

## B) PRÉSENTATION DES SÉQUENCES ET DÉPOUILLEMENT PRÉLIMINAIRE.

Avant d'appliquer le modèle de mélange aux formations limoneuses, il convient :  
- d'une part de vérifier, pour celles-ci, l'hypothèse de mélange, c'est-à-dire mettre en évidence l'existence de relations linéaires entre l'ensemble des caractéristiques.

- d'autre part de contrôler que les produits des altérations en place (arène, altérite) ne peuvent s'interpréter comme le mélange de deux matériaux ; c'est-à-dire vérifier l'absence de relations linéaires entre l'ensemble des caractéristiques de ces matériaux.

Ces deux points sont l'objet du "dépouillement préliminaire" des données des séquences étudiées. Toutefois, avant de l'aborder, les conditions d'échantillonnages dans les formations limoneuses doivent être précisées ; celles-ci déterminent, en effet, le choix des séquences. D'autre part, afin de fixer les limites du modèle proposé, il est souhaitable de rappeler quelques généralités sur l'altération.

### I - CONDITIONS PRELIMINAIRES ET CHOIX DES SEQUENCES.

#### I - 1. Les formations limoneuses : conditions d'échantillonnage

La vérification de l'hypothèse de mélange dans les formations limoneuses suppose qu'un certain nombre de conditions d'échantillonnage soit réalisé :

a) un premier ensemble de conditions doit être satisfait pour tester, sur chaque substrat, l'hypothèse de mélange ; notamment il est souhaitable :

1° d'analyser une suite continue allant du cas extrême où le matériel est entièrement autochtone à celui où il est totalement allochtone. Dans la pratique la toposéquence semble l'unité de prélèvements la plus satisfaisante.

2° Que le matériel issu du substrat soit homogène. Cette contrainte exclut la quasi-totalité de la zone du Primaire antécarbonifère où le substrat est hétérogène à l'échelle du versant. Dans cette zone le mélange présumé s'effectue entre un matériel d'apport et plusieurs matériaux issus des différentes roches (quartzites, schistes...).

La séquence idéale qui se dégage de ces conditions se situe sur granite.

b) un second type d'échantillonnage doit être réalisé afin de vérifier l'homogénéité de l'apport à l'échelle de la région : il faut étudier les formations superficielles en diverses stations situées sur les différents substrats. Cette condition conduit à retenir des séquences qui ne satisfont que partiellement les premières conditions citées.

Trois séquences ont été choisies : Le Sourn, Sainte-Tréphine et Saint-Elouan. Elles se développent respectivement sur granite, quartzites ordoviciens et schistes briovériens et recouvrent donc les principaux types de substrats. De plus, elles présentent des types de pentes différentes :

- une pente régulière, recoupant le flanc d'une butte aux formes molles, sur granite (direction S.O - N.E., pendage S.O)
- la succession d'une pente forte et d'une pente moyenne sur quartzites (direction N - S, pendage S.)
- une pente assez douce suivie d'une pente courte, légèrement convexe sur schistes (direction E - O, pendage 0).

Une séquence située sur substrat basique n'a pu être étudiée parce que ces roches se présentent sous forme de filons étroits.

Compte tenu des conditions énoncées, la séquence située sur granite sert de référence.

### I - 2. Les altérations en place et le mélange de matériaux

Vis-à-vis du problème "mélange à 2 constituants" la question, pour les altérations en place, peut être posée de la façon suivante :

- Existe-t-il, d'un point de vue théorique, des relations linéaires entre l'ensemble des données chimiques et granulométriques dans les altérations ?

- Si oui : une altération en place peut être confondue avec un mélange à deux constituants, et, l'existence d'un mélange ne peut pas être mis en évidence par la méthode proposée.

- Si non : n'est-il pas possible, néanmoins, d'approcher les variations observées par des lois linéaires ? Une réponse négative à cette nouvelle question signifie que les produits de l'altération ne peuvent être confondus avec ceux d'un mélange à 2 constituants.

Une revue exhaustive des travaux sur l'altération serait nécessaire pour y répondre. Cette revue sort du cadre de ce mémoire et, je me bornerais à quelques remarques. Comme une séquence située sur granite va servir de référence à l'étude du mélange dans les formations limoneuses j'insisterai, plus particulièrement, sur les travaux portant sur les roches granitiques.

Sur ce type de substrat, il semble - si l'on se réfère à quelques unes des principales publications (DEJOU, 1958 ; COLLIER, 1961 ; MILLOT, 1964 ; PEDRO, 1964 ; TARDY, 1969 ; SEDDOH, 1973) - qu'il n'existe pas de relations linéaires entre l'ensemble des données chimiques et granulométriques ; néanmoins certains constituants chimiques peuvent varier linéairement les uns par rapport aux autres (ex.  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Pour vérifier, dans la zone d'étude, cette absence de relations linéaires entre l'ensemble des variables j'ai retenu les données chimiques et granulométriques correspondant aux arènes du Sourn et les données granulométriques des altérites schisteuses à Saint-Elouan.

**II - DESCRIPTION DES SEQUENCES ET DEPOUILLEMENT PRELIMINAIRE.**

Comme les trois séquences retenues pour l'analyse statistique ont déjà été présentées dans la seconde partie de ce mémoire, je vais uniquement insister sur les aspects qu'il est indispensable de connaître pour comprendre le "dépouillement préliminaire".

II - 1. La séquence du Sourm

II - 1. 1. Présentation

Les grandes lignes de cette séquence ont été présentées dans la seconde partie de ce mémoire (p.31). Il faut noter que :

- 1 - Dans la partie Sud de cette carrière une petite dépression, orientée N 170°, permet d'observer deux coupes présentant une succession de lentilles sablo-graveleuses et limoneuses qui font penser à un dépôt alluvial ; un ruisseau coule d'ailleurs dans le prolongement de cette dépression de l'autre côté de la route bordant la carrière.
- 2 - Les observations que j'ai faites, par ailleurs, sur les fractions sableuses d'un profil sur granite à la Croix-du-Roz, montrant que le matériel provenant du substrat et inclus au sol est légèrement plus altéré que l'arène : de ce point de vue il y a donc une "coupure" entre l'arène et le sol.

Je m'attacherai, en plus des problèmes de mélange, aux deux questions suivantes :

- 1 - Existe-t-il une "coupure" entre l'arène et le sol ? qu'elle en est son importance ?

Dans l'affirmative, les points représentant les échantillons d'arène ne doivent pas être dans le prolongement du nuage de points correspondant aux échantillons de sols.

- 2 - Les deux coupes du talweg s'individualisent-elles, du point de vue granulométrique, par rapport aux matériaux constitutifs des sols ?

L'identification de ces trois types de matériaux :

- sols
- arènes
- matériaux du talweg

correspond au dépouillement préliminaire. Seuls les premiers seront ensuite étudiés en détail.

Une première série de profils avait été prélevée par CURMI (profils 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13) à raison, en général, d'un échantillon par horizon. J'ai complété cette série par un échantillonnage systématique, tous les 10 à 20 centimètres, de profils régulièrement répartis le long de la pente (profils 1, 5, 9, 10, 11, 14, 15).

Leur localisation est représentée par la figure 6 p.32 et le tableau VI.

II - 1. 2. Dépouillement préliminaire

II - 1. 2. 1. Les données granulométriques

Les échantillons prélevés à la limite sol-arène ont été exclus du calcul des corrélations. Ainsi, 59 prélèvements sont intervenus dans le calcul qui concerne les sols

Profil	N° Ech.	Prof. (cm.)	Horizon	Profil	N° Ech.	Prof. (cm.)	Horizon
1	121	0-10	Ap	10		0-15	Talweg
	122	10-25	"			25-45	"
	123	25-40	ALE			80-100	"
	124	40-60	"			100-120	C
	125	60-80	XT	11	301	40-60	ALE-E
	126	80-100	"		302	60-80	XT(G)
	127	100-120	"		303	80-90	"
	128	120-133	Cailloux		304	90-100	"
	129	133-138	XT		305	100-110	"
	130	140-160	C		306	110-120	"
2	1S1	8-16	Ap		307	120-130	C
	1S2	24-34	ALE +MO		308	130-140	"
	1S3	40-50	ALE	12	31S1	38-48	E-ALE
	1S4	82- 92	"		31S2	59- 69	"
3	1S7	24-34	ALE		31S3	87-97	XTG
	1S8	40-48	XT		31S4	102-117	"
4	1S9	28-35			31S5	170-180	C
	1S10	40-48		13	32S1	38-48	E-ALE
5	201	0-20	Ap		32S2	88-98	XTG
	202	30-45	ALE		32S3	113-133	"
	203	45-55	XT		32S4	133-153	"
	204	55-65	"		32S5	188-203	C
	205	65-85	C	14	331	40-50	E-ALE
6	21S1	5-15	Ap		332	50-60	"
	21S2	36-45	ALE		333	60-70	"
	21S3	35-38	"		334	70-80	"
	21S4	48-56	XT		335	80-90	XT
	21S5	65-73	"		336	90-110	"
7	22S1	5-15	Ap		337	110-120	"
	22S2	36-45	ALE		338	120-130	"
	22S3	52-62	XT		339	130-150	"
	22S4	65-75	"		3310	150-160	"
	22S5	86-96	"		3311	160-170	"
	22S6	100-120	C		3312	170-190	C
8	23S1	35-45	ALE	15		20-30	Ap
	23S2	50-60	XT			30-40	Talweg
	23S3	70-80	"			40-50	
	23S4	90-100	"			50-60	
	23S5	100-120	C			60-70	
9	241	0-20	Ap			70-80	
	242	20-40	ALE			80-90	
	243	40-50	"			90-100	
	244	50-65	"			100-110	
	245	65-85	XT			110-120	
	246	85-95	C			120-130	
						130-140	
					140-150		
					150-150	C	

TABLEAU VI: LE SOURN: PRÉLÈVEMENTS:PROFONDEUR ET IDENTIFICATION

et 14 dans celui concernant les arènes.

a) *Un exemple de calcul*

Considérons l'exemple des limons fins par rapport à  $S_4$  (planche IV A). Dans ce diagramme chaque prélèvement est représenté par un point dont la position est déterminée par ses teneurs en  $S_4$  et en limons fins. A l'ensemble des échantillons correspond donc un nuage de points. Dans l'exemple cité il est très allongé, ce qui indique une bonne relation linéaire entre les deux variables. Le calcul du coefficient de corrélation ( $r$ ) permet de la confirmer. En effet, dans cet exemple qui porte sur 59 échantillons (soit 57 degrés de liberté)  $r$  vaut  $-0,76$ . Or, pour 50 degrés de liberté un coefficient égal ou supérieur, en valeur absolue, à  $0,35$  peut être considéré comme significatif aux erreurs de première espèce de  $0,01$  près.

De plus afin de mieux illustrer cette relation linéaire une droite a été ajustée selon la méthode des moindres carrés.

La distance "d" (planche IV ) représente pour un échantillon l'écart entre sa teneur réelle en limons fins et sa teneur estimée ; cet écart a été minimisé lors du calcul de la droite de régression. Pour l'exemple choisi l'équation de la droite est :

$$L. F. = - 1,02 S_4 + 34,7$$

b) *Les données des sols*

Les représentations graphiques de la planche IV mettent en évidence l'existence de corrélations linéaires entre les diverses variables des sols. Celles-ci sont confirmées par le calcul des coefficients de corrélation. En effet, pour 50 degrés de liberté un coefficient de corrélation linéaire égal ou supérieur en valeur absolue à  $0,35$  peut être considéré comme significatif aux erreurs de première espèce de  $0,01$  près. Or, les calculs portent sur 59 individus, soit 57 degrés de liberté et les coefficients valent respectivement :

$L. F. - S_4 : - 0,76$	$S_2 - S_4 : 0,93$
$L. G. - S_4 : - 0,92$	$S_3 - S_4 : 0,95$
$S_1 - S_4 : 0,76$	$S_4 - S_5 : 0,87$

Les équations des droites de régression correspondantes sont les suivantes :

$L. F. = - 1,02 S_4 + 34,7$	$S_2 = 0,56 S_4 - 0,3$
$L. G. = - 2,92 S_4 + 49,3$	$S_3 = 1,13 S_4 - 0,7$
$S_1 = 0,30 S_4 + 3,5$	$S_5 = 2,02 S_4 - 0,6$

On peut noter que l'ensemble des sables varie proportionnellement alors que les limons varient inversement proportionnellement à  $S_4$ .

c) *Les données des arènes*

Les représentations graphiques (planche IV bis) illustrent clairement l'absence totale de relations linéaires entre les diverses caractéristiques granulométriques des arènes.

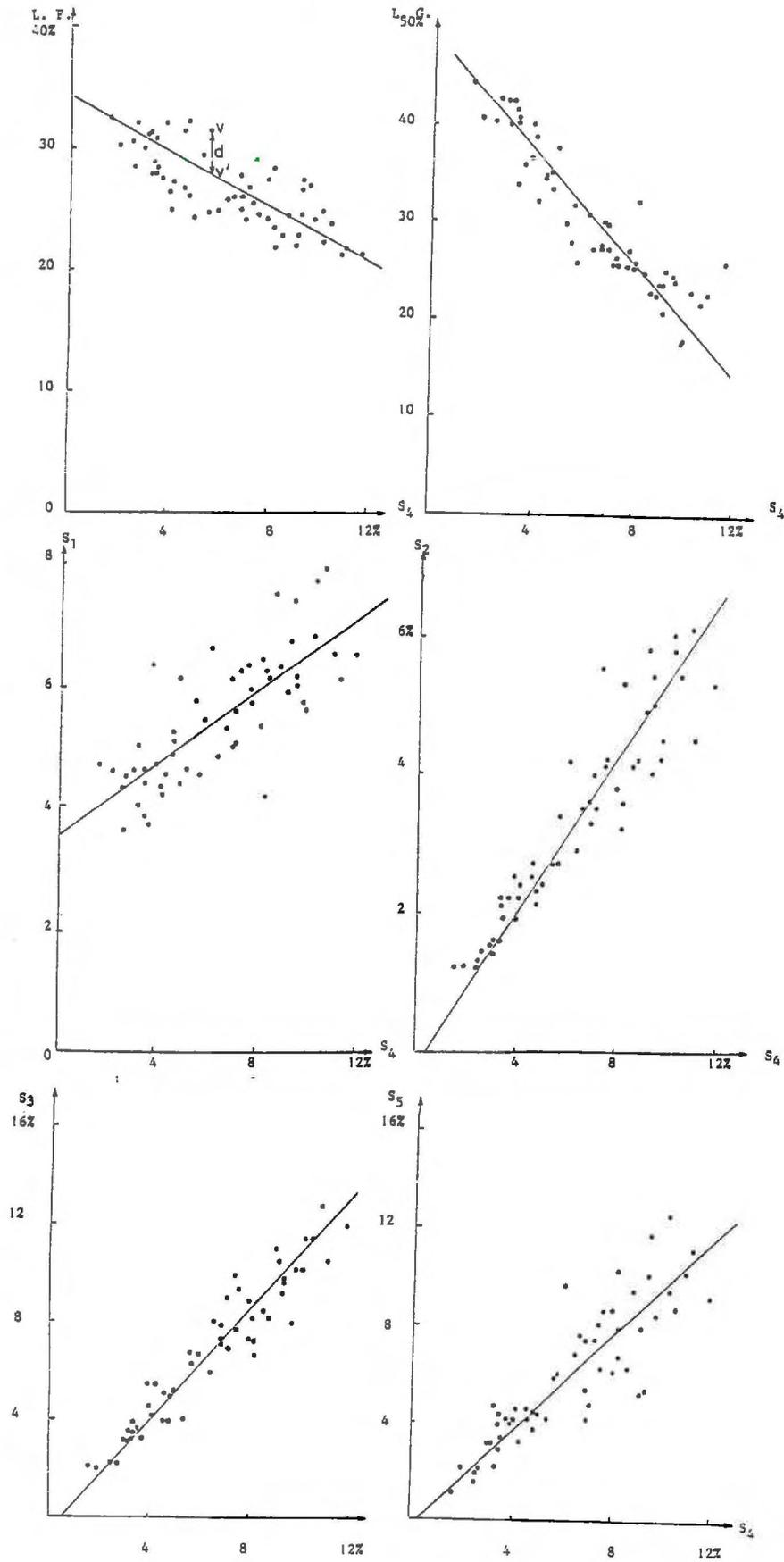


PLANCHE IV : LE SOURN : RELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DANS LES SOLS.

