais de 1 à 2 cm en dehors des passages de ruissellement, est gris-terne avec des petites plages plus blanches.

Puis débute un horizon jaune-terne avec des plages grises puis, un peu plus profondément des taches rouille discrètes. Il contient des nodules ferrugineux de petite taille (<1 cm) plus concentrés en poches ou lignes vers 40 - 50 cm de profondeur. La structure est massive mais avec, ici et là, des surfaces de "clivage" subverticales, plus lisses et légèrement plus luisantes que les surfaces qu'on obtient par arrachement. Ces surfaces luisantes ne forment pas véritablement un réseau de fissures car elles sont non béantes, non réunies et irrégulières. Tempérée par le microrelief naturel qui concentre l'eau dans les cuvettes voisines, ou qui fait méandrer le ruissellement,

gulièrement réparties.[ⓧ] Cet horizon jaune comporte aussi de gros pores tubulaires.

Vers 60 cm de profondeur, débute un horizon compact de teinte de plus en plus hétérogène (blanc, beige, jaune-rose et ocre-brun), dans lequel les volumes ocre-brun correspondent à des parties indurées, plus riches en oxydes de fer, et allongées à peu près verticalement en "cloisons" non continues (lithoreliques). Le durcissement augmente du bas vers le haut, où les "lithoreliques" précédentes achèvent leur transformation en nodules ferrugineux. Cet horizon massif et hétérogène contient peu de racines ou radicelles, et il est dépourvu de ces surfaces luisantes subverticales décrites dans l'horizon sus-jacent. De gros pores tubulaires y sont encore présents, mais ils sont fermés et contiennent surtout de l'air piégé (dont on peut provoquer l'échappement sous forme de bulles, lorsqu'on recouvre d'une lame d'eau le fond des fosses d'étude).

5.2.2. Composition volumique :

Le diagramme volumique du sol IFAC-f (dépliant) indique que la proportion de limon augmente notablement et brusquement au-dessous de 60 cm de profondeur, c'est-à-dire dans l'horizon massif et hétérogène, sans atteindre toutefois la teneur observée sur schiste à la même profondeur (cf. HAR 7). Dans cet horizon, la porosité totale ne dépasse guère 40%, et elle est composée pour moitié seulement de pores ultra-fins (retenant l'eau au pF 4,2). Le reste de la porosité est occupé par de l'air (macropores) et par de l'eau utile (pores fins), le développement de cette dernière allant de pair avec l'augmentation des limons.

La variation saisonnière se fait sentir profondément, comme en HAR 7, ce qu'on peut relier à l'abondance relative de l'eau utile. Il apparaît un certain déséquilibre air-eau au profit de l'eau[ⓧ] dans l'horizon compact, comme en HAR 7 mais moins prononcé. Il y a cependant ralentissement ou blocage de la filtration dans les horizons supérieurs, comme le montre la formation d'une nappe perchée. Les mesures de filtration expérimentale confirment ce blocage.

[ⓧ] On verra plus loin que le défrichage et la mise à nu du sol ont généralisé et accentué ces surfaces subverticales.

[ⓧ] A noter toutefois de grandes variations latérales de teneur en eau, dues à l'hétérogénéité de ce type de sol et qu'on n'a pas représentées ici.

5.2.3. Infiltration expérimentale (voir méthode en 1.2.2.) :

Les mesures d'infiltration faites en surface du terrain IFAC-f (voir tableau P. 1) donnent des résultats un peu plus élevés qu'en HAR 7 mais avec une dispersion moindre. Ces perméabilités sont encore très inférieures (moins de la moitié) à celles obtenues dans les sols à dynamique verticale, et suffisamment faibles pour provoquer le ruissellement (voir note infrapaginale page P. 8) pendant les averses.

5.2.4. Filtration expérimentale (voir méthode en 1.2.3.) :

L'eau infiltrée s'accumule vers 15 cm de profondeur, où elle persiste sous forme d'eau libre pendant plus de 6 heures (cf. dépliant). Au bout de deux jours, la teneur en eau a décru jusqu'à celle du témoin.

Toutefois, les variations latérales de teneur en eau dues à l'hétérogénéité de ce type de sol sont telles que les échantillons pris en saison des pluies ou sur sol mouillé expérimentalement peuvent contenir moins d'eau que ceux de saison sèche ou des témoins ! Ces différences de teneur en eau dans un même terrain, à une même époque et dans les mêmes conditions naturelles sont dues à des différences de finesse des pores (retenant l'eau) liées à des différences de teneur en argile ou d'organisation des constituants. Les comparaisons entre courbes de ressuyage ne peuvent évidemment être faites qu'entre des endroits où le sol a même constitution et même organisation.

Le fait que, au cours des expériences de filtration, la teneur en eau n'augmente pas dans les horizons médians qui pourtant ne sont pas saturés (teneur en air notable), alors que les horizons supérieurs sont engorgés, indique que la filtration verticale est entravée. Il se produit pourtant une variation saisonnière non négligeable jusque dans l'horizon compact, variation qu'il faut alors attribuer au dessèchement par les prélèvements effectués par les quelques racines présentes. Ces prélèvements sont ensuite compensés au début de la saison des pluies par une lente réhumectation à partir des horizons supérieurs. L'hétérogénéité du terrain fait aussi penser que la filtration de l'eau de pluie en profondeur (drainage vertical) et l'évapotranspiration peuvent se produire préférentiellement en certains points du terrain et se propager latéralement à partir de ces axes de pénétration.

5.2.5. Distribution des racines :

La couche 0 - 20 cm contient 83% du total racinaire, la couche 20 - 60 cm encore 13%, la couche 1 - 2 m seulement 1,3%. La décroissance verticale est donc très rapide, comme en HAR 7, quoique le total racinaire y soit deux fois moindre. Les terrains IFAC-f et HAR 7 ayant des pédoclimats comparables il semble donc que ce soit le mode de décroissance verticale (sa rapidité notamment) qui soit en relation avec la dynamique de l'eau, et non la quantité de racines. Les différences concernant cette dernière sont importantes (du simple au double) mais on ne peut préciser si elles sont des caractéristiques globales des terrains, ou si elles traduisent seulement une hétérogénéité locale. A noter d'ailleurs que la différence entre IFAC-f et HAR 7 provient en grande partie d'une teneur moindre* de IFAC-f en grosses racines superficielles, celles qui précisément présentent les plus grandes variations locales.

La quantité de racines contenue dans l'horizon compact (0,6 - 2 m) est de 4% du total racinaire. Ces racines pourraient assurer le dessèchement saisonnier constaté précédemment.

5.2.6. Conclusion :

Par rapport à HAR 7, le terrain IFAC-f contient moins de limon fin et de sable fin (et donc moins d'eau tutive), plus de refus, une couche caillouteuse plus profonde (40 - 50 cm). L'horizon médian compact n'y est pas rouge mais à dominante claire, et riche en lithoreliques ferruginisées allongées, alignées verticalement.

Ces deux terrains se caractérisent cependant par l'hétérogénéité du sol, dont les caractères varient à très faible distance, et par le même type de dynamique de l'eau, quoiqu'il n'y ait pas en IFAC-f de cuvettes qui forcent une partie de l'eau de pluie à s'infiltrer. Cette dynamique de l'eau se caractérise par :

- un fort ruissellement superficiel, la formation de poches d'eau à faible profondeur, une nappe perchée subsuperficielle à écoulement latéral (pendant les averses) ;

* Qui reste cependant très supérieure à celle des sols à dynamique verticale profonde,

- à moyenne profondeur un horizon compact qui paraît au toucher, presque sec et d'humidité constante au cours de l'année.

Ce sont ces observations qui les ont fait qualifier de terrains à dynamique de l'eau superficielle et latérale. Les mesures effectuées, dont on a donné ici les résultats, montrent que :

- ce caractère superficiel et latéral de la dynamique concerne seulement l'eau de gravité. En effet, il s'établit dans l'horizon compact médian une variation saisonnière due à l'évapotranspiration de saison sèche, et compensée en saison des pluies par une lente réhumectation ;
- l'impression tactile "sec au toucher" traduit la finesse de la porosité et non pas une teneur en eau faible et constante ;
- ce sont les différences avec les sols à dynamique verticale libre qui sont significatives, plus que les valeurs absolues des caractères mesurés :
- + la perméabilité de surface est 2 à 10 fois moindre, expliquant le ruissellement ;
- + la teneur en air est moindre (déséquilibre au détriment de l'air), mais sans disparition de celui-ci ;
- + brusque augmentation du limon fin au niveau de l'horizon compact ;
- + pas de variation de teneur en eau de l'horizon compact lors des expériences de filtration (mais l'hétérogénéité latérale complique beaucoup ce type de mesure) ;
- + décroissance verticale des racines beaucoup plus rapide ;
- + plus de grosses racines en surface.

Par conséquent, et compte tenu du coût et de la pénibilité des mesures précédentes, l'observation directe du ruissellement et des chenaux qu'il aménage, des poches d'eau, de la nappe perchée, et de la "sécheresse" tactile de l'horizon médian restent les critères d'identification les plus simples et les plus sûrs de ces terrains. Les mesures précédentes ont eu pour objet de préciser la signification physique de ces observations.

5.2.7. Etude du terrain défriché IFAC-v : Modifications apportées au sol, à la dynamique de l'eau et à l'enracinement, suite à un défrichement mal conduit.

Le défrichement (vers 1969) aurait été fait en saison des pluies. La couche supérieure a été rabotée et déplacée vers les andins. L'érosion a enlevé

ensuite plusieurs centimètres de sol. Les arbres qui ont été plantés (agrumes) sont morts au bout de quelques années, sans avoir produit.

L'étude du terrain montre que le sol initial était comparable à IFAC-f, si l'on attribue au raclage par les engins et à l'érosion pluviale l'absence en IFAC-v des deux décimètres supérieurs, manquants. Les autres différences sont importantes mais paraissent dues à des transformations induites par le défrichement :

- L'horizon humifère est peu épais et irrégulièrement développé (absent de quelques plages nues), plus gris et taché de rouille qu'en IFAC-f.
- Au-dessous la structure est massive. Autour des arbres elle est d'abord lamellaire sur 2 dm environ puis "prismatique" sur 2 dm ou, plus exactement, il apparaît des fentes verticales dont les faces sont ternes, revêtues d'argile grise et suivies par des radicelles. Ces fentes régulièrement disposées en réseau, et suivant lesquelles le sol se "clive" jusqu'à 40 cm de profondeur, piègent l'eau et l'argile entraînée par celle-ci : elles constituent un milieu réducteur et asphyxiant en période pluvieuse car elles ont l'horizon compact imperméable pour plancher. Il est possible que ces fentes résultent d'une accentuation et d'une multiplication des surfaces subverticales décrites en IFAC-f. Dans cette hypothèse ces dernières pourraient servir d'indicateur du comportement du sol à la mise en valeur.
- Dans cet horizon massif, ou lamellaire/prismatique, on observe une concentration de nodules en poches, mais avec une disposition plus désordonnée qu'en IFAC-f, et surtout plus près de la surface. De plus, le magasin de nappe perchée a été détruit par érosion ou compactage. La plupart de l'eau de pluie ruisselle et le sol reste d'humidité constante toute l'année dès 40 cm de profondeur (base des prismes ou horizon massif, cf. composition volumique - figure P. 9 en haut).