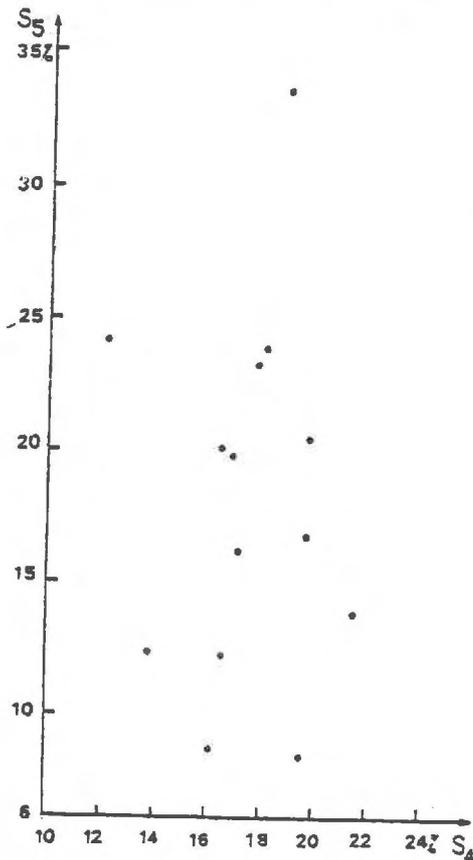
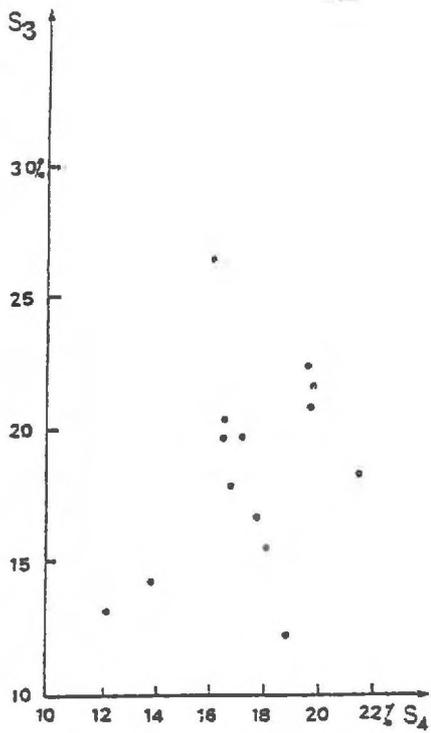
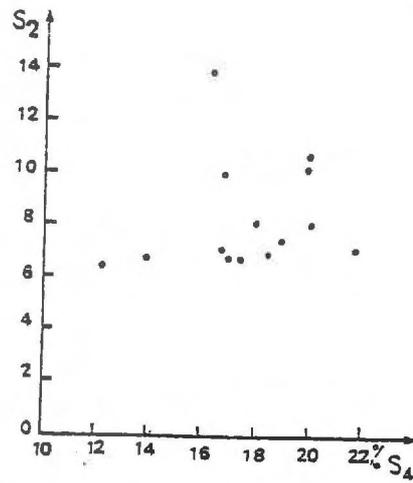
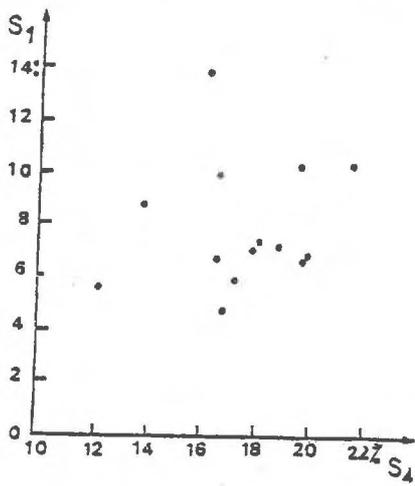
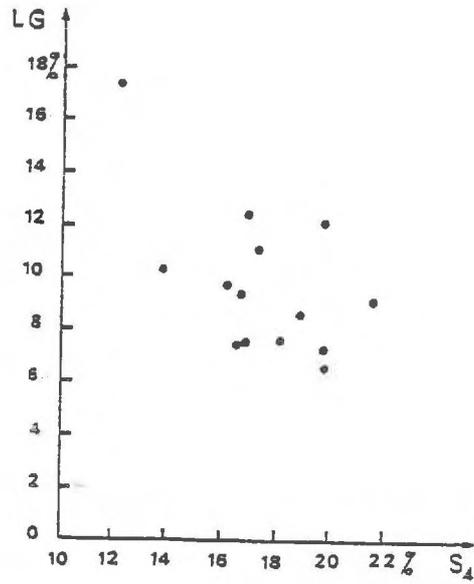
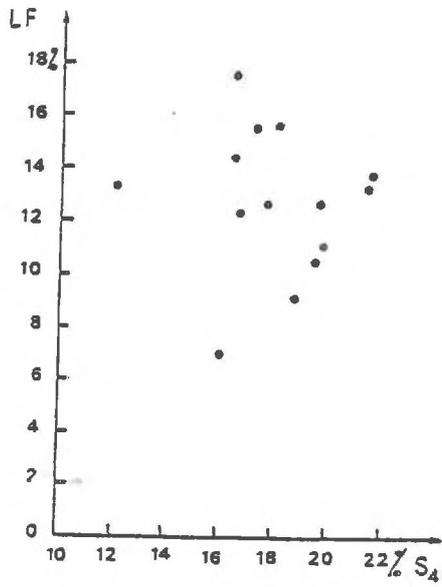


PLANCHE JV BIS : LE SOURN : GRANULOMÉTRIE DES ARÈNES.

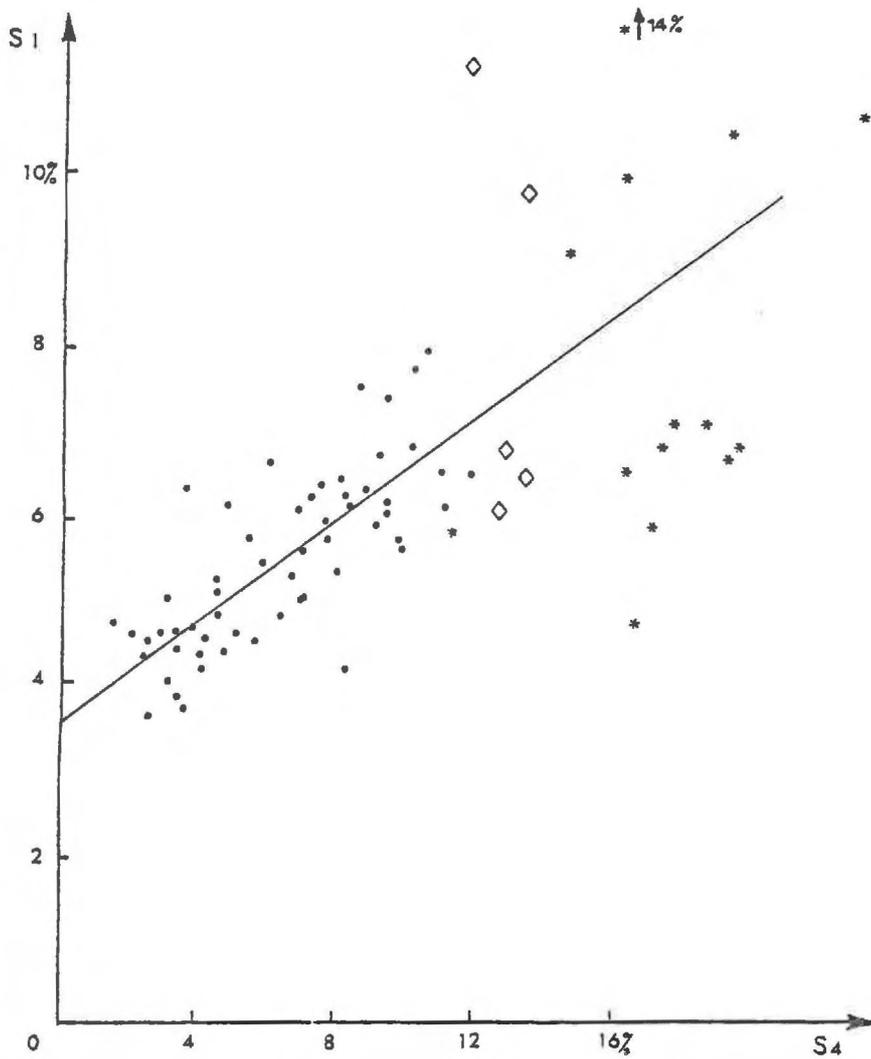
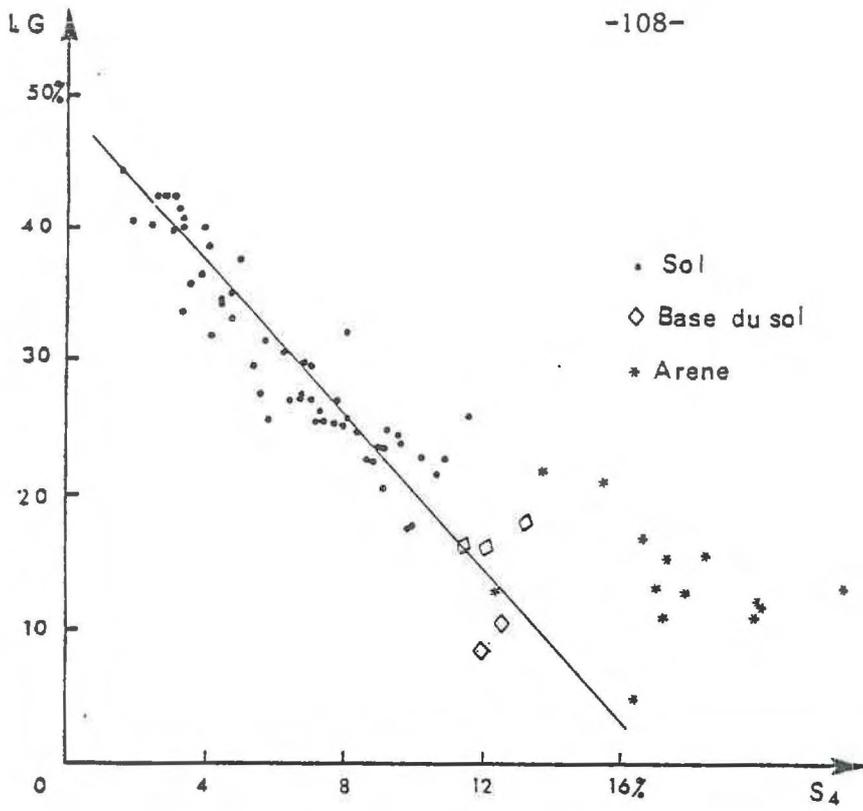


PLANCHE V : LE SOURN. 2 EXEMPLES ILLUSTRANT LES RELATIONS ENTRE LES GRANULOMETRIES DES SOLS ET CELLES DES ARENES.

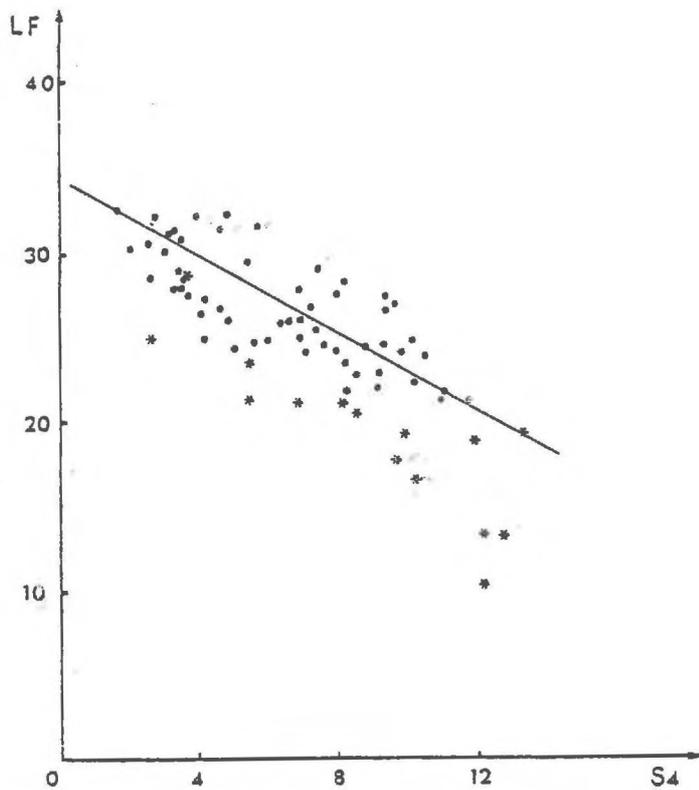
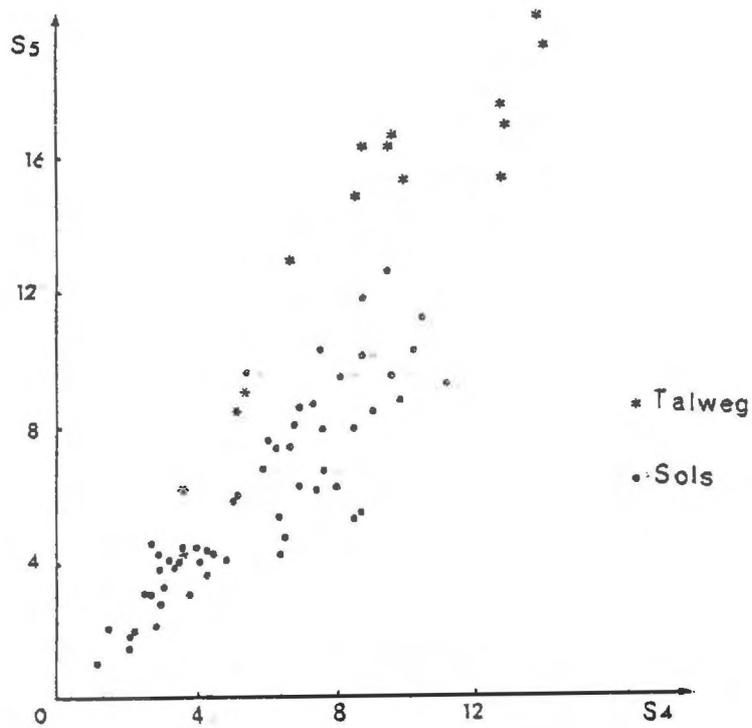


PLANCHE VI : LE SOURN : RELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DES SOLS ET DU TALWEG.

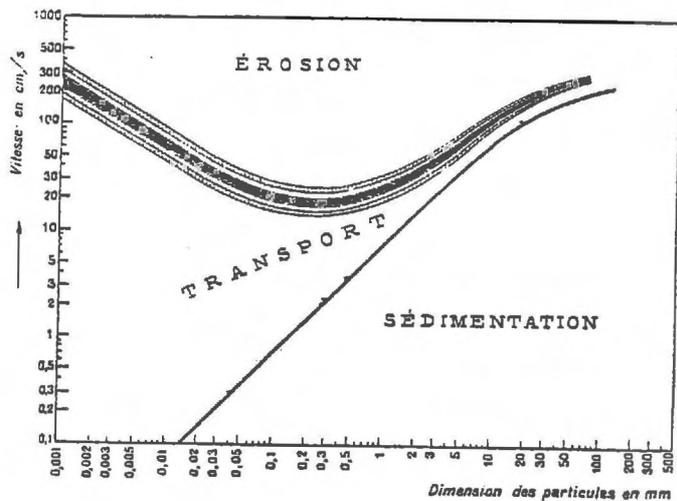


FIGURE 41 : DIAGRAMME DE HJULSTRÖM

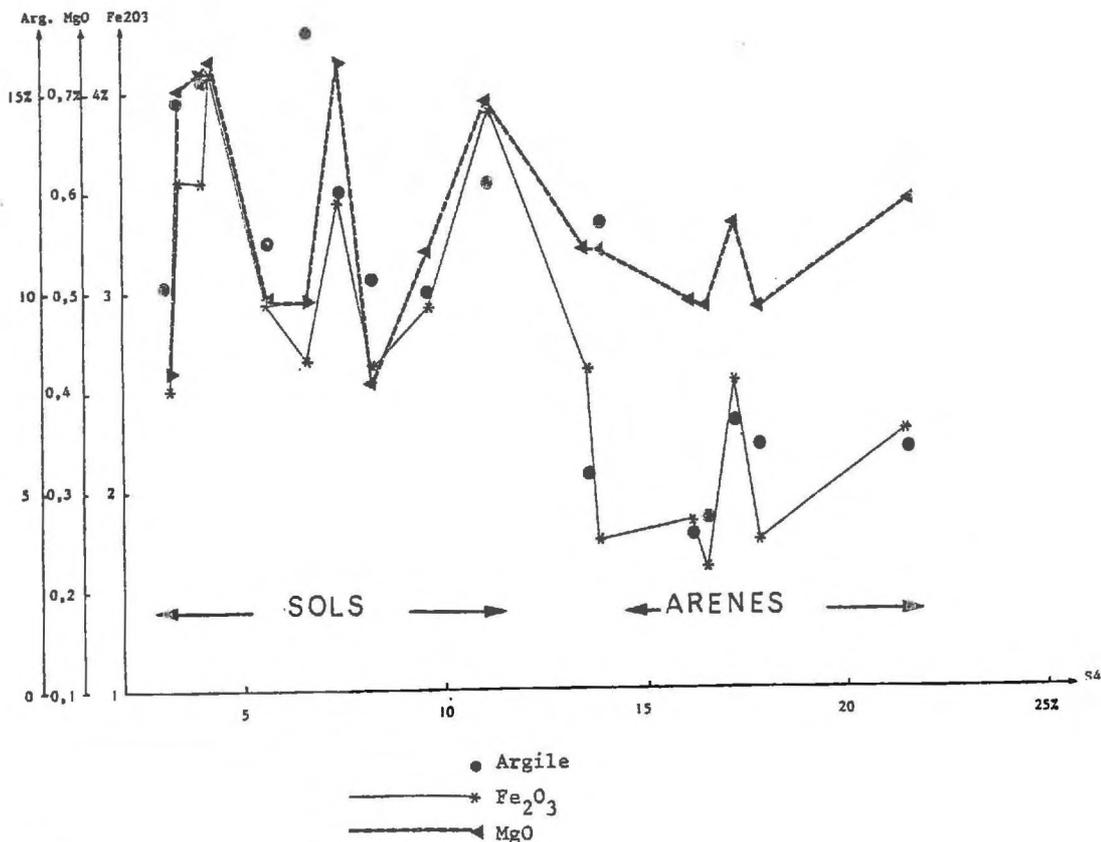


FIGURE 42 : -

LE SOURN : ÉVOLUTION COMPARÉE DE  $Fe_2O_3$ , de  $MgO$  ET DE L'ARGILE EN FONCTION DE  $S_4$ .

Ceci signifie qu'elles ne peuvent s'interpréter en terme de mélange de matériaux.

*d) Comparaison des diverses données*

1) Les points qui représentent les arènes n'apparaissent pas dans le prolongement du nuage correspondant aux sols (planche V). Ils présentent notamment pour une teneur donnée en  $S_4$ , un déficit en  $S_1$  et un excès de limon grossier. Les échantillons prélevés à la limite sol-arène ont un comportement "mixte".

2) Par rapport aux sols, les matériaux du talweg présentent, pour une même teneur en  $S_4$ , un déficit en limon fin et un excès de  $S_3$ . Deux échantillons du  $P_{15}$  font exception ; l'un a été prélevé dans l'horizon labouré l'autre à la base du profil sous un lit de cailloux, dans l'arène (planche VI).

*e) Conclusion*

L'analyse statistique des données granulométriques dissocie bien les trois populations précédemment définies : il faut souligner que :

- 1) Un ensemble de relations linéaires existent entre les diverses données des sols, celles-ci sont donc compatibles avec l'hypothèse d'un mélange à deux constituants.
- 2) Les arènes ne présentent pas un ensemble de relations linéaires et ne peuvent donc s'interpréter comme le mélange de deux matériaux.
- 3) Les caractéristiques granulométriques des échantillons du talweg s'intègrent parfaitement dans le schéma théorique de HJULTROM (fig. 41).

*II - 1. 2. 2. Les données chimiques*

Dans le cadre de ce mémoire l'analyse chimique de quelques échantillons seulement était possible. Pour l'étude statistique dix échantillons de sols ont été retenus. Ils ont été choisis en fonction de leur composition granulométrique afin d'avoir une dispersion homogène allant du moins limoneux au plus limoneux. A titre de comparaison, deux échantillons prélevés à la limite sol-arène et cinq dans l'arène proprement dite ont, de plus, été analysés.

*a) Les sols*

Les diagrammes de la planche VII et de la figure 42 montrent que , en fonction de leur liaison avec  $S_4$ , les oxydes peuvent être divisés en trois groupes d'importance inégale.

1) Le premier groupe est composé de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$  et  $P_2O_5$ . Ces oxydes, dont les teneurs varient sensiblement d'un échantillon à l'autre, se corrélaient bien à  $S_4$ . Les équations des droites de régression et les coefficients de corrélation sont consignés ci-après :

$$\begin{array}{ll} SiO_2 = - 1,88 S_4 + 81,66 & r = - 0,90 \\ Al_2O_3 = 1,03 S_4 + 7,55 & r = 0,94 \\ Na_2O = 0,07 S_4 + 0,91 & r = 0,89 \end{array}$$

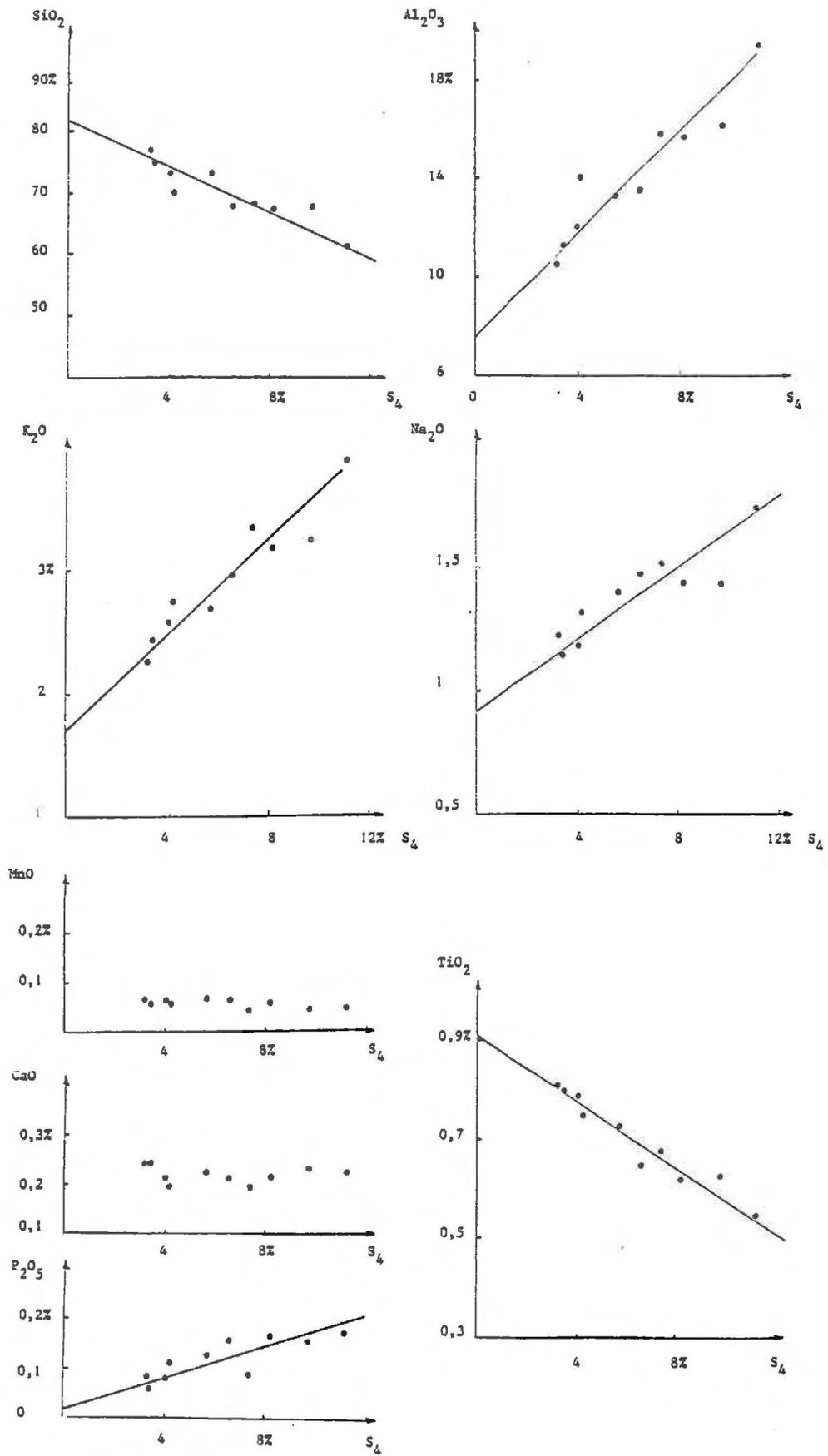


PLANCHE VII : LE SOURN : RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LA GRANULOMÉTRIE.

$$K_2O = 0,19 S_4 + 1,71 \quad r = -0,95$$

$$TiO_2 = -0,03 S_4 + 0,90 \quad r = -0,96$$

$$P_2O_5 = 0,013 S_4 + 0,03 \quad r = 0,83$$

Les coefficients de corrélation attestent de la validité de ces relations linéaires, puisque, pour 10 degrés de liberté et aux erreurs de première espèce de 0,01% près, un coefficient égal ou supérieur à 0,71 peut être considéré comme significatif.

2) Le second groupe est composé de  $Fe_2O_3$  et  $MgO$ . Ils sont en quantité différente suivant les échantillons et ne se corrélaient pas à  $S_4$ . Mais la figure 42 indique que tous deux varient parallèlement à l'argile. L'absence de liaisons linéaires avec  $S_4$  semble donc à rapprocher de la sensibilité de ces oxydes aux redistributions pédogénétiques. Le modèle de mélange va, d'ailleurs, permettre de préciser l'importance de ces redistributions.

3) Le troisième groupe est formée de deux éléments,  $CaO$  et  $MnO$ , qui apparaissent en proportions constantes dans les sols.

#### *b) Les arènes*

Dans les arènes les variations n'apparaissent pas linéaires ; la teneur en  $TiO_2$  est relativement constante. Pour cet élément les échantillons contenant entre 15 et 16% de sables de la classe 4 peuvent être rattachés à la fois aux sols et aux arènes (planche VIII B, figure C). Pour les autres éléments, en particulier pour  $SiO_2$  (planche VIII),

les points représentant les arènes n'appartiennent pas aux droites définies à partir des échantillons des sols. Le comportement de  $MgO$  et  $Fe_2O_3$  est assez semblable dans les sols et les arènes, mais le rapport entre ces deux éléments est compris entre 6-7 dans les sols et entre 4-5 dans les arènes (fig. 42).

#### *c) Les limites sols - arènes (planche VIII)*

Deux échantillons situés à la base des sols et renfermant respectivement 13,5 et 13,8% de  $S_4$  présentent des caractères intermédiaires entre ceux des deux groupes précédents.

Pour  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  et  $Al_2O_3$  ils semblent dans le prolongement des droites de régression (planche VIII).