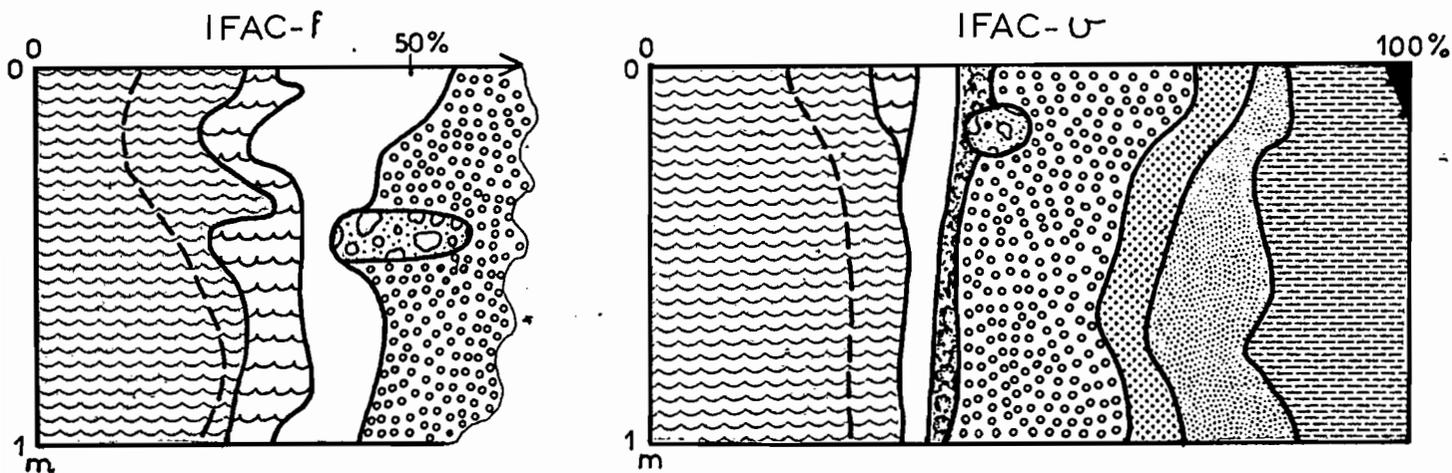
Les expériences d'infiltration expliquent l'importance du ruissellement : la perméabilité de surface est extrêmement faible, quoique irrégulière :

Tableau P. 6 : Perméabilité de surface, en cm/h, en IFAC, sous Forêt (f) et sous tapis herbacé (v)

Terrain	kM	km	km/km	M	m	M/m	i	i/m	n
IFAC-f	320	76	4	191	206	0,93	133	0,65	12
IFAC-v	65	0,1	650	6,1	2,5	2,4	5,1	2,04	24

(Voir légende du tableau P. 1 - page 1).

COMPOSITION VOLUMIQUE



ex-verger: TENEURS (pondérales) EN EAU LORS DU RESSUYAGE (expérimental).

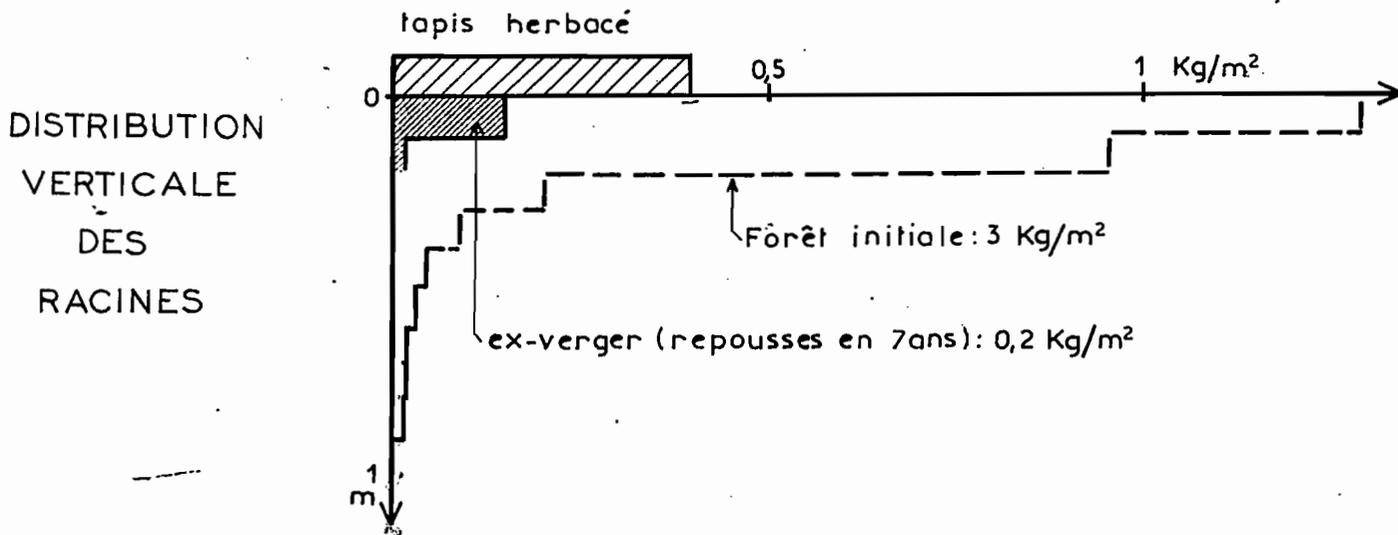
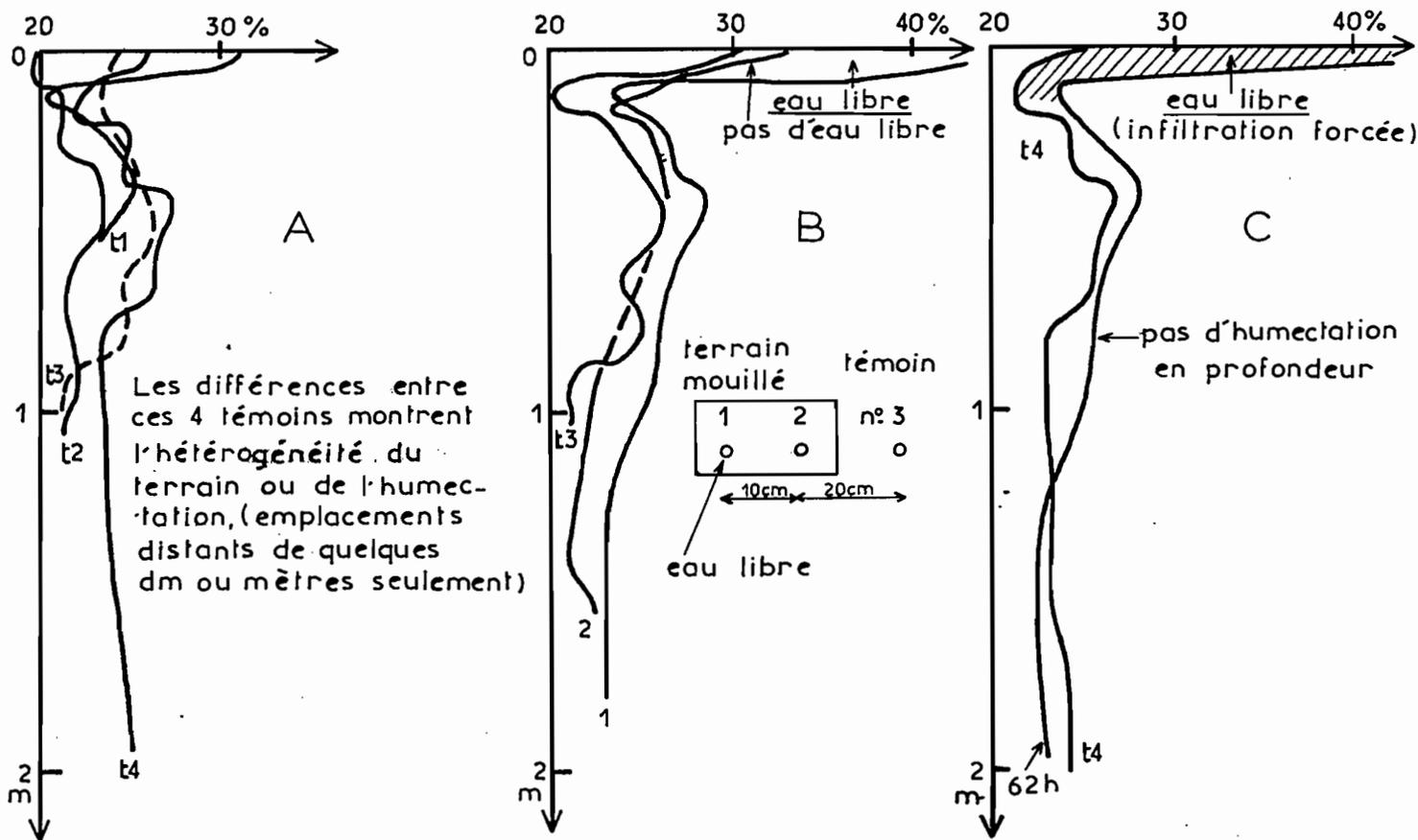


Figure: P9 : Résultats de mesures dans la défriche IFAC-u par comparaison avec le sol forestier initial IFAC-f

La perméabilité du terrain défriché n'est, 6 ans après son abandon que 1/40 de celle de la forêt initiale !

Les expériences de filtration montrent que le sol et l'humectation sont très hétérogènes, en relation avec l'irrégularité de l'infiltration. Les différences entre les 4 témoins sont considérables (figure P.9 en A) et si on force l'eau à s'infiltrer on forme parfois une poche d'eau (figure P.9 en B) mais celle-ci est si étroite qu'à 10 cm de là on ne recueille pas d'eau libre ! En aucun cas cette eau ne pénètre en profondeur (figure P.9 en C) et ce terrain échappe à la dynamique actuelle dès 20 - 40 cm de profondeur.

Les mesures d'enracinement montrent que le total racinaire ne dépasse pas, entre les agrumes morts, c'est-à-dire dans les zones à tapis herbacé sur sol massif, $0,3 \text{ kg/m}^2$ soit dix fois moins que dans le sol initial !

De plus cet enracinement est pratiquement limité à la tranche 0 - 20 cm. Il est donc lui-même très superficiel et de ce fait sensible aux périodes de sécheresse.

L'étude de l'enracinement des agrumes montre que les racines de ces arbres n'ont pas quitté le "trou" de plantation (30 x 30 cm), dont la terre de remplissage est humide, gris-bleuté à taches rouille, sableuse au sommet, colmatée par de l'argile grise à la base. Creusés dans un sol massif et imperméable, ces trous de plantation ont piégé l'eau de pluie et sont ainsi devenus des milieux asphyxiants pour les racines. Quelques radicelles, appartenant au tapis herbacé, s'enfoncent plus profondément au droit des trous de plantation, le long des fissures verticales de la couche "prismatique".

Quelques arbres ont survécu partiellement, (sans produits), là où l'horizon humifère est un peu plus épais et où quelques racines ont réussi à prospecter cette couche superficielle après être sorties du trou de plantation.

Conclusion : Ce défrichement mal mené d'un sol forestier à dynamique superficielle et latérale a, en supprimant la couche supérieure humifère et en mettant ainsi à l'affleurement l'horizon minéral compact et imperméable, accentué la massivité de celui-ci qui est devenu un milieu réducteur et asphyxiant pour les racines. La dynamique de l'eau est alors extrêmement superficielle, exposant en outre la végétation à la sécheresse. L'incapacité de la forêt à se reconstituer, six ans après l'abandon total du verger, témoigne de la gravité des modifications entraînées par ce défrichement.

Il est urgent d'entreprendre des essais pour mettre au point un mode de défrichement permettant d'obtenir un sol apte à porter des cultures ou des pâturages.

5.3. TERRAINS SS 17 - SS 18 sur migmatite

Ces deux terrains font partie d'un même système de sol dont SS 17 caractérise le replat sommital, et SS 18 une part (importante) des versants (modelé accidenté). Ce système de sol a été qualifié globalement "à dynamique superficielle et latérale" (cf.) parce que ce type de dynamique caractérise la majeure partie du système de sol, mais on verra ici qu'une certaine dynamique verticale existe sur le replat sommital.

5.3.1. Description du sol :

Horizon rouge médian. Les terrains SS 17 et SS 18 se caractérisent tous deux par l'apparition à moyenne profondeur (vers 1 m) d'un horizon rouge, "serré", compact, dont la base n'a pas été atteinte, qui est sec au toucher en toutes saisons et pratiquement dépourvu de racines. On y observe des lithoreliques ferruginisées de la roche-mère (migmatite), de plus en plus indurées en nodules à la partie supérieure. En SS 17, des "cheminées" de terre jaune-rouge, humide, parcourues de racines, pénètrent profondément dans l'horizon rouge (sans qu'on puisse préciser si elles le traversent). L'espacement de ces cheminées est d'environ 2 m, leur diamètres 1 à 2 dm.

Indépendamment de la présence de ces cheminées, la transition avec les horizons supérieurs est plus progressive en SS 17 qu'en SS 18.

Horizons supérieurs. Au-dessus de l'horizon rouge à lithoreliques, le sol contient beaucoup de nodules ferrugineux (sauf tout en surface, dans la couche 0 - 5 cm). La matrice qui emballe ces nodules est jaune-rouge, humide en période pluvieuse et elle englobe même des "poches" d'eau libre. Mais en SS 17 ces poches sont très temporaires et espacées de plusieurs mètres (donc rares). En SS 18, ces poches sont persistantes et plus rapprochées : lors des fortes averses elles forment même (SS 18), par débordement, une nappe perchée éphémère (quelques heures), dont le plancher se situe vers 15 - **35** cm de profondeur; et qui est anastomosée en chenaux internes (elle n'est donc pas continue); Cette nappe anastomosée interne au sol a un écoulement latéral sur le versant, qui paraît se hiérarchiser de plus en plus en bas de pente (gros conduits tubulaires) :

La concentration de nodules varie beaucoup à quelques décimètres de distance, mais il apparaît qu'elle est maximum au niveau de la nappe perchée à peu près. Au-dessus on observe une forte concentration de grosses racines horizontales (SS 18).

Les poches d'eau libre sous-jacentes à la nappe comportent des appendices "en doigt de gant" descendant parfois jusqu'à 60 cm de profondeur et qui correspondent semble-t-il à d'anciennes galeries de racines* ou d'arabes. Lorsque l'on sectionne un tel appendice sur la paroi d'une tranchée on provoque l'écoulement de l'eau sus-jacente, plusieurs litres parfois (figure P. 7).

5.3.2. Les diagrammes volumiques (voir dépliant), font apparaître des différences importantes entre les terrains SS 17 et SS 18, même au niveau de l'horizon rouge compact.

* Une poche d'eau se vide aussi parfois le long d'une racine que l'on a sectionnée en creusant la tranchée. Mais il se peut que ce soient les chocs exercés par le sabre sur la racine qui aient élargi le conduit de celle-ci, créant ainsi artificiellement un exutoire à l'eau de la poche.

a) - Horizon rouge compact.

En SS 18 cet horizon rouge est mal aéré (pincement du volume représentant l'air) et la teneur en eau utile est peu importante. Pourtant, la teneur totale en eau est élevée (plus élevée que dans les horizons sus-jacents engorgés, et même proche de la saturation !), mais une grande partie de cette eau est fixée par des pores très fins (eau retenue au pF 4,2) et elle n'est pas -de ce fait- extractible par les plantes. Le milieu est donc pauvre en eau et en air pour les plantes et les animaux ("déséquilibré" air-eau par manque des deux !). L'on constate que cette "sécheresse physiologique" correspond en première approximation à l'impression tactile "sec au toucher" relevée lors de l'examen direct.

Bien que la porosité de cet horizon soit surtout constituée de pores très fins, on y observe aussi des gros pores tubulaires, remplis d'air, mais ces gros tubes ne traversent pas l'horizon et ne communiquent guère entre eux. Cette porosité tubulaire remplie d'air ne représente au total que quelques pourcents du volume comme on peut le constater dans le diagramme ; de plus elle est "fermée" et son air y est "piégé". Ainsi, l'eau de gravité ne peut filtrer que lentement donc en très petite quantité : la perméabilité mesurée[‡] à 2 m de profondeur est de 0,12 cm/h, soit 20 fois moins que dans les sols à dynamique verticale à la même profondeur. Cet horizon est donc pratiquement impermeable^{‡‡}.

Cette finesse de la porosité, où l'eau est très fortement retenue, ainsi que la rareté des racines rendent le dessèchement de cet horizon très lent^{‡‡‡} en saison sèche. La variation saisonnière d'humidité est de ce fait très réduite, quelques pourcents seulement.

Les caractères précédents, assez défavorables à la vie, concernent surtout la partie supérieure de l'horizon rouge compact, c'est-à-dire la tranche 0,8 - 1,4 m. Or cette tranche se caractérise par une teneur maximale^{‡‡‡} en argile. Cette

[‡] Méthode MUNTZ mais sans anneau de garde et sur de grandes surfaces (2 m², le fond des fosses, moyenne de 4 mesures).

^{‡‡} Toutefois ce n'est pas lui qui est au plancher des poches d'eau qui se forment en période pluvieuse ou lors des expériences de filtration : ce plancher est au sein même des horizons supérieurs.

^{‡‡‡} D'autant plus que ce dessèchement direct se fait par l'intermédiaire des horizons supérieurs qui restent eux-mêmes longuement humides.

^{‡‡‡‡} Ce maximum est masqué sur le diagramme volumique : en effet la teneur en refus décroît rapidement au-dessous de 1,5 m, suffisamment pour faire augmenter la teneur volumique en argile à ce niveau, malgré sa décroissance en teneur pondérale (voir chapitre [I]).

teneur élevée en argile (59% de la terre fine) explique l'abondance de pores très fins. Son caractère particulier est plutôt le faible développement de pores plus grossiers à ce niveau : c'est lui qui explique la compacité, l'imperméabilité*, la lenteur des échanges d'air et d'eau, et il est en relation avec la faible activité biologique. Plus en profondeur, les teneurs en air et en eau utile augmentent progressivement, parce que la teneur en argile diminue, parce que la teneur en limon fin augmente. Cette amélioration est déjà perceptible sur le diagramme volumique à 2 m de profondeur.

En SS 17, l'horizon rouge compact est mieux aéré et mieux pourvu en eau utile quoiqu'il soit, comme en SS 18, sec au toucher et presque totalement dépourvu de racines entre les cheminées. On y observe cependant une forte réduction de l'eau utile et de l'air vers 0,8 - 1 m de profondeur, au niveau d'un maximum d'argile, visible cette fois dans le diagramme volumique lui-même (voir aussi le diagramme pondéral au chapitre VI) car la teneur en refus ne subit pas de variation importante. Il apparaît donc -comme en SS 18- une tranche plus compacte à la partie supérieure de l'horizon rouge "compact" et il semble que cette tranche fasse obstacle -dans une certaine mesure - à la pénétration en profondeur des racines et de l'eau de pluie. Mais les "cheminées" jaunes qui traversent de proche en proche cette tranche compacte sont empruntées par les racines et l'eau de pluie, rétablissant en quelque sorte une certaine dynamique verticale, du moins par des voies préférentielles.

En conclusion, il semble que ce soient l'accentuation des caractères défavorables, et la rapidité de leur apparition, à la partie supérieure de l'horizon compact, qui provoquent le blocage des racines et de la dynamique de l'eau, plutôt que ces caractères eux-mêmes dans l'ensemble de l'horizon compact.

b) - Horizons supérieurs.

Les horizons supérieurs contiennent, dans ce système de sol, une proportion élevée de refus, refus qui est constitué en grande partie de nodules ferrugineux à cortex imperméable et qui échappent de ce fait à la dynamique actuelle. On a donc considéré l'air et l'eau que contient leur porosité (qui est de 23% environ) comme "hors circuit" de la dynamique actuelle. C'est pourquoi on a isolé globalement les nodules (avec leur air et leur eau donc) dans les diagrammes volumiques.

* Accentuée par l'abondance du refus, qui réduit la "section efficace" c'est-à-dire la surface par laquelle l'eau peut passer, entre les cailloux.

Cette proportion élevée de refus "écrase" les parties du diagramme qui représentent la terre fine[‡]. Relativement au volume "hors nodules", l'aération est assez importante dans ces horizons, mais on doit se rappeler que de l'eau libre, non comptabilisée dans les diagrammes (où elle est seulement signalée par un astérisque), occupe périodiquement, et plus (SS 18) ou moins (SS 17) longuement, la porosité attribuée ici à l'air. Ces horizons sont donc en réalité asphyxiés localement en période pluvieuse.

La proportion d'eau utile est moyenne dans la terre fine, mais comme celle-ci n'occupe en fait que l'espace laissé par les nodules, les quantités d'eau utile disponibles réellement dans ces horizons sont peu importantes.