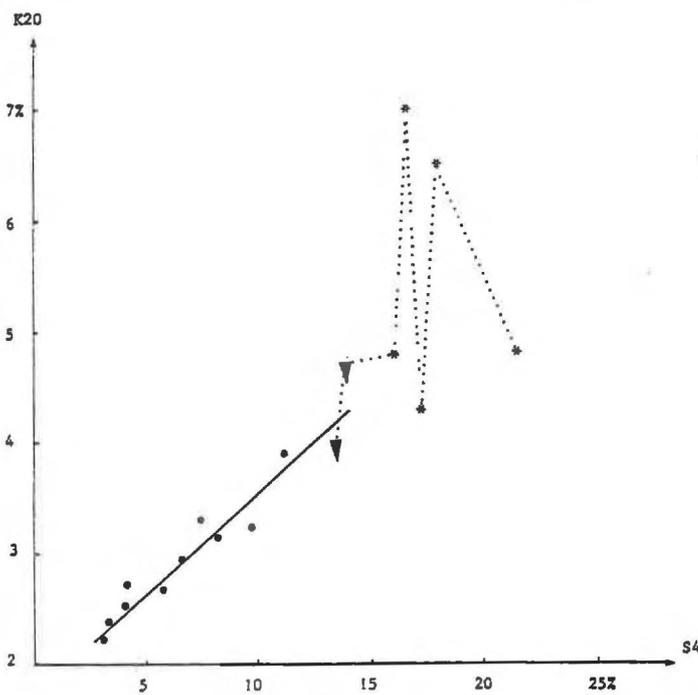
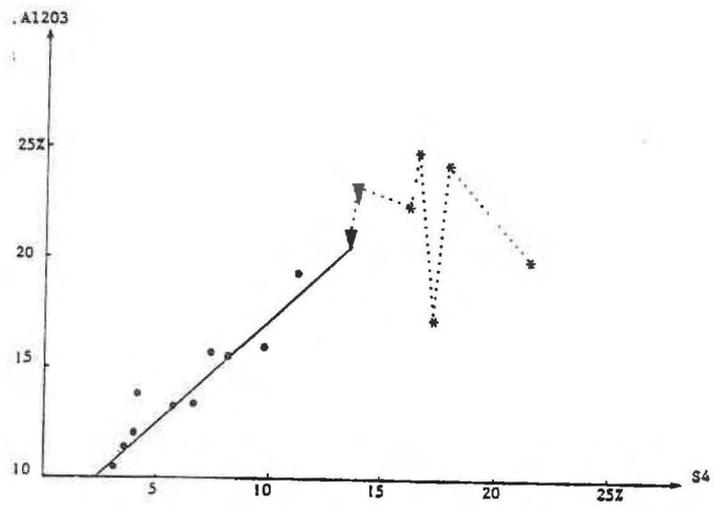
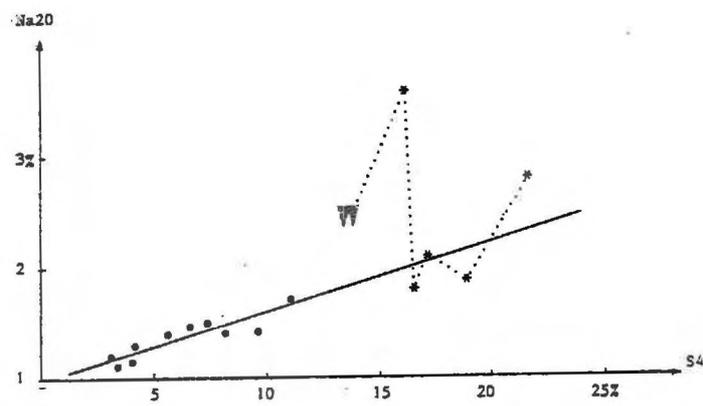
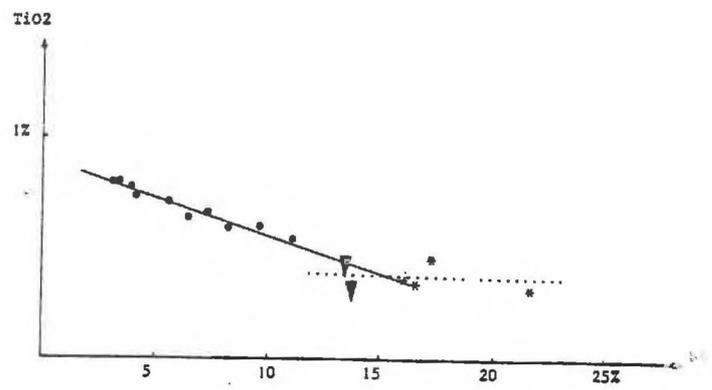
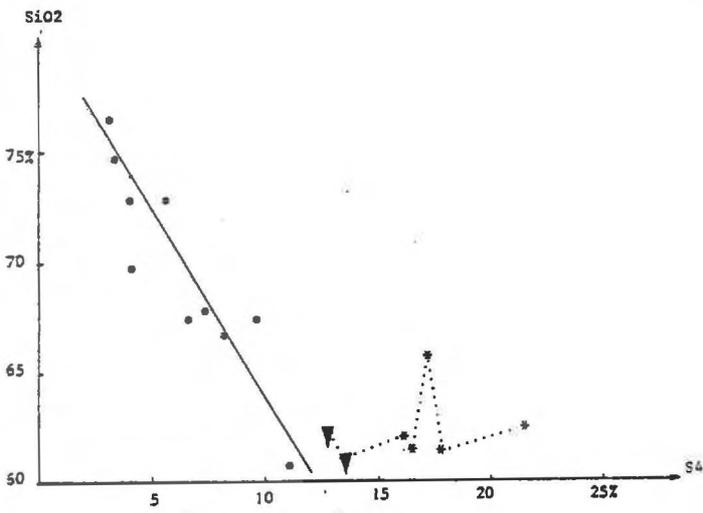
Pour  $K_2O$  seul l'échantillon contenant 13,5% de  $S_4$  est dans l'axe de la droite (planche VIII).

Pour  $Na_2O$  aucun des deux échantillons ne peut appartenir à la droite définie dans les sols (planche VIII A, fig. B).

### II - 1. 3. Conclusion

Dans les arènes en place, les variables chimiques et granulométriques ne présentent pas de relations linéaires entre elles, leurs variations ne peuvent donc s'interpréter comme résultant du mélange de deux matériaux.

Dans les sols, au contraire, les variations des données granulométriques et chimiques (à l'exception de celles sensibles au lessivage) peuvent s'interpréter comme dues



- Sol
- ▼ Base du sol
- \* Arène

PLANCHE VIII :

LE SOURN : ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES EN FONCTION  $S_4$ .

au mélange de deux matériaux.

Les échantillons situés à la charnière de ces deux populations ont un comportement mixte. Il apparaît impossible de préciser s'ils doivent être rattachés aux sols ou, aux arènes.

## II - 2. La séquence de Sainte-Tréphine

### II - 2. 1. Présentation

Deux carrières abandonnées forment cette séquence (cf. IIème partie, p.33) ; il convient de souligner que ;

1 - Sur la carte géologique au 1.50.000ème, feuille de Pontivy (SAGON 1976), la limite entre les schistes cambro-trémadociens et les quartzites ordoviciens est placée entre ces deux carrières.

2 - La zone amont (Profil 1) de la carrière principale a été décrite ainsi : LE CALVEZ-LE BARS (1977) p. 40 : "Les bancs (de roche) sont amenés à l'affleurement par le système de pendage, ils sont alors profondément transformés et intégrés aux horizons pédologiques. Les différences pétrographiques de ces bancs entraînent une plus ou moins grande résistance aux actions pédogénétiques ; aussi est-il parfois possible de retrouver leur succession originelle à l'intérieur de l'horizon  $A_3$  x (t) (XT). Au-dessus de cet horizon la restructuration pédologique (homogénéisation du matériel parental et différenciation des horizons) est trop forte pour que l'on puisse retrouver une quelconque succession lithologique... Le sol renferme de nombreuses espèces de minéraux lourds dont certaines telle la hornblende verte ne peuvent provenir du substrat sous-jacent".

Les problèmes spécifiques à cette séquence sont donc :

1 - Les formations meubles des deux carrières constituent-elles, ou non, deux familles différentes ?

2 - Les matériaux constitutifs des sols de la partie amont de la carrière principale sont-ils suffisamment homogènes pour pouvoir être analysés comme un mélange à deux constituants ?

### II - 2. 2. Dépouillement préliminaire

#### *II - 2. 2. 1. La granulométrie*

Dans la carrière principale les échantillons du-profil 1 ont été exclus des calculs, ceux-ci portent donc sur 30 données granulométriques. Pour la seconde carrière les calculs sont effectués à partir des 33 données.

#### *a) Vérification de l'existence de corrélations linéaires*

Les diagrammes de la planche IX font apparaître des corrélations linéaires entre les diverses variables de la carrière principale. Les coefficients de corrélations confir-

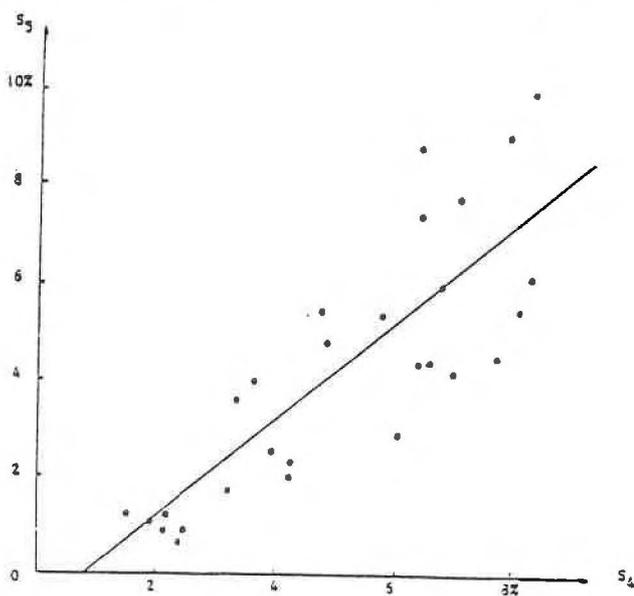
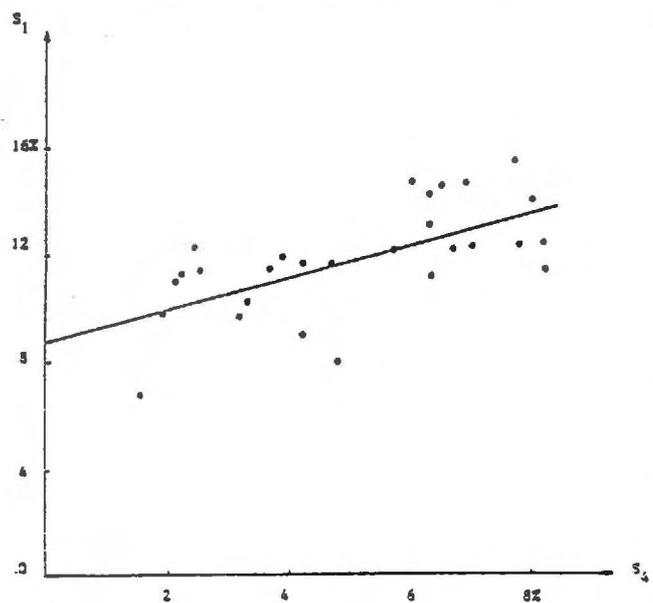
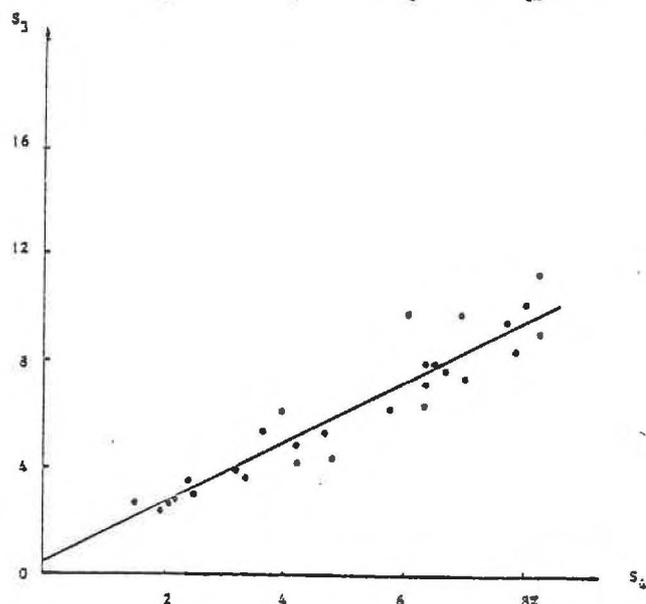
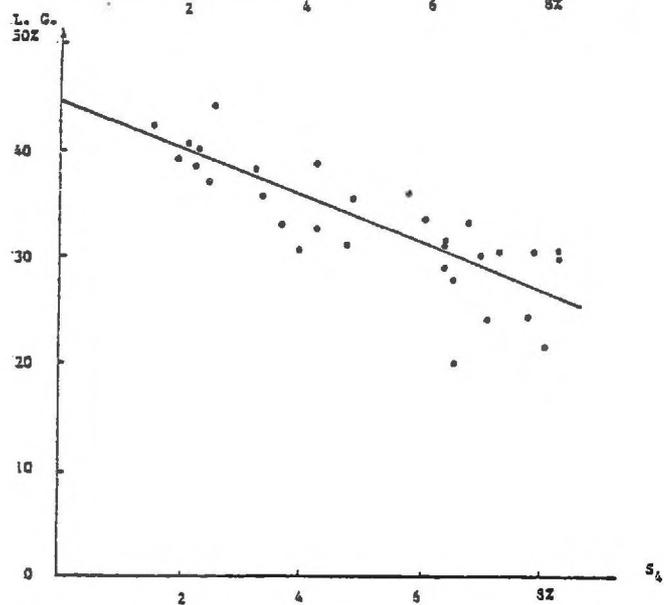
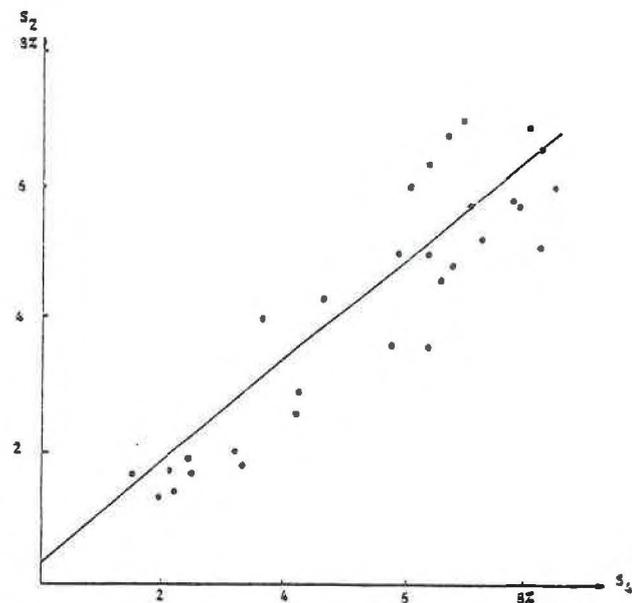
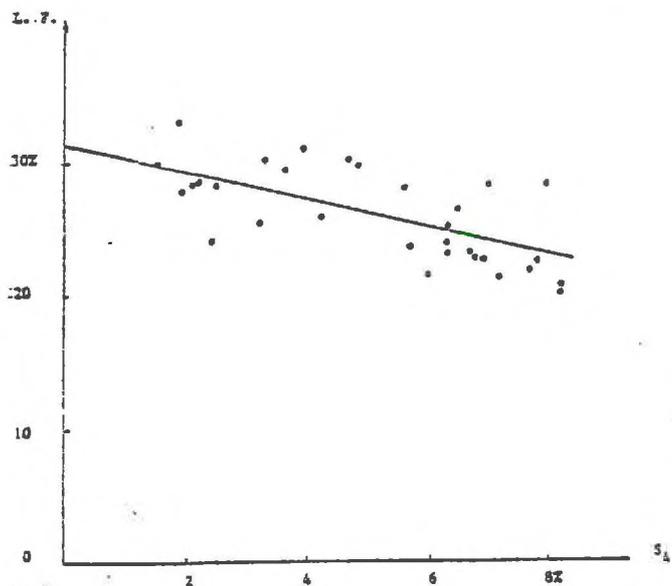


PLANCHE IX : SAINTE TRÉPINE : LIÈRE CARRIÈRE : RELATIONS ENTRE LES CARACTERISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DANS LES SOLS.

ment l'existence de telles liaisons. En effet, ils valent respectivement :

- 0,61 pour L. F. - S <sub>4</sub>	0,91 pour S <sub>2</sub> - S <sub>4</sub>
- 0,80 pour L. G. - S <sub>4</sub>	0,93 pour S <sub>3</sub> - S <sub>4</sub>
0,62 pour S <sub>1</sub> - S <sub>4</sub>	0,82 pour S <sub>4</sub> - S <sub>5</sub>

Ils sont donc tous supérieurs à 0,48, valeur qui correspond pour 25 degrés de liberté et au risque de première espèce de 0,01. près au seuil à partir duquel l'hypothèse de relation peut être acceptée.

En ce qui concerne la seconde carrière, les nuages de points peuvent être divisés en deux groupes :

- 1) Ils semblent montrer des corrélations linéaires entre L. G. et S<sub>4</sub>, S<sub>2</sub> et S<sub>4</sub>, S<sub>3</sub> et S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub> et S<sub>4</sub>. Les coefficients de corrélation valent alors respectivement - 0,73 ; 0,80 ; 0,80 et 0,87. Ils sont supérieurs à la valeur de référence (0,48) et confirment donc, au risque de première espèce de 0,01, l'existence des relations linéaires entre les variables.
- 2) Dans le cas de L. F. et S<sub>4</sub> d'une part, de S<sub>1</sub> et S<sub>4</sub> de l'autre, ils sont allongés parallèlement à l'axe des abscisses ce qui conduit à les considérer comme des fonctions constantes. Bien que les coefficients de corrélation soient inférieurs au seuil de 0,48 (respectivement - 0,37 et + 0,37) ces deux cas n'infirmant pas l'hypothèse de mélange.

*b) Comparaison des deux carrières*

Les équations des droites de régression déterminées à partir des nuages de points des planches IX et X valent respectivement :

carrière principale :

L. F. = - 1,04 S <sub>4</sub> + 32,5	S <sub>2</sub> = 0,77 S <sub>4</sub> + 0,11
L. G. = - 2,23 S <sub>4</sub> + 44,4	S <sub>3</sub> = 1,17 S <sub>4</sub> + 0,34
S <sub>1</sub> = 0,61 S <sub>4</sub> + 8,8	S <sub>5</sub> = 1,03 S <sub>4</sub> - 0,94

seconde carrière :

L. F. = cte = 32,4	S <sub>2</sub> = 1,2 S <sub>4</sub> + 0,4
L. G. = - 3,56 S <sub>4</sub> + 45	S <sub>3</sub> = 0,75 S <sub>4</sub> - 0,2
S <sub>1</sub> = cte = 8,7	S <sub>5</sub> = 1,62 S <sub>4</sub> - 0,3

De ces relations, il est possible de déduire qu'un échantillon renfermant 10% de S<sub>4</sub>, contiendra en moyenne :

s'il appartient à la carrière principale :

L. F. = 22%	S <sub>1</sub> = 2,7%	S <sub>3</sub> = 11,5%
L. G. = 22%	S <sub>2</sub> = 7,5%	S <sub>5</sub> = 9%

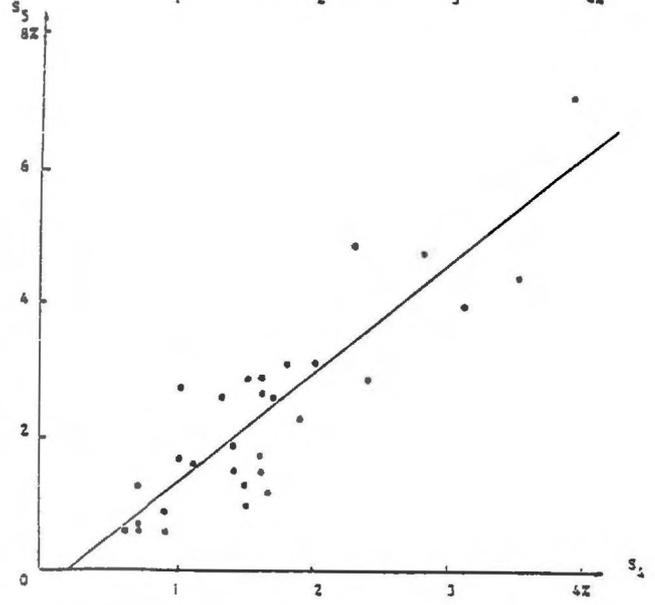
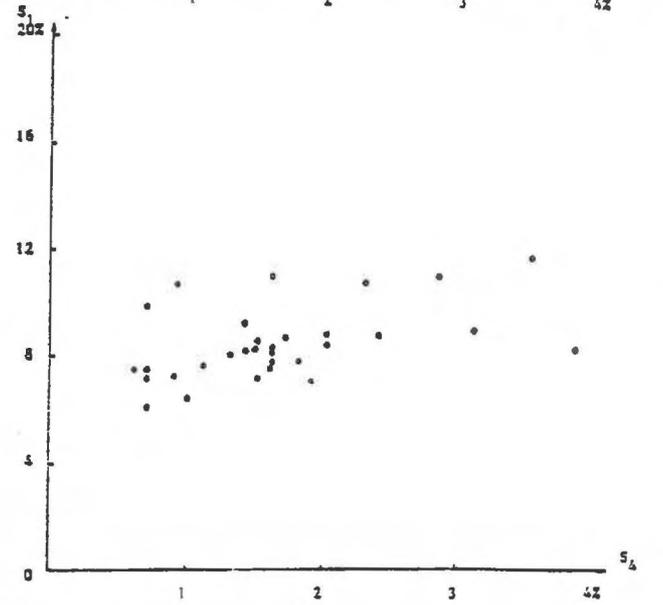
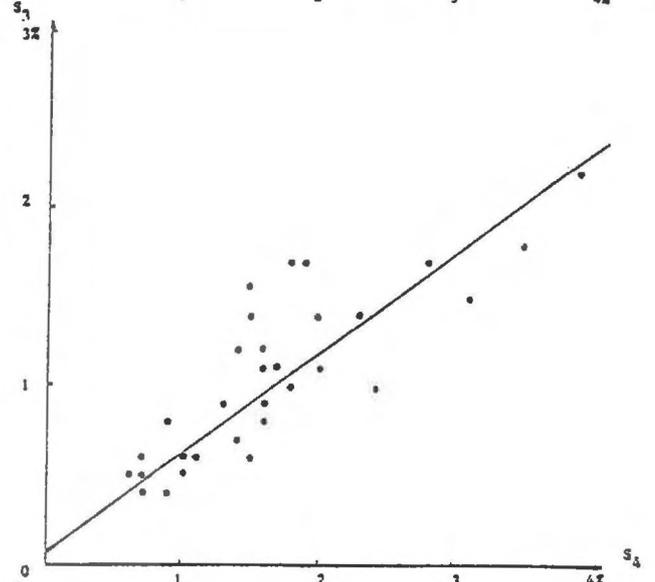
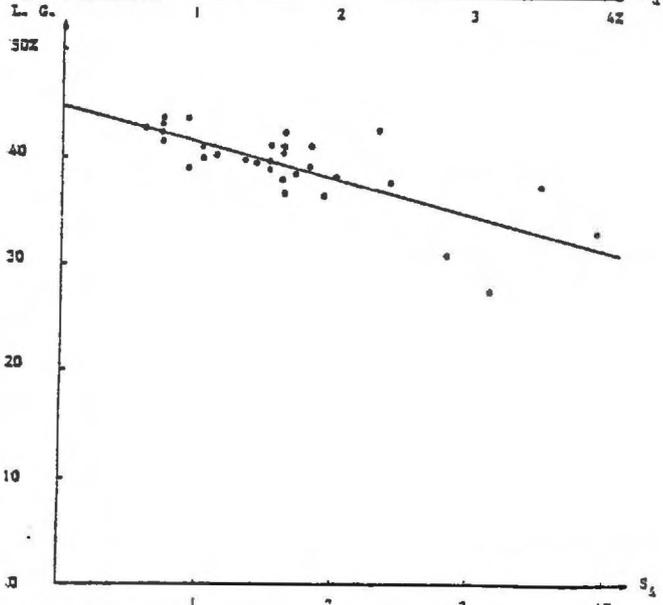
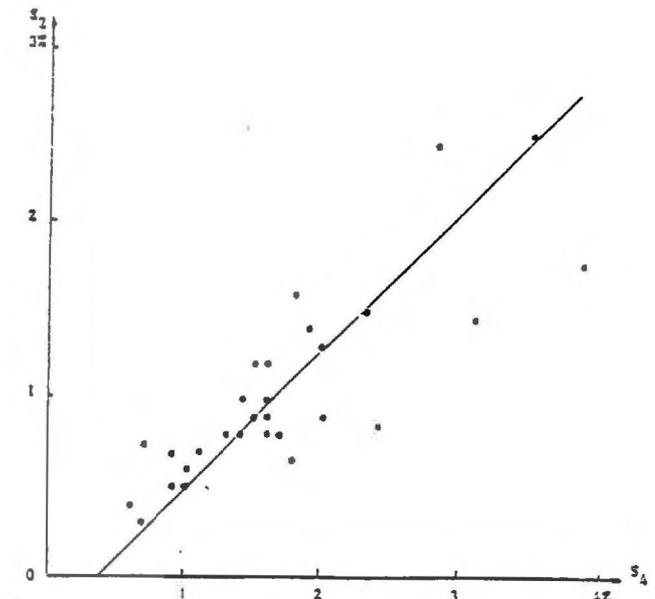
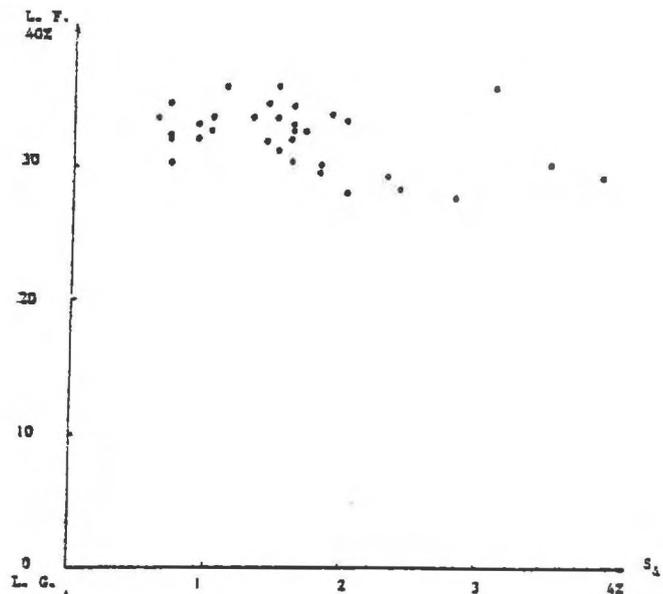


PLANCHE X : SAINTE TRÉPHINE : 2ÈME CARRIÈRE : RELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DANS LES SOLS.

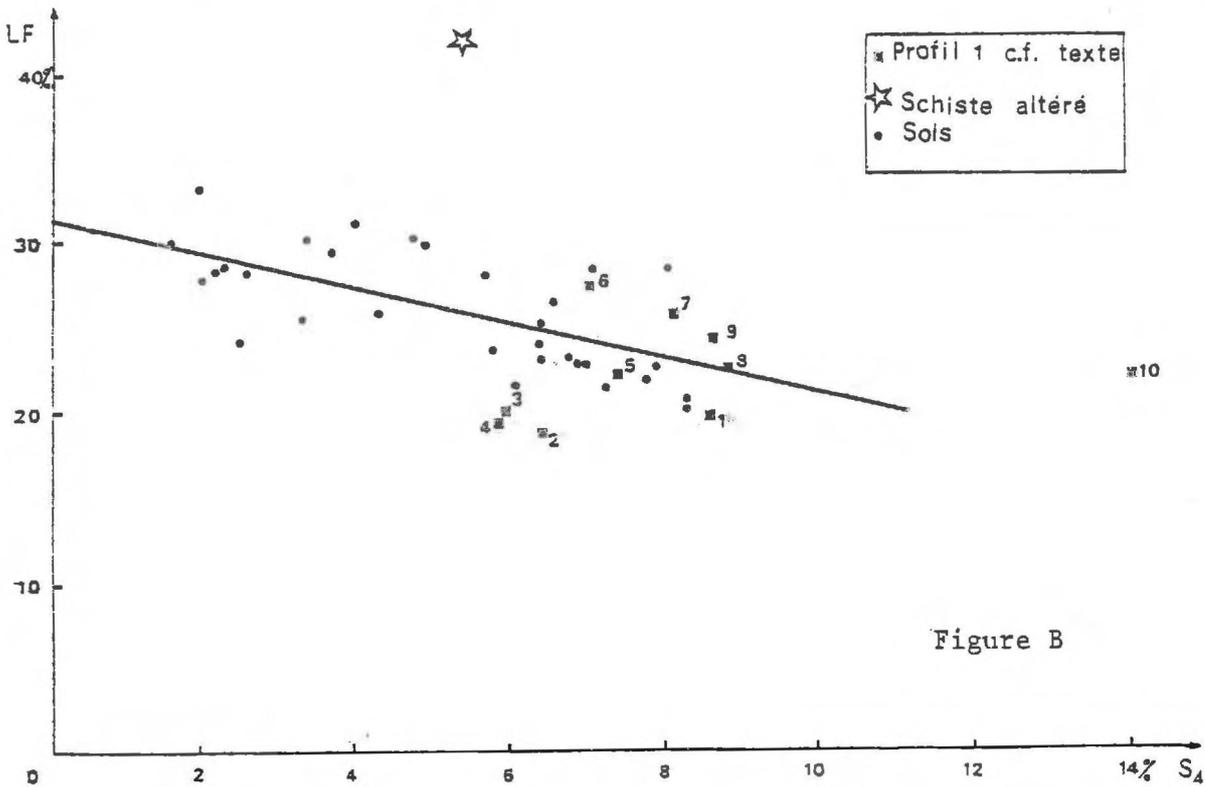
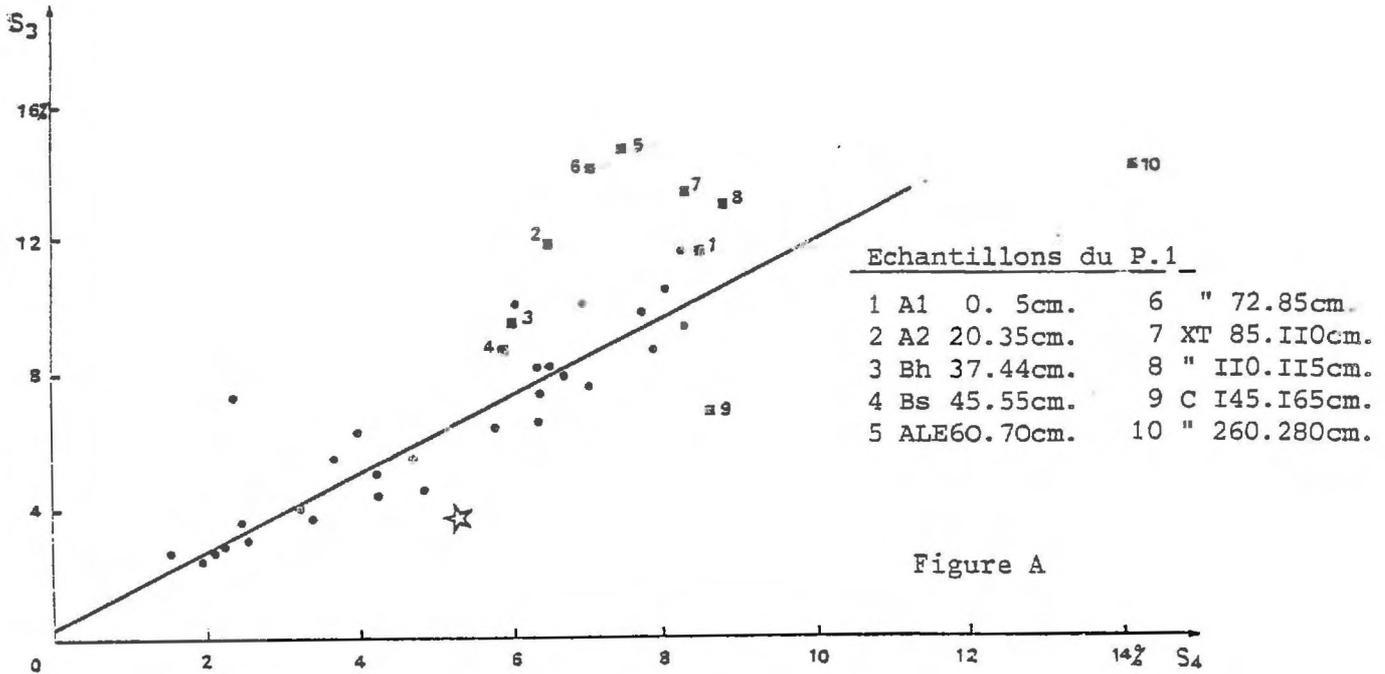