Ce qui caractérise surtout ces horizons c'est un fort contraste saisonnier^{***} qui va de la saturation (eau libre) à un dessèchement qui atteint presque le pF 4,2 (en 1976). Il y a donc alternativement déséquilibre air/eau au profit de l'air puis de l'eau, déséquilibre qui se manifeste aussi à un même moment d'un point à l'autre (d'une poche d'eau à une "île" entre les poches d'eau).

5.3.3. Infiltration expérimentale (voir méthode en 1.2.2.).

La perméabilité de surface est relativement faible (voir tableau P. 1), la plus faible obtenue sur les sols de Terres Hautes, et elle se caractérise par une moyenne très supérieure à la médiane et par une dispersion (i/m) importante, comme en HAR 7. L'infiltration expérimentale est donc irrégulièrement répartie et il pourrait en être de même dans les conditions naturelles.

Ces perméabilités de surface relativement faibles (50 cm/h contre 400 cm/h pour les sols à dynamique verticale) ne sont pas dues à la faible perméabilité de l'horizon rouge compact, qui est trop profond pour faire sentir ses effets jusqu'en surface lors de ces tests d'infiltration. L'horizon supérieur de ces sols se caractérise donc lui aussi par une perméabilité moindre que celui des sols à dynamique verticale.

[‡] La composition de la terre fine s'étudie mieux sur des diagrammes "hors nodules", non donnés ici.

^{***} Ou même à l'échelle des épisodes pluvieux.

Il faut cependant signaler que les grosses racines horizontales sont très abondantes dans l'horizon supérieur et qu'elles empêchent, une fois sur deux environ, de faire la mesure à un endroit choisi au hasard : le cadre butte sur une racine et on a dû alors chercher un autre emplacement. Or lorsqu'on force le cadre jusqu'à sectionner la racine gênante on obtient le plus souvent une perméabilité élevée. Mais on peut se demander s'il n'y a pas eu alors dislocation de l'horizon supérieur par les chocs et c'est pourquoi on n'a pas pris en considération ces résultats élevés. La représentativité des résultats précédents n'est donc que partielle.

5.3.4. Filtration expérimentale (voir méthode en 1.2.3.). Les courbes de ressuyage (dépliant) montrent qu'une humectation profonde a été obtenue en SS 17 lors de ces expériences, le retour à la normale étant observé au bout de 48 h. On constate aussi une accumulation temporaire d'eau de gravité au niveau du maximum d'argile. En SS 18 au contraire, l'eau infiltrée s'est accumulée vers 50 cm de profondeur où elle a constituée une poche d'eau libre analogue à celle qu'on observe dans les conditions naturelles. Cette poche a persisté plus de deux jours (courbe 48 h^æ du dépliant).

Dans le système de sol considéré, il semble donc qu'une dynamique verticale de l'eau soit encore possible sur le replat sommital, à travers l'horizon rouge dans son ensemble, ou seulement par ces voies préférentielles que sont les "cheminées".

5.3.5. Distribution verticale des racines :

L'horizon rouge compact, plus ou moins "physiologiquement sec", est pratiquement dépourvu de racines : $0,03 \text{ kg/m}^2$ pour la tranche 1 - 2 m, soit 0,6% seulement du total (0 - 2 m). Cette absence de racines doit être attribuée moins à la compacité et au déficit en air et eau utile de cet horizon dans son ensemble qu'à l'aggravation de ces trois défauts dans la partie supérieure de cet horizon et à la rapidité de leur apparition. En effet ce faible enracinement s'observe aussi en SS 17 où l'équilibre air/eau de l'horizon rouge est meilleur. Il faut donc considérer que les racines ne réussissent guère à franchir cette tranche défavorable lors de leur progression de haut en bas, et utilisent alors ces voies préférentielles que sont les cheminées.

* La mesure à 96 h a été faite à un autre endroit distant de quelques mètres, où on ne sait si l'eau apportée y a constitué une poche d'eau, et si cette poche éventuelle était placée exactement au droit du point d'infiltration (et de mesure de teneur en eau à 96 h).

De même l'activité biologique actuelle est très réduite dans l'horizon rouge, du moins dans ses activités visibles à l'oeil nu. Cet horizon est donc en partie "abiotique" et on a vu qu'il est aussi plus (SS 18) ou moins (SS 17) "hors circuit" de la dynamique actuelle de l'air, de l'eau (et des matières transportées par conséquent).

Dans les horizons supérieurs de ce système de sol, la distribution verticale, des racines est différente sur le replat sommital (SS 17) et sur le versant (SS 18). Ces différences confortent d'ailleurs les conclusions tirées des diagrammes volumiques et des expériences d'infiltration et de filtration :

En SS 17, où la filtration verticale n'est pas ralentie suffisamment pour qu'il se forme des poches d'eau durables et rapprochées, la décroissance des racines de haut en bas est progressive dans le premier mètre, comme dans les sols à drainage vertical profond.

En SS 18, la tranche 0 - 20 cm concentre 89% des racines tandis que la tranche 20 - 60 cm où se trouvent la nappe perchée et les poches d'eau n'en contient que 9%. C'est exactement la répartition obtenue dans le terrain HAR 7 où se forment aussi nappe perchée et poches d'eau ! De même, la tranche 0 - 20 cm contient trois fois plus de grosses racines ($1 < \phi < 4$ cm) que dans les sols à dynamique verticale.

En conclusion, on constate que la distribution verticale de racines obéit à deux facteurs :

- 1) - Les conditions du pédoclimat, c'est-à-dire l'équilibre air-eau réalisé aux différentes périodes de l'année : diminution dans la zone où stagne longuement de l'eau libre, concentration juste au-dessus, dans la couche superficielle, quasi-absence dans les couches pauvres à la fois en air et en eau libre.
- 2) - Les discontinuités rencontrées lors de la pénétration des racines : la tranche plus compacte correspondant au maximum d'argile n'est pas franchie, même en SS 17, où le sol sous-jacent présente des caractères plus favorables.

CHAPITRE VI

LES VARIATIONS VERTICALES DE TEXTURE DANS LES SOLS DES TERRES HAUTES :

Existence et conséquences d'un maximum d'argile vers 1 m de profondeur, en relation avec la dynamique de l'eau.

Les diagrammes de la figure P. 10 donnent la composition pondérale (c'est-à-dire en poids) des sols étudiés[‡], selon la taille des constituants, à savoir :

- constituants > 2 mm, ou refus, présenté séparément dans le graphique qui est placé à droite des diagrammes donnant la composition de la terre fine,
- constituants < 2 mm ou terre fine, en proportions relatives (0 à 100%) avec, de gauche à droite des diagrammes : l'argile (constituants $< 0,002$ mm), les limons fins ($0,002 < \phi < 0,02$ mm), les limons grossiers ($0,02 < \phi < 0,05$ mm), les sables fins ($0,05 < \phi < 0,2$ mm), les sables grossiers ($0,2 < \phi < 2$ mm), et enfin la matière organique (sans considération de taille).

On remarque que la teneur en argile (courbe la plus à gauche), croît plus ou moins rapidement jusqu'à un maximum situé entre 0,6 et 1,2 m selon les sols, puis décroît. La teneur en limon fin subit une nette augmentation (elle double !) juste au-dessous du maximum d'argile (sauf en SS 4, qui dérive d'un matériau sédimentaire). Les teneurs en limon grossier et en sable fin ne présentent pas, quant à elles, de variation spectaculaire du haut en bas de ces sols (tranche 0 - 2 m). Les variations de la teneur en sable grossier sont, dans ces conditions, inverses de celle des colloïdes (argile + limon fin + matière organique), avec un minimum au niveau du maximum d'argile.

Quant au refus, il est peu important dans les sols SS 4, SS 10, SS 15 (sols à

[‡] La granulométrie du sol HAR7 n'a pas été déterminée avec suffisamment de détail pour figurer ici. Quant à SSP il est constitué entièrement de sable (grossier).

dynamique verticale libre[‡]), moins de 5%, avec une légère augmentation (jusqu'à 10%) dans les premiers décimètres. Dans les sols SS 17, SS 18, IFAC-f (sols à dynamique superficielle[‡]), la teneur en refus est au contraire importante, sauf tout en surface et au-dessous de 1,8 m de profondeur. Elle présente deux maxima nettement marqués, l'un vers 20 - 40 cm c'est-à-dire au niveau de la nappe perchée, l'autre vers 1 m de profondeur (zone du maximum d'argile en SS 17 et SS 18).

Les constituants du refus sont essentiellement des grains de quartz dans les sols SS 4, SS 10, SS 15 (sols à dynamique verticale) et en grande partie des nodules ferrugineux dans les sols SS 17, SS 18 (c'est-à-dire des volumes de terre fine cimentés par des composés du fer).

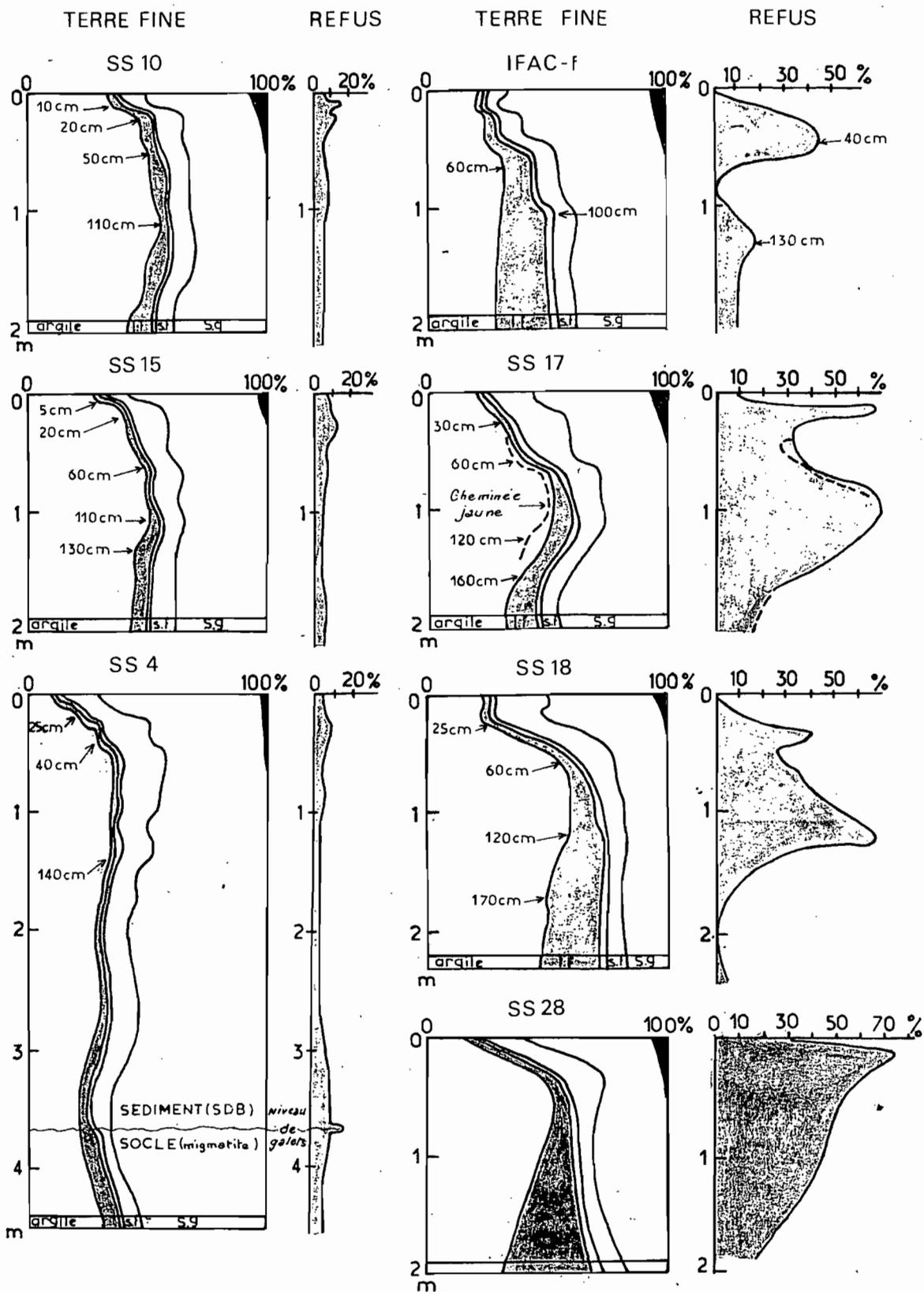
Les maxima d'argile ("ventre" des courbes) atteignent 53 à 59% dans les sols SS sur migmatite, 36% en SS 4 sur Série Détritique de Base, 33% seulement en IFAC-f sur migmatite. Ils se situent à des profondeurs voisines dans les sols SS 4, SS 10, SS 15 à dynamique verticale libre (1,1 m), entre 0,6 (IFAC-f) et 0,9 m (SS 17, SS 18) dans les sols à dynamique superficielle et latérale :

- Dans les sols à dynamique verticale libre, ils sont peu marqués et n'arrêtent pas longuement l'eau qui filtre (en période de pluie ou lors des expériences de ressuyage). L'augmentation d'argile se situe en effet au sein de l'horizon à microagrégats, c'est-à-dire dans un milieu de porosité grossière bien développée, et elle ne réduit pas sensiblement cette porosité (cf. diagrammes volumiques vers 1,1 m de profondeur).
- Dans les sols à dynamique superficielle et latérale, le maximum d'argile est à la base de la tranche de sol qui retient de l'eau libre, c'est-à-dire à la partie supérieure de l'horizon "compact". Or l'augmentation d'argile à ce niveau s'accompagne d'une réduction de la porosité grossière, réduction plus marquée encore qu'au-dessous. Il semble donc que le processus qui conduit à l'augmentation de la teneur en argile puisse contribuer au blocage de la filtration à ce niveau. Ce blocage n'en est pas moins dû essentiellement, dans les conditions climatiques actuelles, aux caractéristiques de cet horizon compact et à

[‡] On ne doit pas en conclure que les sols à dynamique verticale libre contiennent peu de cailloux, et les sols à dynamique superficielle beaucoup : les sols à microagrégats sur schistes Bonidoro ont un squelette caillouteux (blocs de cuirasse etc...) abondant (cf. Chapitre 5.1.) et il en est de même dans les sols de la station IRAT de Cabassou où le squelette nodulaire est abondant quoique la dynamique de l'eau soit verticale et profonde. Par ailleurs on a vu au chapitre que le blocage du drainage vertical apparaissait sur les versants avant la concentration nodulaire (et celle-ci n'apparaît pas dans tous les systèmes de sols).

Fig.P10 : VARIATIONS VERTICALES DE TEXTURE

- A gauche: Sols à dynamique verticale profonde.
- A droite : Sols à dynamique superficielle et latérale.



De gauche à droite

argile

■ l.f = limon fin

■ limon grossier

s.f = sable fin

s.g = sable grossier

■ = matière organique

sa faible profondeur. Rappelons en effet que l'enfoncement de la surface topographique dans la couverture pédologique est plus rapide que la transformation de l'horizon compact en horizon à microagrégats, et qu'elle entrave même cette transformation lorsque l'horizon compact devient "trop" peu profond, dans les conditions du couple sol-climat.

En conclusion, tous les sols étudiés présentent un "ventre" de teneur en argile nettement marqué et immédiatement suivi d'une augmentation des teneurs en limon fin. Dans les sols à dynamique verticale libre ce ventre est assez profond, à profondeur constante (1,1 m) et situé au sein de l'horizon à microagrégats. Dans les sols à dynamique superficielle et latérale, ce ventre devient plus superficiel, à profondeur variable (0,4 à 0,9 m) et il est calé à la partie supérieure de l'horizon "compact".

Tout se passe donc comme si il y avait, par un mécanisme qui reste à préciser, dépôt ou néosynthèse d'argile. Cette augmentation d'argile se produit à peu près à la même profondeur dans tous les sols à drainage vertical libre, c'est-à-dire là où l'horizon à microagrégats de la couverture initiale est conservé. Elle paraît donc résulter d'un processus actif, et déterminer un horizon^{***} du sol actuel. Lorsqu'au cours de l'enfoncement des horizons du sol actuel dans la couverture initiale cet horizon de teneur maximale en argile atteint le sommet de l'horizon compact, sa progression per descensum est stoppée (ou très ralentie) et l'augmentation d'argile accentue le blocage du drainage vertical (lequel est dû d'abord à l'amenée à faible profondeur de l'horizon compact).

Le processus qui provoque l'augmentation de teneur en argile pourrait aussi déterminer la diminution de la teneur en limon fin, puisque ces deux variations vont toujours^{***} de pair. Quant aux variations de la teneur en refus elles sont moins directement liées au processus précédent, quoiqu'on constate une concentration dans la partie supérieure du sol, c'est-à-dire au-dessus du maximum d'argile, et dans certains

* 0,4 m dans le sol HAR 7.

** Le comportement mécanique du sol à ce niveau est lui-même modifié : compression de la tarière par les parois du trou de sondage (gonflement ou "relaxation" liée à une accumulation d'eau, ou à une organisation particulière à ce niveau ?).

*** SS 4 excepté, mais la teneur en limon fin est extrêmement basse dans ce sol dérivé d'un matériau sédimentaire (SDB).

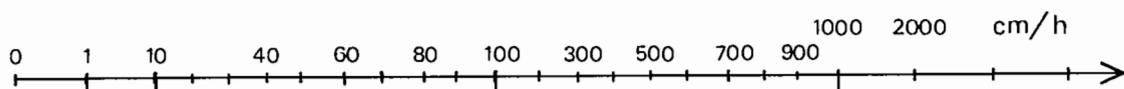
sols à dynamique superficielle et latérale une deuxième concentration au niveau ou immédiatement au-dessous de ce maximum d'argile.



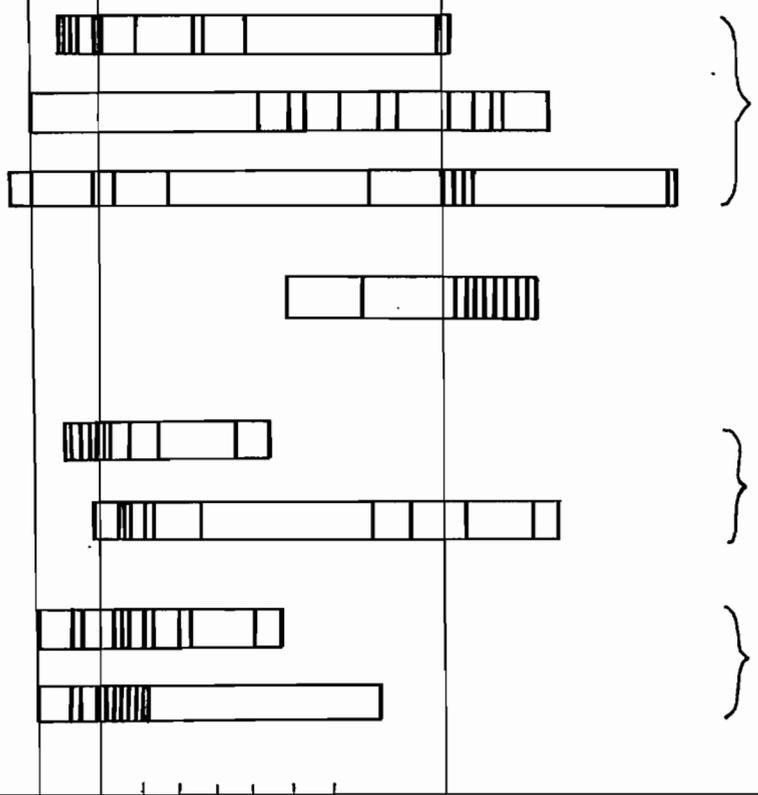
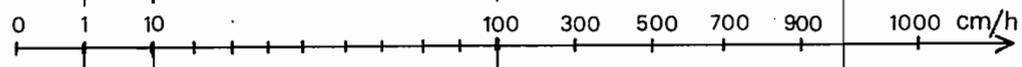
	SS 10		SS 15		SS 4		SSP	
	en mm	en %	en mm	en %	en mm	en %	en mm	en %
Eau liée (pF 4,2)	410	20,5	515	25,7	330	16,5	45	2,2
Eau utile S. Sèche	(85)	(4,2)	(40)	(2)	(75)	(3,8)	(20)	(1,0)
Eau utile S. Humide	265	13,3	205	10,2	240	12	115	5,8
Air en S. Humide	375	18,7	250	12,5	330	16,5	785	39,3
Porosité	1050	52,5	970	48,5	900	45	945	47,2
Argile	450	22,5	470	23,5	370	18,5	5	0,2
Limons	50	2,5	40	2	40	2	0	0
Sable fin	100	5	140	7	130	6,5	15	0,7
Sable grossier	300	15	330	16,5	520	26,0	1035	51,8
Cailloux	50	2,5	50	2,5	40	2,0	0	0
Matière solide	950	47,5	1030	51,5	1100	55	1055	52,8

	HAR 7		IFAC-f		SS 17		SS 18	
	en mm	en %	en mm	en %	en mm	en %	en mm	en %
Eau liée (pF 4,2)	420	21	400	20	370	18,5	535	26,7
Eau utile en S.S.	(310)	(15,5)	(130)	(6,5)	(115)	(5,7)	(115)	(5,7)
Eau utile en S.H.	500	25	300	15	200	10	170	8,5
Air en S. Humide	100	5	180	9	255	12,8	140	7,0
Porosité	1020	51	880	44	825	41,2	845	42,2
Argile	280	14	290	14,5	280	14	345	17,2
Limons	260	13	160	8	70	3,5	115	5,8
Sable fin	310	15,5	110	5,5	105	5,2	80	4,0
Sable grossier	100	5	400	20	230	11,5	160	8,0
Cailloux	30	1,5	160	8	490	24,5	455	22,8
Matière solide	980	49	1120	56	1175	58,8	1155	57,8

Tableau P.7 : VOLUMES OCCUPES PAR LES DIFFERENTES FRACTIONS COMPOSANT LES SOLS figurant sur le dépliant. Volumes exprimés en mm d'épaisseur équivalente (à gauche) puis en % (à droite), pour la tranche 0-2 m.