PLANCHE XI : SAINTE-TRÉPHERINE, carrière 1 : COMPARAISON DES GRANULOMÉTRIES DU PROFIL 1 ET DES AUTRES PROFILS (2 exemples).

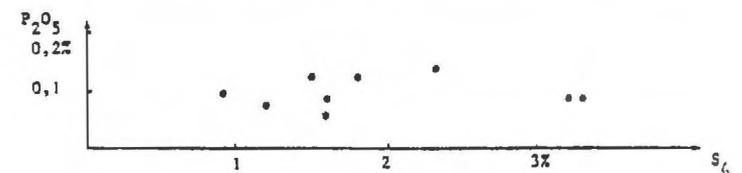
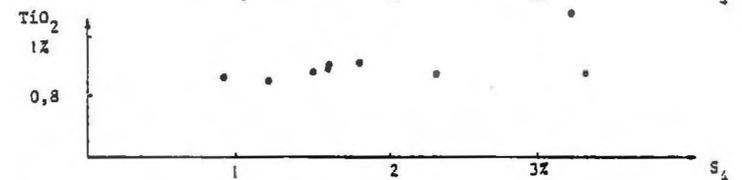
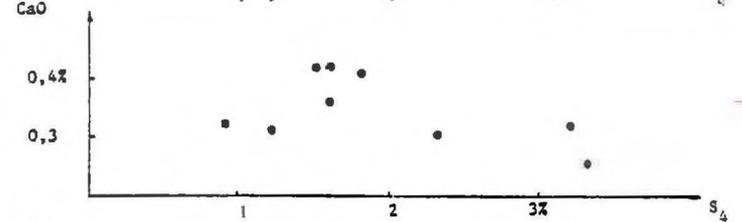
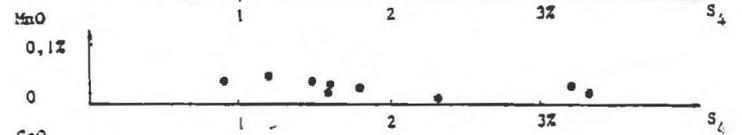
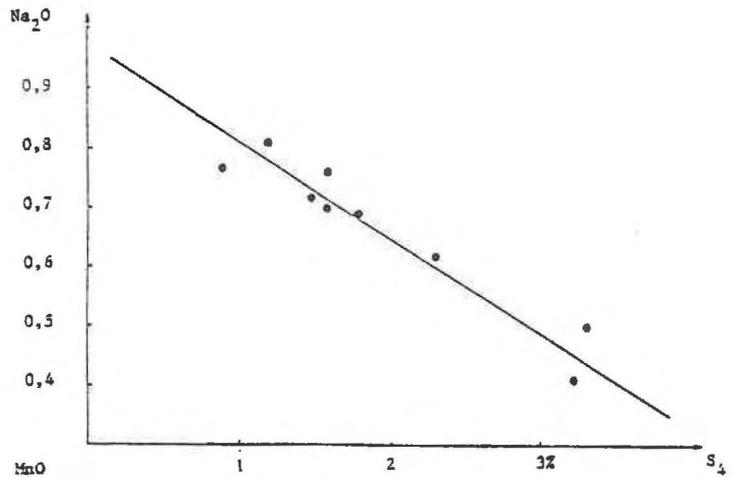
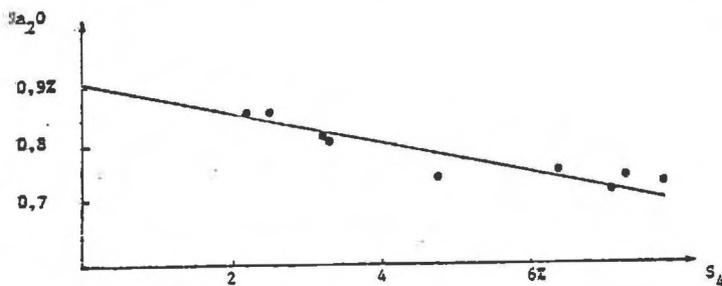
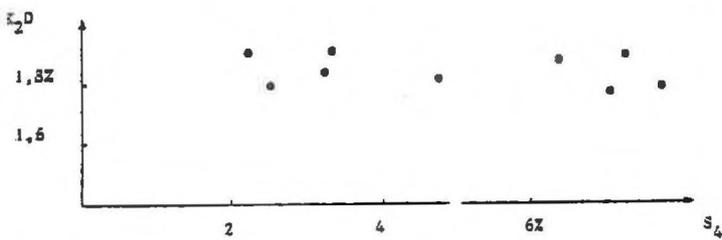
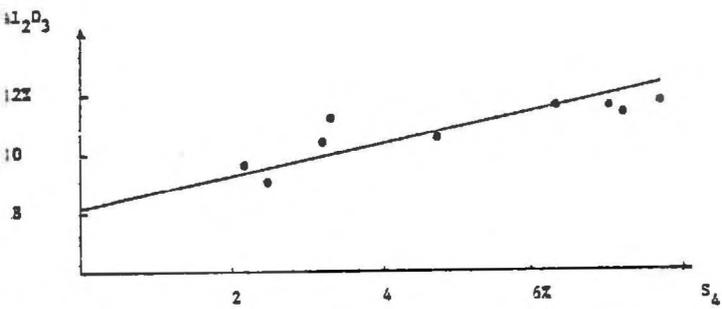
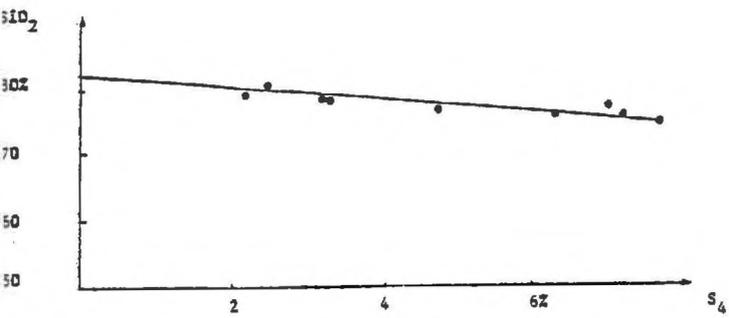


PLANCHE XII : SAINTE TRÉPHINE : IÈRE CARRIÈRE : RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LA GRANULOMÉTRIE.

s'il appartient à la seconde carrière :

L. F. = 32%	S <sub>1</sub> = 8%	S <sub>3</sub> = 7,5%
L. G. = 10%	S <sub>2</sub> = 12%	S <sub>5</sub> = 16%

Ces deux textures moyennes sont nettement différentes. Par conséquent, les échantillons de ces carrières doivent être considérés comme appartenant à des familles distinctes. Ceci signifie que, quelle que soit leur importance les phénomènes de versant n'ont pas oblitéré l'influence des schistes rouges dans la seconde carrière.

*c) Comparaison du profil 1 et des autres profils de la carrière principale (planche XI)*

Sur la figure A de la planche XI les points qui correspondent à la base du profil 1 sont relativement éloignés de la droite ajustée à partir des données des autres profils ; les points du sommet de ce profil ont tendance à s'en rapprocher.

Ce résultat semble bien s'accorder avec les observations de terrain (rappelées dans la présentation).

La figure B permet d'observer que le banc de schistes altérés s'individualise par sa forte teneur en limons fins.

*II - 2. 2. 2. Les données chimiques*

Pour la carrière principale les traitements statistiques ont été effectués sur 9 analyses\* (planches XII). Les droites de régression et les corrélations sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= - 0,97 S_4 + 81,63 & r &= - 0,90 \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &= 0,53 S_4 + 8,11 & r &= 0,81 \\ \text{Na}_2\text{O} &= - 0,025 S_4 + 0,90 & r &= - 0,93 \end{aligned}$$

Les autres éléments sont pratiquement invariants, à l'exception de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO qui varient parallèlement entre eux, comme au Sourn.

*II - 2. 3. Conclusion*

Les données de chacune des carrières (à l'exception de celles du profil 1) sont compatibles avec l'hypothèse de mélange mais doivent être étudiées séparément.

Les valeurs des caractéristiques granulométriques du profil 1 n'appartiennent pas aux droites de régression. Les échantillons de ce profil ne peuvent donc s'interpréter

\* N. B. : La seconde carrière où deux analyses seulement ont été effectuées ne sera pas prise en considération

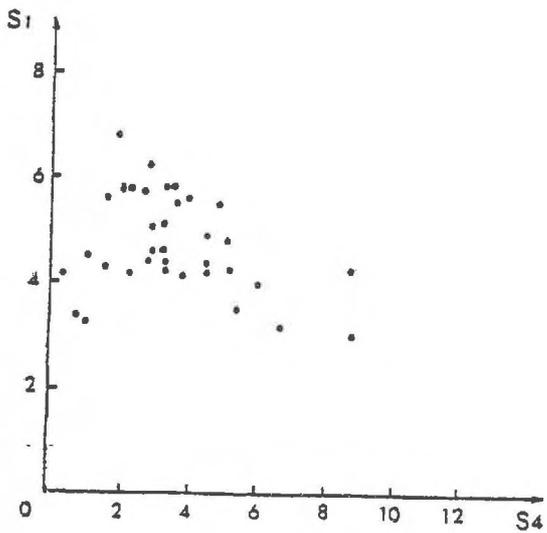
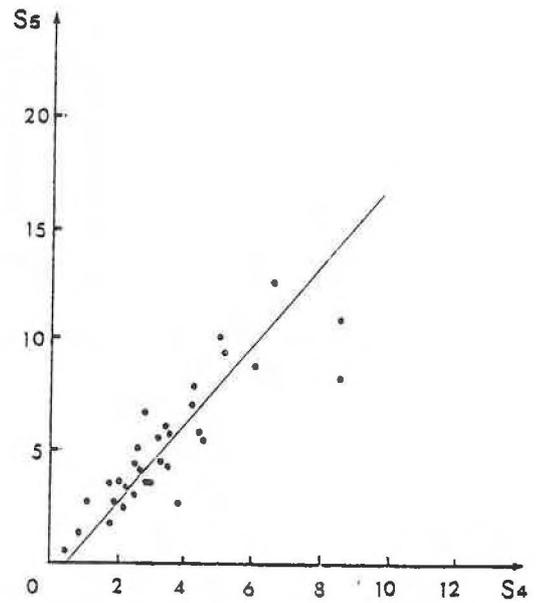
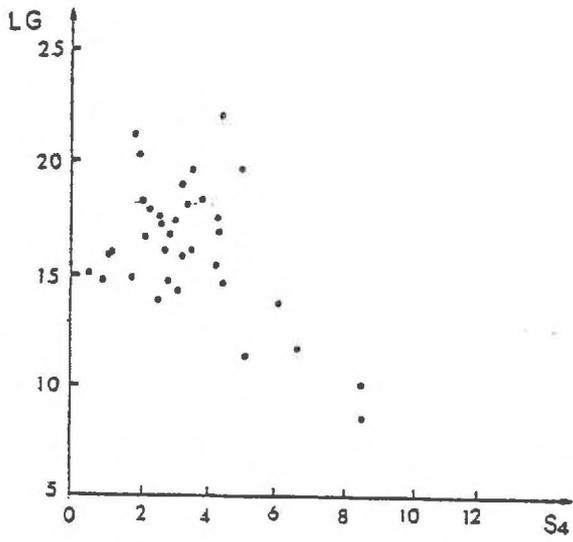
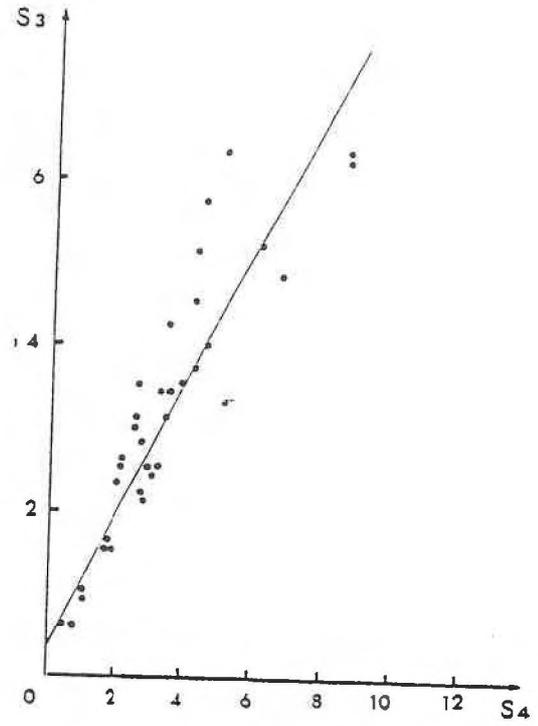
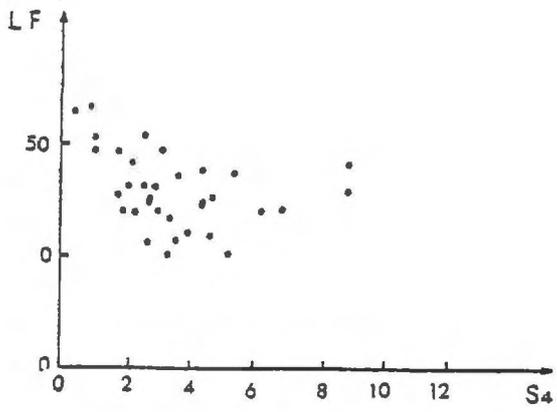


PLANCHE XIII : SAINT-ÉLOUAN : RELATION DANS LES ALTÉRITES DE SCHISTES.

comme le résultat du mélange de deux matériaux ce qui est en accord avec les observations de terrain.

### II - 3. La séquence de Saint-Elouan

Il faut rappeler que cette séquence, décrite p.33 est caractérisée notamment par les deux faits suivants :

- 1) Les sols le long de la pente convexe paraissent provenir de l'altération des schistes sous-jacents
- 2) Le profil 1 et les niveaux superficiels des profils 2 et 3 se rattachent aux formations limoneuses.

#### II - 3. 1. Les matériaux d'altération des schistes

Les données relatives au niveau superficiel du profil 8 n'ont pas été prises en considération, car ce niveau a été interprété comme d'origine colluviale. Les calculs portent donc sur 35 données.

Les résultats, correspondant aux diagrammes de la planche XIII, sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{L. F.} &= - 4,8 S_4 + 62 & r &= - 0,36 \\ \text{L. G.} &= - 3,0 S_4 + 26,5 & r &= - 0,51 \\ S_1 &= - 1,5 S_4 + 9,8 & r &= - 0,31 \\ S_2 &= 0,41 S_4 + 0,7 & r &= 0,70 \\ S_3 &= 0,82 S_4 + 0,3 & r &= 0,90 \\ S_5 &= 1,78 S_4 - 0,8 & r &= 0,85 \end{aligned}$$

Certaines classes granulométriques contiguës ( $S_5 - S_4$  ;  $S_3 - S_4$ ) présentent de bonnes corrélations. Mais l'absence de relations linéaires entre L. F., L. G.,  $S_1$  et  $S_4$  conduit à l'impossibilité d'interpréter ces matériaux comme un mélange à deux constituants.

#### II - 3. 2. Les formations limoneuses

##### II - 3. 2. 1. La granulométrie (planche XIV)

Les résultats des calculs effectués sur 14 données sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{L. F.} &= 13,70 S_4 + 34,1 & r &= 0,80 \\ \text{L. G.} &= - 9,26 S_4 + 43,1 & r &= - 0,91 \\ S_1 &= - 1,61 S_4 + 9,7 & r &= - 0,76 \\ S_2 &= 1,02 S_4 - 0,1 & r &= 0,82 \\ S_3 &= 1,29 S_4 - 0,2 & r &= 0,89 \\ S_5 &= 1,54 S_4 - 0,7 & r &= 0,91 \end{aligned}$$

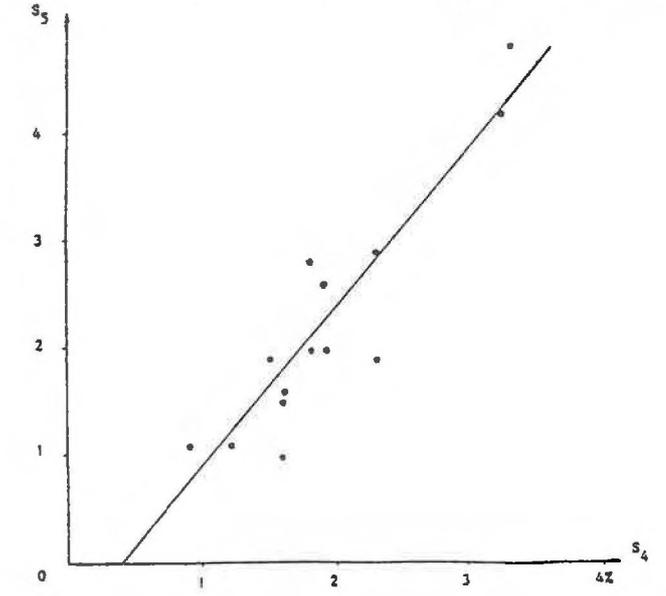
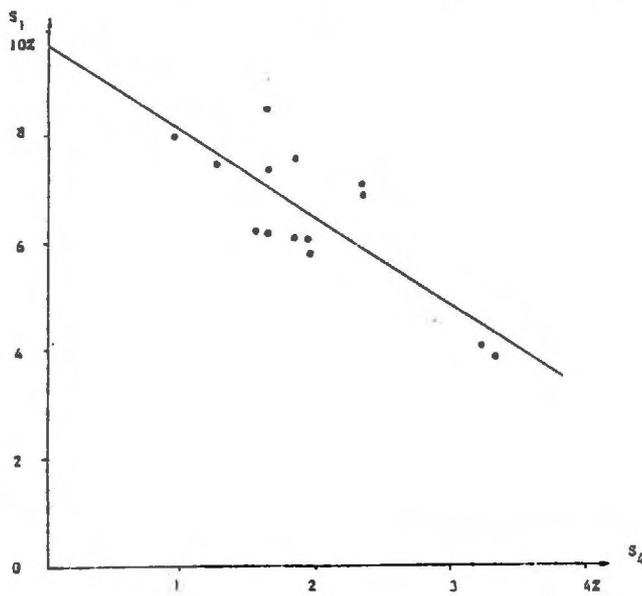
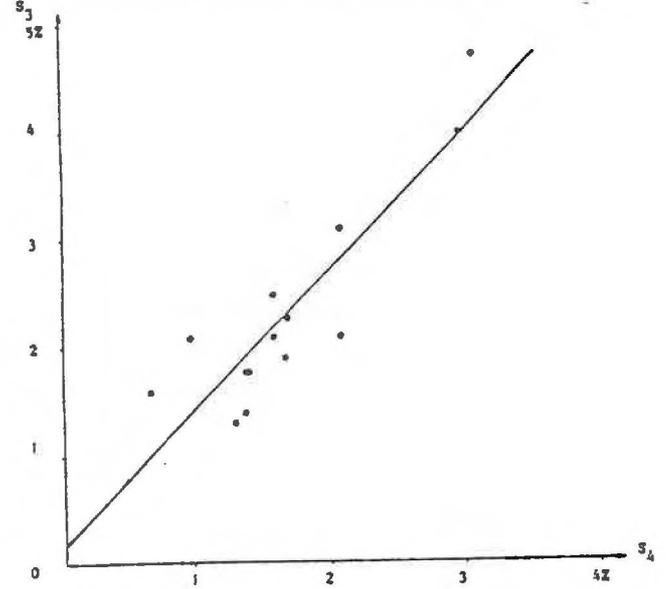
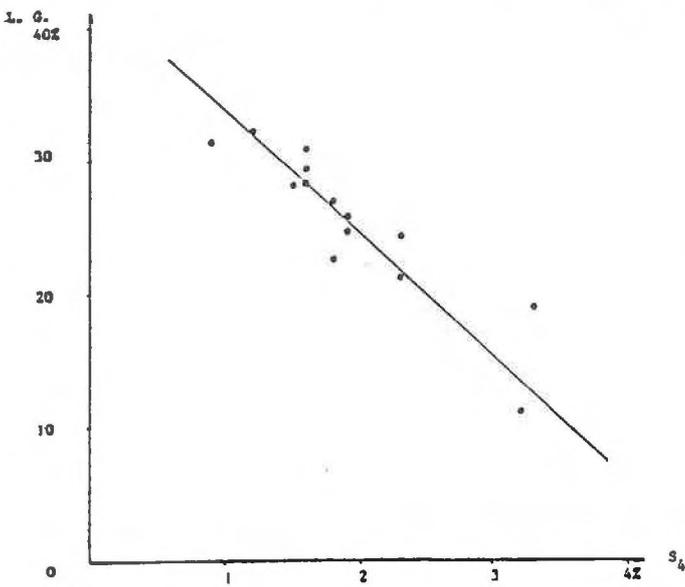
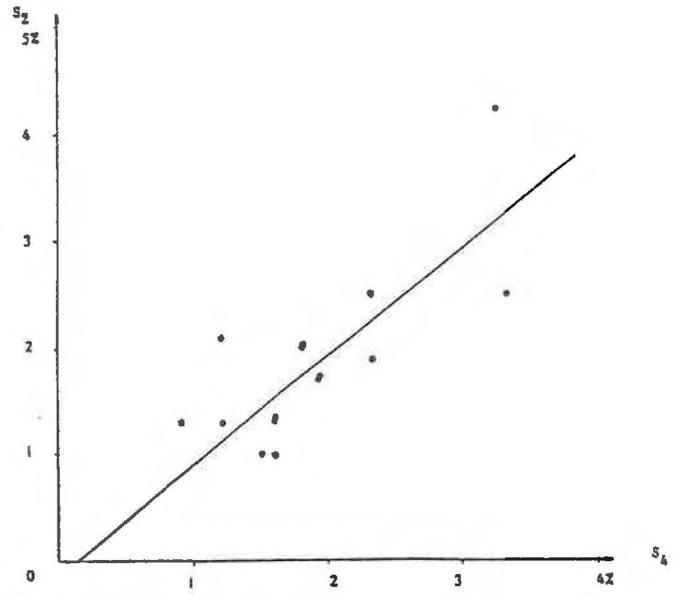
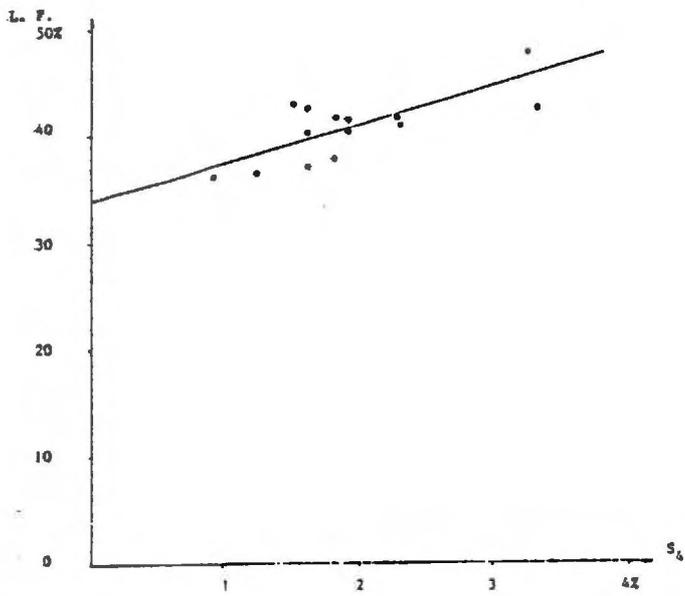


PLANCHE XIV : SAINT-ÉLOUAN : RELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES GRANULOMÉTRIQUES DANS LES SOLS.

Pour 12 degrés de liberté un coefficient égal ou supérieur à 0,66 peut être considéré comme significatif, au risque de première espèce de 0,01. L'ensemble de ces variables présentent de bonnes corrélations linéaires avec  $S_4$ . Notons cependant qu'elles apparaissent moins bonnes que celles enregistrées au Sourn. Ceci est à lier à la plus grande hétérogénéité du substrat.

### II - 3. 2. 2. *Les analyses chimiques*

Les analyses, toutes effectuées dans le profil 1, sont au nombre de 9. Un coefficient de corrélation égal ou supérieur à 0,79 sera donc considéré comme significatif. Comme dans les autres séquences trois groupes peuvent être distingués (planche XV) :

1 - Les oxydes dont les teneur varient sensiblement d'un échantillon à l'autre et qui se corrélaient à  $S_4$  constituent le premier groupe. Les équations et les coefficients de corrélation correspondant à ces oxydes sont les suivants :

$$\text{SiO}_2 = - 4,85 S_4 + 81,85 \quad r = - 0,90$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,80 S_4 + 9,42 \quad r = 0,93$$

$$\text{Na}_2\text{O} = - 0,16 S_4 + 0,97 \quad r = - 0,95$$

$$\text{K}_2\text{O} = 0,40 S_4 + 1,71 \quad r = 0,90$$

2 - Le second groupe est formé par les oxydes pratiquement invariants :  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ .

3 - Le troisième est représenté par  $\text{MgO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  qui, comme dans les autres séquences, ne se corrélaient pas à  $S_4$  mais varient simultanément.

### II - 3. 3. Conclusion

Les niveaux interprétés à partir des données morphologiques et analytiques comme entièrement issus de l'altération des schistes ne présentent pas de relations linéaires entre leurs diverses caractéristiques granulométriques. Ils ne peuvent donc s'interpréter comme le résultat d'un mélange à deux constituants.

Dans les formations présumées de mélange on note la présence de relations linéaires entre les diverses variables, (à l'exception de l'argile, de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et de  $\text{MgO}$ ), ce qui est compatible avec l'hypothèse de mélange.