SOLS A
DYNAMIQUE
VERTICALE



HAR 7

SOLS A
DYNAMIQUE
SUPERFICIELLE
ET
LATERALE

20 40 60

Figure: P11 . Perméabilité de surface : Dispersion des résultats de mesure. Les sols à dynamique verticale sont plus perméables et la dispersion y est moindre.

CHAPITRE VII

RESULTATS OBTENUS LA OU LE CHEMINEMENT DE L'EAU FLUVIALE EST COMMANDE PAR LE BATTEMENT D'UNE NAPPE TRES PEU PROFONDE : Terrains NEY-2, THOULOUBE et MANUEL, sur argile COROPINA, dans la plaine c6ti6re ancienne.

On est l6 dans un milieu bien diff6rent de tous ceux qui ont 6t6 6tudi6s pr6c6demment puisqu'on a quitt6 les Terres Hautes -et donc les sols 6 bon drainage externe- pour aborder le domaine des sols de model6 plat de la plaine c6ti6re ancienne.

Le drainage externe n'6tant pas assur6 entous points, l'6vacuation de l'eau qui stagne en surface apr6s les averses -ou du moins de la partie qui n'est pas reprise par 6vaporation- doit se faire par infiltration puis filtration verticale. Or cette derni6re est limit6e par une nappe dont le toit oscille en saison des pluies entre la surface du sol et quelques d6cim6tres de profondeur, au rythme des averses. Il ne faut pas toutefois s'imaginer cette nappe superficielle comme un important r6servoir d'eau : l'eau libre n'occupe que les macropores, et ceux-ci sont repr6sent6s surtout par des tubes irr6guli6rement r6partis, dans une argile compacte qui retient -elle- beaucoup d'eau "li6e".

7. 1. Les trois terrains 6tudi6s :

Le terrain NEY-2 forme une terrasse alluviale large de 100 m sur la rive droite de la rivi6re ORAPU, un peu en amont de la scierie NEYRAT. Le sol d6rive d'alluvions argilo-limoneuses de type COROPINA, 6paisses de 2 m au maximum, reposant sur un d6p6t sableux. La terrasse est adoss6e 6 des interfluves surbaiss6s (sols sur schiste). L'altitude de la terrasse au-dessus du niveau des basses eaux est de l'ordre de 3 m et le niveau sableux contient une nappe qui peut 6tre aliment6e lat6ralement par la rivi6re 6 mar6e haute ou en p6riode de hautes eaux fluviales (et par la nappe de sols voisins sur schiste ?).

Deux emplacements ont 6t6 6tudi6s, l'un sous la for6t, l'autre juste apr6s d6frichement de celle-ci et planage (sol nu).

Le terrain THOULOUBE est situ6 sur la route de Gallion 6 14 km du carrefour de Tonate, pr6s de l'essai IRAT-riz de 1977, dans une savane sur argile marine COROPINA 6paisse de 1 6 3 m selon les endroits. Cette argile, bariol6e, donne un sol compact sauf dans les deux d6cim6tres sup6rieurs enrichis en mati6re organique. Au moment des mesures (f6vrier 77), la nappe d'eau 6tait 6 15 cm de profondeur mais on a observ6 ensuite que son battement vertical pouvait 6tre assez ample et rapide, au gr6 des

averses. En saison sèche (novembre 77), cette nappe était descendue à 2 m de profondeur.

Le terrain MANUEL est situé à la savane du même nom, un peu avant Sinnamary, près d'un essai IRAT de canne à sucre et du champ modelé en larges billons surbaissés de M. POUPART (juin 77). Le sol dérive aussi d'un dépôt d'argile COROPINA dont la base a été atteinte vers 1,3 m. Le niveau de sable grossier sous-jacent contient une nappe, et les pores tubulaires du sol argileux sont eux-mêmes remplis d'eau libre. Cette eau libre ne sature pas constamment en saison des pluies la tranche 0 - 20 cm, et son battement vertical paraît dépendre à la fois de celui de la nappe profonde et du rythme des averses.

7. 2. Composition volumique :

Les variations verticales de porosité totale diffèrent sensiblement dans les trois terrains étudiés (figure P.12 et tableau P.).

En NEY-2, sous forêt, la porosité totale décroît régulièrement et rapidement de 75% en surface à 52% à 20 cm de profondeur. Puis elle reste constante. Après défrichement et planage, elle s'établit à 50% dès la surface.

A la savane THOULOUZE, elle décroît de même, mais de 64% à 48% : le sol sous savane est donc plus compact en surface que le sol sous forêt.

A la savane MANUEL, la porosité totale décroît de 60% en surface à 48% à 20 cm de profondeur, mais elle augmente ensuite à 53% entre 30 et 60 cm de profondeur, avant de décroître à nouveau (45% à 80cm). Cette augmentation de porosité entre 30 et 60 cm de profondeur, qui distingue ce terrain des deux précédents, introduit une irrégularité dans les variations verticales et accroît un peu les possibilités de stockage d'eau à ce niveau.

L'aération est faible en saison des pluies, inférieure à la macroporosité apparaissant sur les diagrammes puisque celle-ci est occupée périodiquement par de l'eau libre (sauf en NEY-2 sous forêt ?). Cette aération est encore plus réduite après défrichement, l'horizon humifère poreux étant alors enlevé ou tassé. Dans ces sols argileux, la teneur totale en eau est par conséquent élevée, mais une partie importante de celle-ci est retenue fortement (pF 4,2). A la fin de la saison sèche 77, l'eau utile n'était pas épuisée sous forêt en NEY-2, mais elle l'était presque sous la défriche. Il pourrait en être de même sous savane si l'on en juge par le

TERRAIN

COMPOSITION VOLUMIQUE

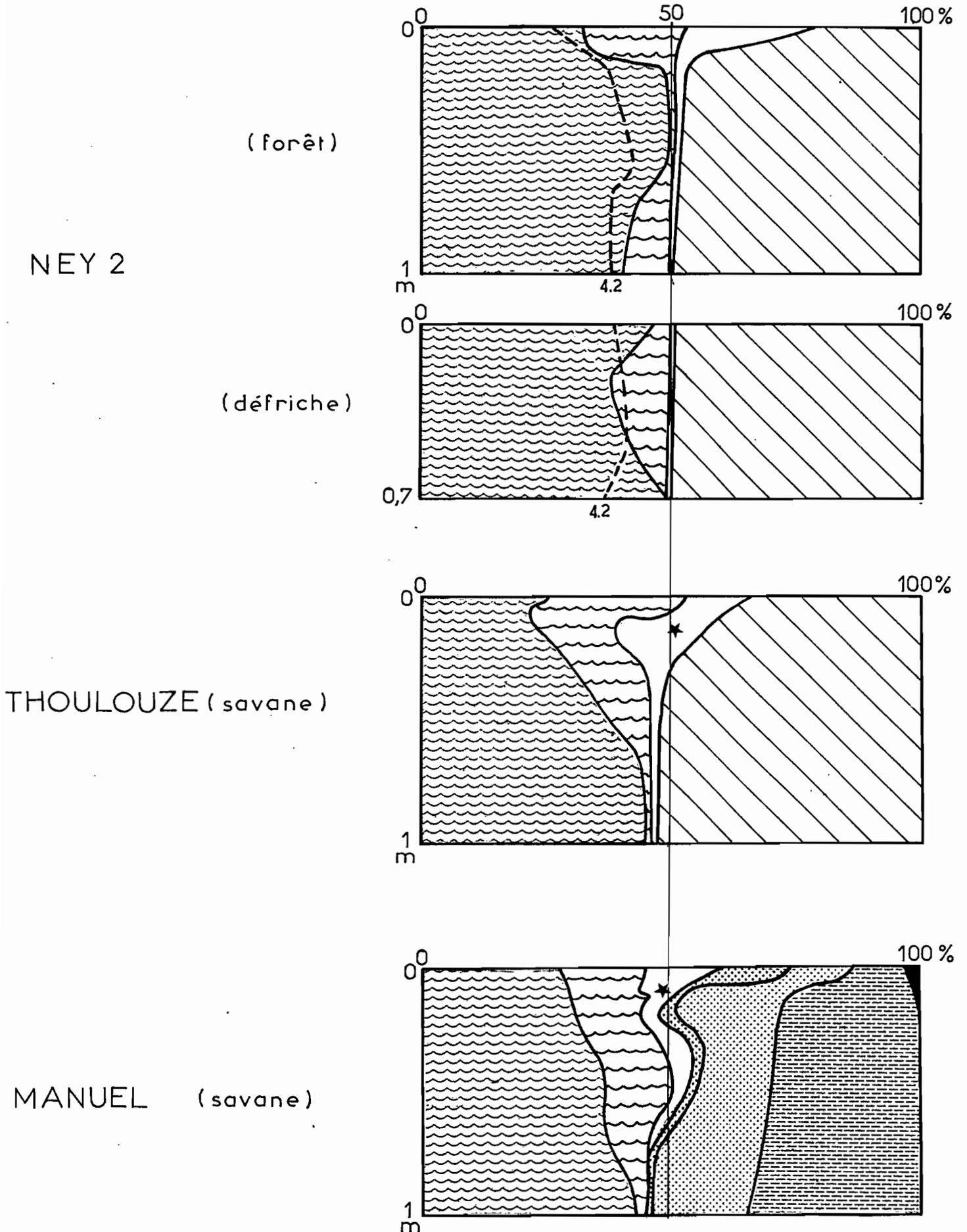
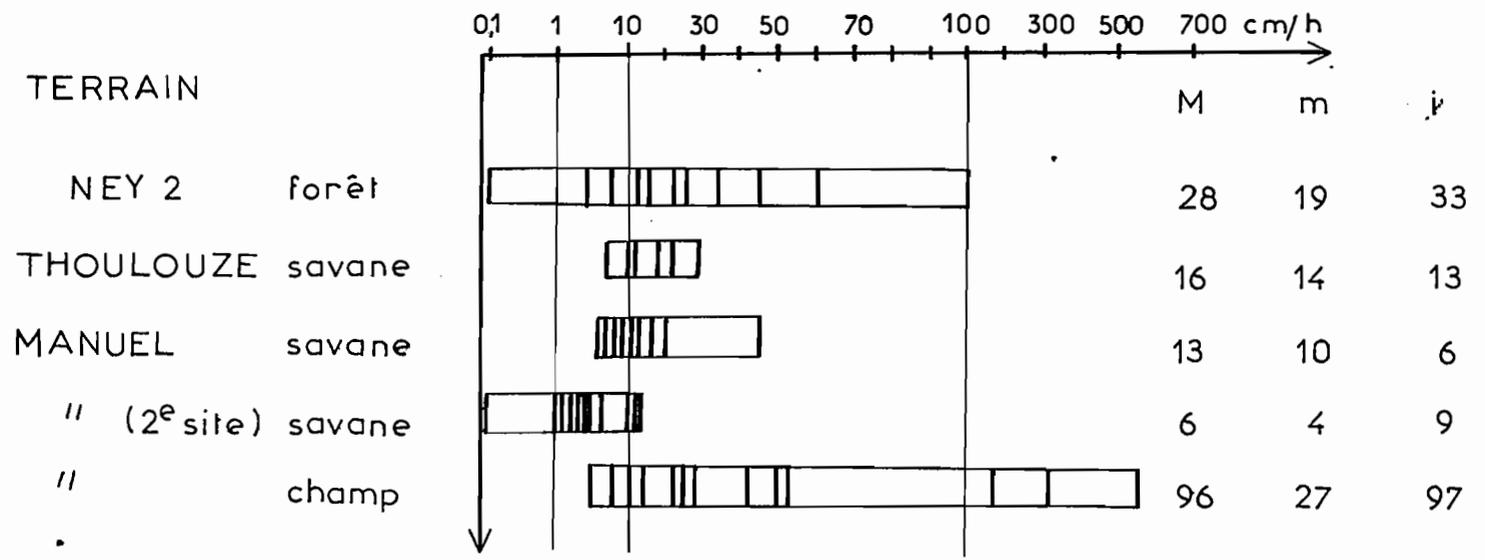
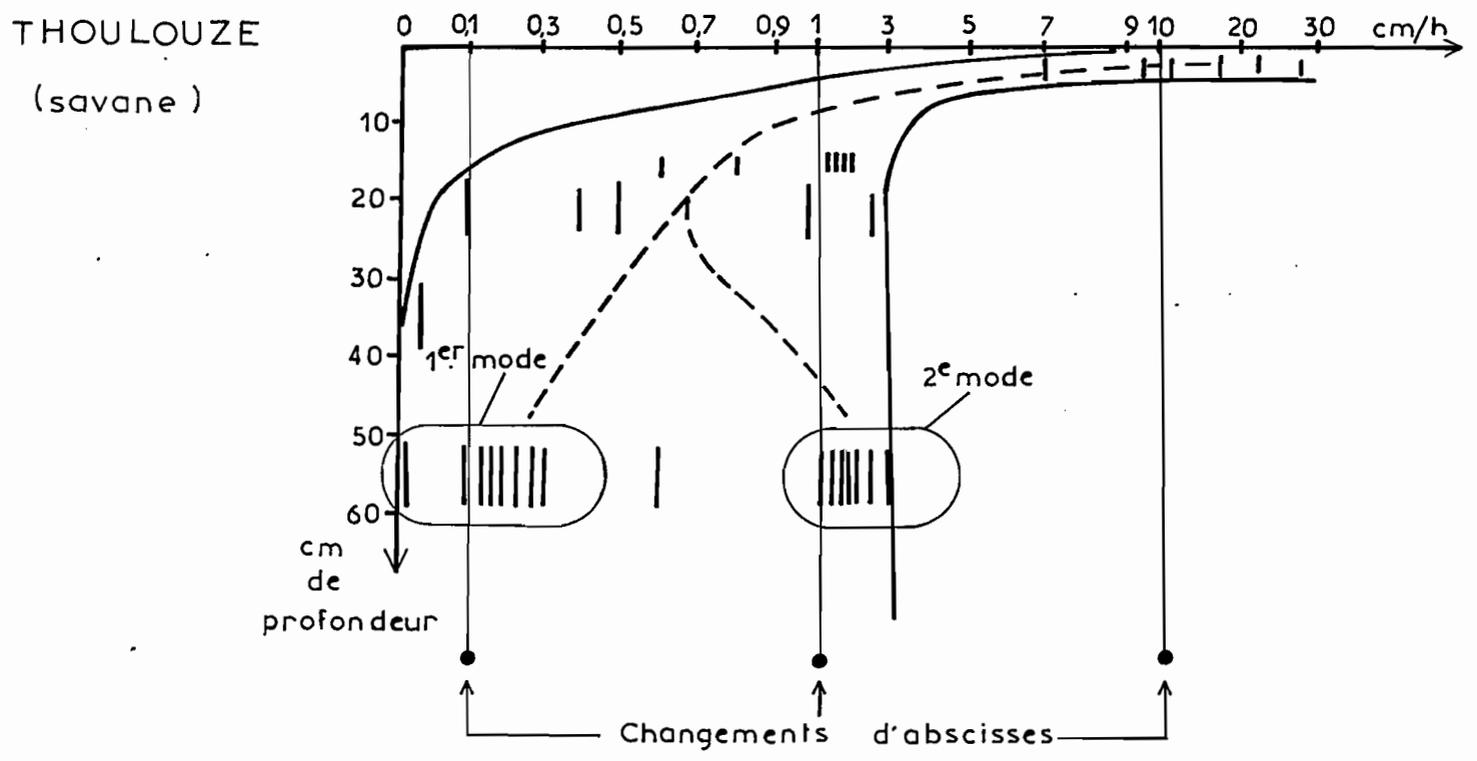


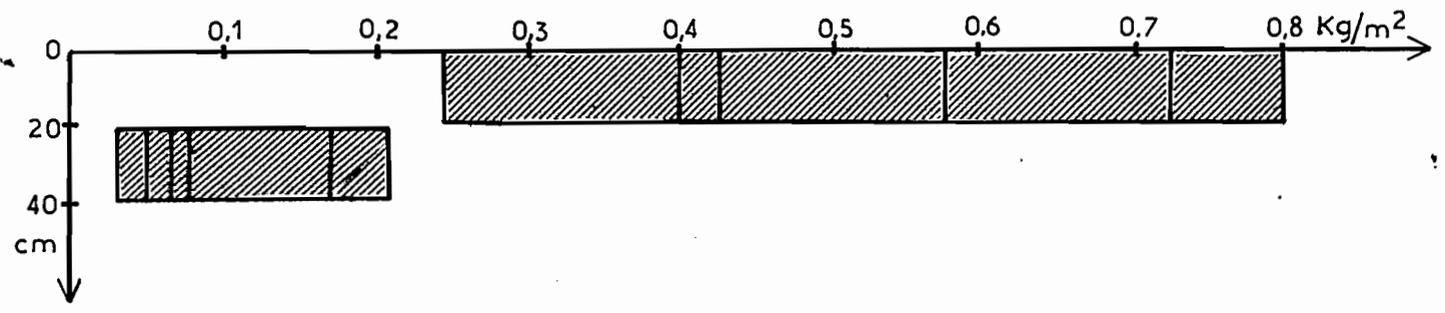
Figure P12 : Terrains sur argile carpina (plaine cotière ancienne),
Diagrammes de composition volumique (voir légende fig. P1,
▨ = matière solide indifférenciée.



Perméabilités de surface : Résultats des tests en cm/h (voir page).



Distribution des résultats de perméabilité type vergière.



Distribution des racines à la savane Manuel (6 mesures par tranche)

FigureP13: Différents résultats obtenus dans les sols dérivés de l'argile COROPINA (plaine cotière ancienne).

flétrissement de la végétation herbacée (les racines des arbustes atteignent probablement la nappe profonde).

En conclusion ces sols sont, en saison des pluies, mal aérés dès 20 ou 30 cm de profondeur -ou du moins présentent de fréquentes périodes d'engorgement, au rythme des averses. En saison sèche ils sont très appauvris en eau utile, sauf sous forêt. L'amélioration de ce mauvais équilibre air-eau nécessite donc un contrôle du plan d'eau (fossés) ou la mise hors d'eau des cultures par la confection de hauts billons ou de planches bombées (arrosage éventuellement nécessaire en saison sèche).

TABLEAU P.8

Composition volumique, exprimée en mm d'épaisseur équivalente, pour la tranche 0 - 1 m des terrains sur argile COROPINA.

Terrain	NEY-2		THOULOUZE	MANUEL
	Forêt	Sol nu	Savane	Savane
Eau liée	190 →	200	?	?
Eau utile en SS	31 →	14	?	?
Eau en SS	221 →	214	178	177
Eau en SH	251 →	246	232	229
Air	19 →	9	30	16
Matière solide	230 →	246	248	255*

* dont 150 mm d'argile, 90 de limon, 15 de sable.

7. 3. Perméabilité de surface (figure P.13 en haut) :

- En NEY-2 sous forêt, le débit d'infiltration obtenu par la méthode décrite en 1.2.2. est assez faible, 28 cm/h, en comparaison des Terres Hautes (cf. tableau P. 1). Par exemple dans les sols voisins sur schiste les débits sont de 1 000 à 4 000 cm/h !
- Au terrain THOULOUZE sous savane, le débit est plus faible.
- Au terrain MANUEL, également sous savane, les résultats diffèrent du simple au double

dans les deux emplacements de mesure. Mais tous ces résultats obtenus sous savane restent du même ordre de grandeur, 10 cm/h.

On remarque que ces perméabilités de surface décroissent dans l'ordre NEY-2 forêt, THOULOUZE, MANUEL, comme le fait la porosité totale et la macroporosité de l'horizon supérieur.

Dans le champ de MANUEL, le débit d'infiltration est irrégulier mais en moyenne dix fois plus élevé. Cette amélioration est due à l'évidence au modelé du champ et aux pratiques culturales ameublissantes.

7. 4. Perméabilité dans le sol :

La perméabilité, qui était relativement élevée en surface, même sous savane, diminue fortement dès 15 cm de profondeur, quoiqu'elle présente toujours une assez forte variabilité (0,01 à 18 cm/h) en relation avec la répartition irrégulière des pores tubulaires conducteurs de l'eau. C'est ainsi qu'à la savane THOULOUZE il apparaît, pour la tranche 50 - 60 cm de profondeur, deux "modes" (groupements) dans la distribution de résultats de perméabilité obtenus par une méthode de type "VERGIERE"^{*} (figure P.13 au cente). Le premier mode est vers 0,2 cm/h. Le second, vers 2 cm/h, correspond aux échantillons qui englobent des pores tubulaires assez grossiers, pores qui font défaut dans les échantillons du premier mode. Les valeurs minimales obtenues (0,01 cm/h) pourraient approcher la perméabilité originelle du dépôt argileux COROPINA (peu ou pas de pores biologiques), les autres correspondre à des emplacements où le sol est parcouru de pores biologiques, créés par différents agents de "porogénèse" (expliquant la multiplicité des modes).

Il faut rappeler que ces perméabilités, dont les moyennes sont relativement élevées, ont été obtenues sur le sol intact, non piétiné, et dans des conditions opératoires (pas d'anneau de garde, pores ouverts artificiellement à la base d'échantillons hauts de 15 cm) qui en font des valeurs maximales. In situ, c'est la nappe d'eau remplissant ces pores tubulaires et soutenue par la nappe des sables sous-jacents qui règle l'infiltration des eaux de pluie (et des eaux d'irrigation, cas du

* Mesures sur des échantillons cubiques de 16 cm de côté, extraits du sol et soumis à une charge d'eau constante. Dans ces conditions opératoires, le résultat est indépendant de la nappe existant dans le sol en place et il caractérise uniquement le

riz). Les perméabilités ci-dessus n'interviendront que dans le cas où cette nappe sera abaissée (en saison sèche ou s'il existe des drains profonds). De plus, lors d'une mise en valeur, les pores tubulaires utilisés pour le battement de la nappe pourront être obturés par les pratiques culturales. On a constaté par exemple que le piétinement réduisait la perméabilité jusqu'au voisinage de 0,01 cm/h. Mais au bout de quelques heures, si l'eau est en charge, on constate une réouverture de pores grossiers.

En NEY-2, dans le sol nu (défriche et planage) cette obturation des pores était telle que toutes les communications entre les eaux pluviales de surface et la nappe profonde étaient interrompues : aucune augmentation d'humidité n'a été enregistrée lors des expériences de filtration (l'eau infiltrée -soit une charge de 15 cm épuisée en 30'- s'est vraisemblablement épanchée latéralement).

En conclusion, ces sols dérivés d'argile COROPINA ont une perméabilité verticale relativement élevée et c'est la nappe qui règle et ralentit la percolation des eaux de pluie, au rythme des averses. Les pratiques culturales peuvent certes réduire cette perméabilité naturelle mais leur effet pourrait être de courte durée, du fait de la stabilité à l'eau de cette argile acide (réouverture des pores).

7. 5. Distribution des racines (savane MANUEL) :

Les racines contenues dans les échantillons ayant servi aux mesures de perméabilité "VERGIERE" (volumes de 3 à 4 dm³) à la savane MANUEL, ont été extraites par lavage sur un tamis et pesées après séchage à 105°. Les résultats obtenus, rapportés à des tranches de sol d'épaisseur 20 cm et exprimés en kg/m² apparaissent en bas de la figure P. 13; on constate que c'est l'échantillon qui a la plus forte perméabilité verticale (65 cm/h) qui contient le plus de racines (0,8 kg/m²) mais la relation entre perméabilité et abondance de racines n'est pas exactement vérifiée pour les autres échantillons.

Pour la tranche 0 - 40 cm, le système racinaire de savane représente approximativement 0,6 kg/m² de matière sèche. Si l'on tient compte des rhizomes (non comptabilisés dans ces résultats, environ 0,3 kg/m² d'après une mesure unique) et des racines situées au-dessous de 40 cm de profondeur, on peut estimer à 1 kg/m² le poids sec du système racinaire du seul tapis herbacé (pas de mesures sur le système racinaire des arbustes). Ce poids est au moins trois fois plus élevé que celui obtenu sous le tapis herbacé de IFAC-v (repousses spontanées après déforestation - voir chapitre 5.2. et figure P. 9) au bout de 7 ans de repousse spontanée sur défriche d'un sol à dynamique superficielle et latérale.

Conclusion. La tranche 0 - 20 cm, qui n'est pas constamment saturée d'eau en période pluvieuse, contient au moins les 3/4 du total racinaire (et plus encore si l'on tient compte des rhizomes). Ainsi, dans ces sols à mauvais équilibre air-eau la répartition verticale des racines pourrait être assez comparable à celle des sols forestiers à dynamique superficielle et latérale (chapitre 5), quoique à bon drainage externe. Toutefois sous savane le poids du système racinaire y est 3 à 5 fois moindre. ^{que sous forêt} Après drainage et aération du sol cette répartition verticale pourrait être "améliorée" (plus profonde et plus progressive), hypothèse qui reste à vérifier.

7. 6. Conclusion :

En passant de la forêt (NEY-2) à la savane (THOULOZE, MANUEL) ou à la défri-che (NEY-2), les sols dérivés de l'argile COROPINA perdent en porosité totale, en aération (saison des pluies), en eau utile (saison sèche). Leur utilisation en culture sèche nécessite donc d'améliorer l'équilibre air-eau (drains, modelés en billons, aspersion). Ils conviennent au riz irrigué (essais IRAT et SORIG) mais il ne faut pas trop abaisser le plan d'eau pour que la perméabilité reste faible : en effet celle-ci est difficile à réduire de façon durable par les pratiques culturales.

La perméabilité des sols sur argile COROPINA présente des variations verticales moins fortes que celles des sols forestiers des Terres Hautes, car ~~les~~ perméabilités de surface sont nettement moindres. L'infiltration des eaux pluviales est commandée beaucoup plus par le battement de la nappe que par ces perméabilités "intrinsèques" du sol.

L'enracinement est à première vue du type de celui des sols forestiers à dynamique superficielle et latérale : concentration superficielle dans la tranche 0 - 15 cm qui n'est pas longuement engorgée. L'obtention d'un enracinement plus profond passe vraisemblablement par une amélioration de l'équilibre air-eau. C'est une nécessité pour les cultures qui devront supporter la longue saison sèche.

Les essais agronomiques (SORIG, rapport annuel 1977) montrent que ces savanes argileuses peuvent convenir à la culture du riz irrigué.

COMPOSITION VOLUMIQUE :

- Eau retenue au pF 4,2 (non extractible par les plantes)
- Eau utile en fin de saison sèche
- Eau utile en saison des pluies
- Porosité saisonnièrement disputée entre l'eau et l'air
- Air du sol ressuyé de saison des pluies
- * Endroit où ont été observées nappe perchée ou poches d'eau
- Refus de porosité négligée (gravier quartz, minéraux des lithoreliques)
- Nodules avec leur porosité
- Sables grossiers
- Sables fins
- Limons
- Argile
- Matière organique

COURBES DE RESSUYAGE (teneurs pondérales)

t = Courbe de teneur en eau d'un emplacement témoin (abrité de la pluie et des apports par ruissellement).

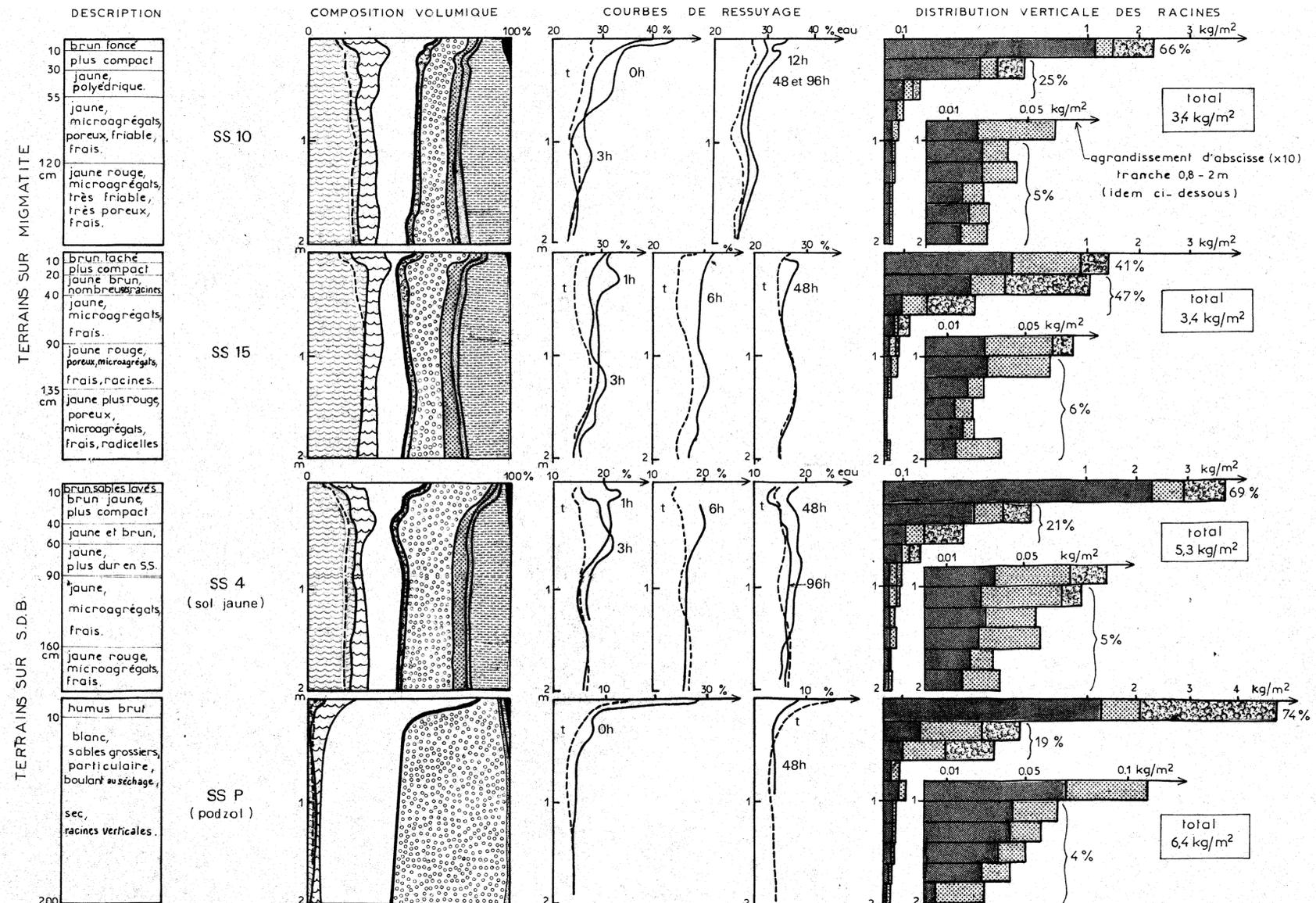
0 h, 1 h, ... 96 h, Courbe de teneur en eau du sol au temps 0, 1... 96 heures après infiltration de l'eau déposée en surface.

DISTRIBUTION VERTICALE DES RACINES

- Fines racines ($\phi < 2$ mm)
- Racines moyennes ($2 < \phi < 10$ mm)
- Grosses racines ($10 < \phi < 40$ mm)

Attention aux changements d'échelle en abscisse, nécessités par une décroissance très rapide de l'enracinement.

SOLS A DYNAMIQUE DE L'EAU VERTICALE ET PROFONDE



SOLS A DYNAMIQUE DE L'EAU SUPERFICIELLE ET LATÉRALE