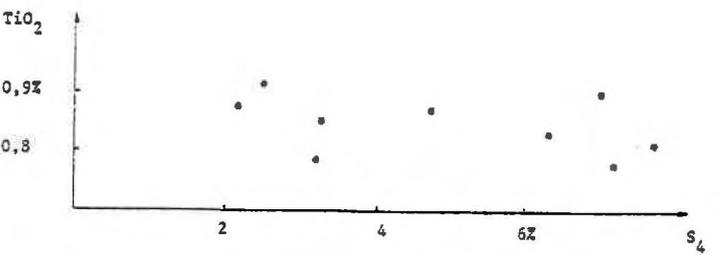
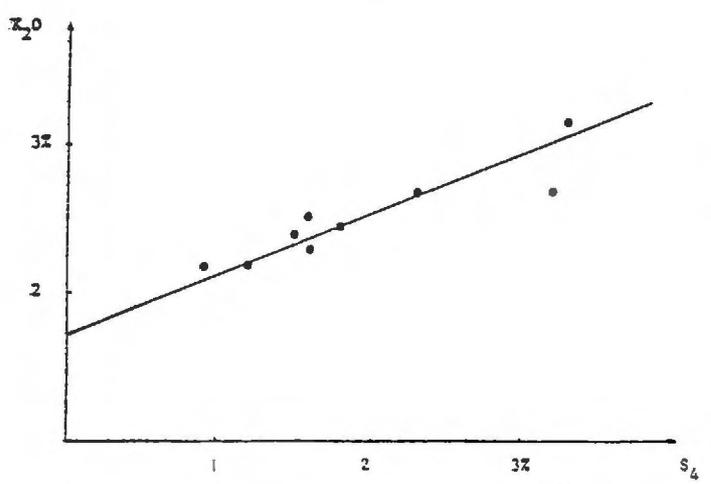
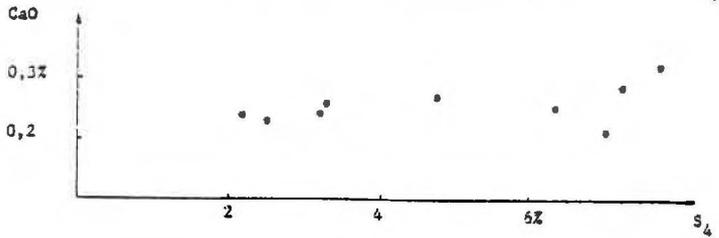
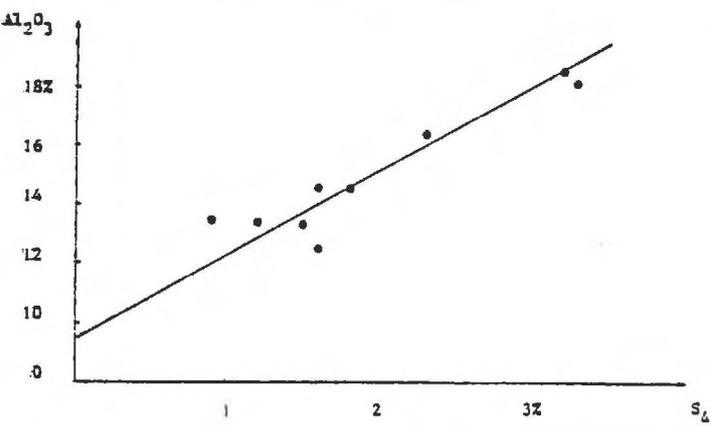
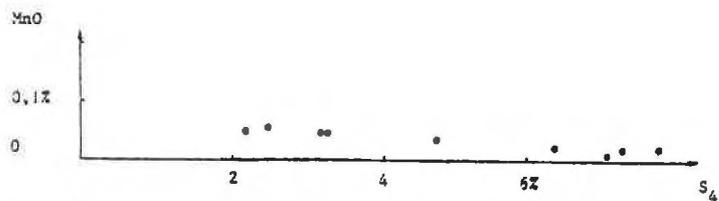
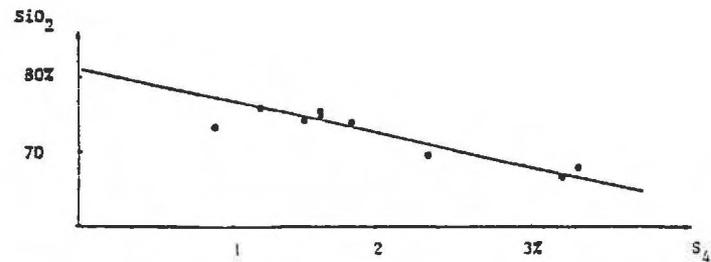


PLANCHE XV : SAINT ELOUAN : RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LA GRANULOMÉTRIE.

III - CONCLUSION

Ce pré-traitement statistique (calcul des corrélations) des données analytiques a permis de retrouver dans toutes les séquences les grands groupes de matériaux identifiés dans la seconde partie de ce mémoire. Plus précisément, il faut souligner que dans tous les cas :

- les matériaux qui apparaissaient directement issus d'une altération in situ ne présentent pas de relations linéaires généralisées entre leurs diverses caractéristiques.
- les formations limoneuses, interprétées comme un mélange de matériaux, présentent de bonnes corrélations entre la plupart de leurs caractéristiques.

Ces faits justifient la démarche suivie ; seules les formations limoneuses vont maintenant être étudiées de façon plus détaillée.

C) ETUDE DÉTAILLÉE DES SÉQUENCES PAR  
LE MODÈLE DE MÉLANGE (A. C. P.).

Ce paragraphe sera consacré à l'étude de détail par analyse en composantes principales des données granulométriques et chimiques des séquences suivantes :

- Le Sourn : matériaux constitutifs des sols, y compris les niveaux de base.
- Sainte-Tréphine : matériaux constitutifs des sols des deux carrières, à l'exclusion de ceux du profil I.
- Saint-Elouan : matériaux constitutifs des sols situés en pente douce.

Dans chacune de ces séquences les analyses en composantes principales seront d'abord utilisées pour classer et positionner les données, ensuite le modèle de mélange sera appliqué.

I - LE SOURN : UNE SEQUENCE SUR GRANITE.

I - 1. Les résultats des analyses en composantes principales

I - 1. 1. La granulométrie

Les données granulométriques de 66 échantillons servent de base à cette étude. Les pourcentages d'inertie des différents axes sont les suivants :

- 1er axe : 79,8%
- 2ème axe : 10,3%
- 3ème axe : 5,9%
- 4ème axe : 3,1%

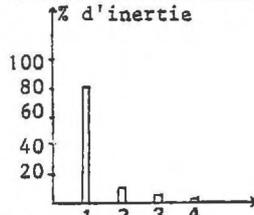


FIGURE 43

Pour les autres axes ce pourcentage est inférieur à 1%.

Il se dégage donc un axe prépondérant qui explique environ 80% des variations des mesures.

I - 1. 1. 1. Le premier axe

a) Corrélation des variables à l'axe

Les corrélations des variables à cet axe sont respectivement de :

- A : 0,310
- L. F. : 0,766
- L. G. : 0,981
- S<sub>1</sub> : - 0,750
- S<sub>2</sub> : - 0,940
- S<sub>3</sub> : - 0,927
- S<sub>4</sub> : - 0,961
- S<sub>5</sub> : - 0,861

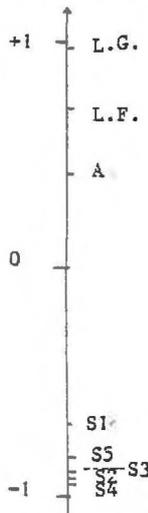


FIGURE 44

L'ensemble des variables, à l'exception de l'argile, présente une excellente corrélation à l'axe. Celui-ci oppose les limons qui présentent des corrélations positives, aux sables dont les valeurs sont négatives. Il constitue donc, un indicateur synthétique de la texture et, notamment de la quantité de limon par rapport à celle de sables ; cet indicateur n'est que très faiblement dépendant de la teneur en argile. Les coordonnées sur l'axe des échantillons riches en sables auront une valeur négative et celles des

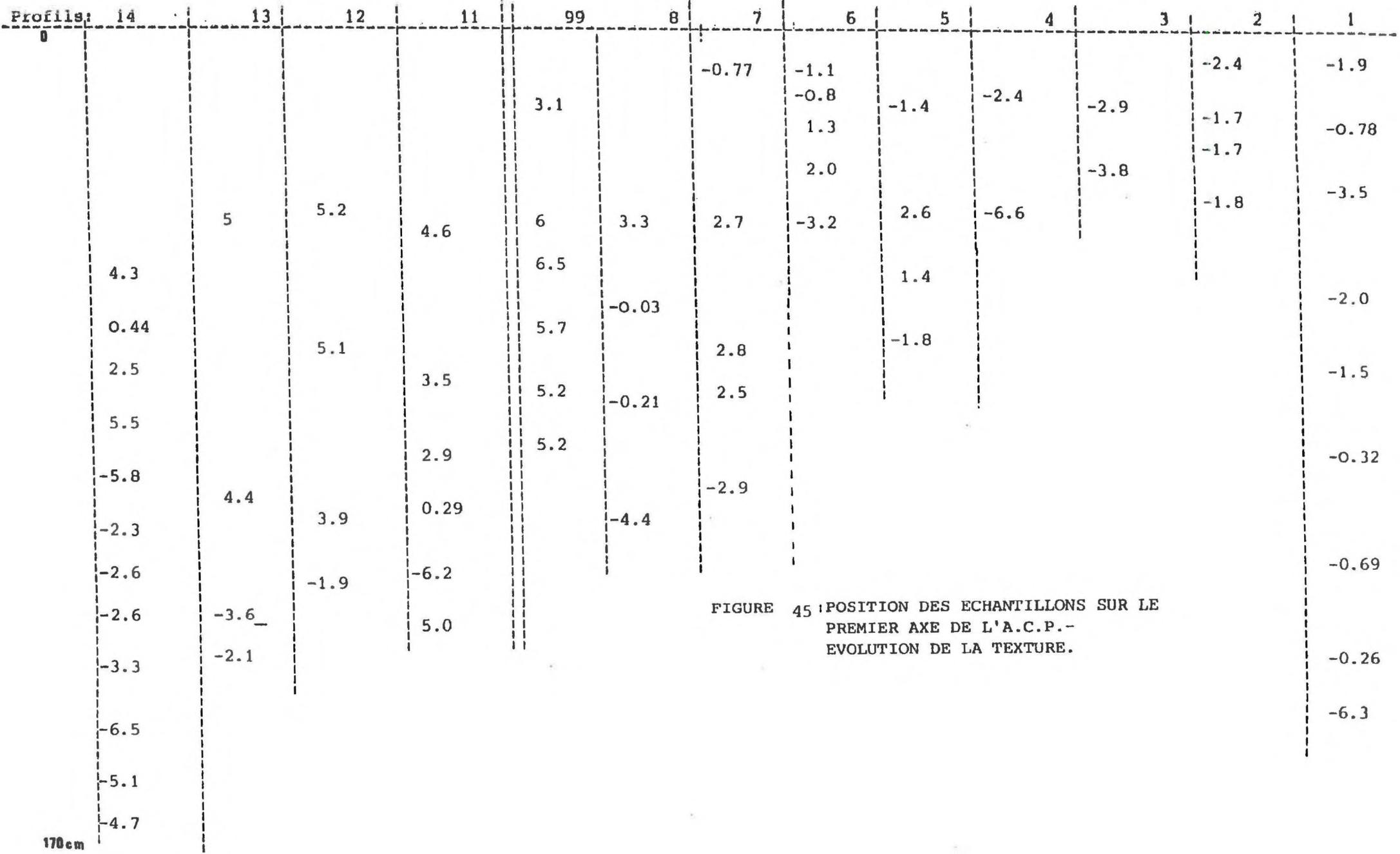


FIGURE 45 POSITION DES ECHANTILLONS SUR LE  
PREMIER AXE DE L'A.C.P.-  
EVOLUTION DE LA TEXTURE.

170 cm

-130-

échantillons limoneux auront une valeur positive.

*b) La position des échantillons sur l'axe*

La position des échantillons sur l'axe a été reporté sur la séquence (fig. 45). Ce schéma indique l'évolution globale de la texture ; trois aspects principaux sont à retenir :

1° Comme l'indique la comparaison avec la coupe pédologique (fig. 6, p.32 ), les caractéristiques texturales des échantillons sont indépendantes de la nature des horizons pédologiques.

2° Dans la zone où la couverture limoneuse est continue la répartition globale est en enveloppes ouvertes vers l'aval. Les valeurs les plus faibles (échantillons sableux) se situent à la périphérie et les plus fortes (échantillons limoneux) au coeur de ces enveloppes. Le passage de niveaux sableux aux niveaux limoneux est progressif, notamment à la base de la séquence. Cette répartition globale sera interprétée dans le cadre de la synthèse. Du profil 5 au profil 9 ces enveloppes sont régulières et les valeurs les plus élevées de l'ensemble de la séquence sont atteintes au coeur du profil 9. A partir du profil 11, c'est-à-dire au-delà du talweg (profil 10), cette structure est beaucoup moins régulière et se redéveloppe à partir de valeurs plus basses (4,6 au coeur du profil 11 au lieu de 6 et 6,5 au centre du profil 9).

Du point de vue de la répartition des matériaux, la limite marquée par le petit talweg apparaît, donc, comme majeure. L'irrégularité de la répartition au-delà de ce talweg, conduit à penser qu'il marque la zone où le colluvionnement devient important.

3° Une poche de la zone amont a été échantillonnée de façon systématique (P.1). Par rapport au reste de la séquence, la répartition des matériaux y est particulière. On remarque, notamment que :

- à la base, le passage des niveaux sableux aux niveaux limoneux, est rapide (de - 6,3 à - 0,26 en 5 cm).
- de la base, au coeur de la poche, la texture du matériel reste constante (- 0,26, - 0,69, - 0,32) ; au-dessus elle redevient progressivement plus sableuse (- 1,5, - 2, - 3,5).
- enfin, la texture de l'horizon labouré est relativement limoneuse (- 0,78, - 1,9) et voisine de celle de l'horizon labouré des profils voisins (ce qui plaide en faveur d'une homogénéisation par le labour).

La rapidité du passage à la base de la poche, conduit à penser, que sa formation est postérieure à la différenciation texturale ; la répartition initiale des textures étant, alors, comparable à celle décrite pour le reste de la séquence. Dans ce cas, il faut envisager un mécanisme qui transforme un passage progressif en un passage brutal, qui homogénéise la base de la poche et qui inverse les tendances dans la partie superficielle.

Ceci est réalisé dans les phénomènes d'involution en climat périglaciaire. En effet, les alternances de gonflement et de contraction, liées aux cycles gel - dégel,

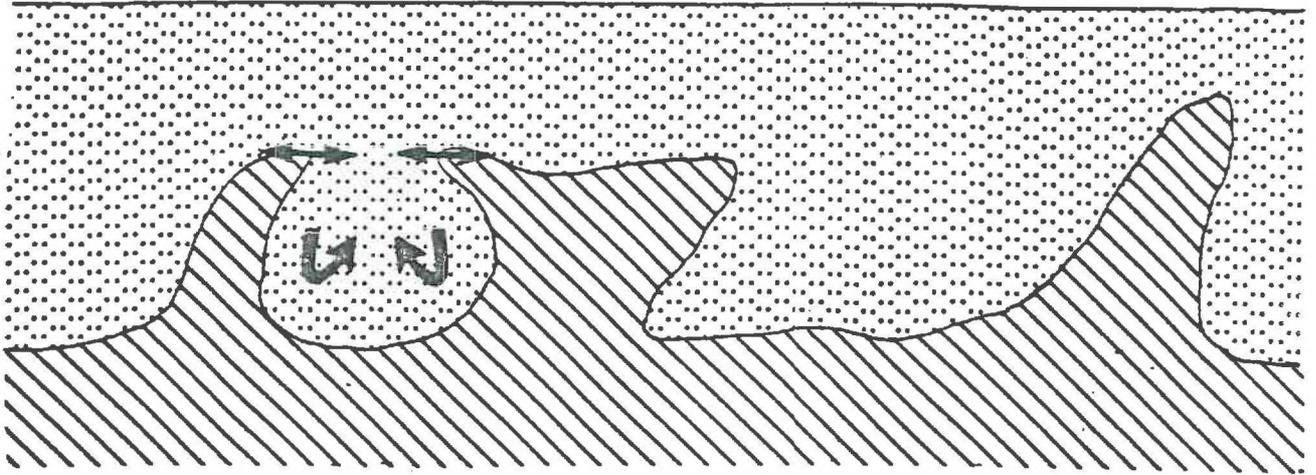


Figure 46 a

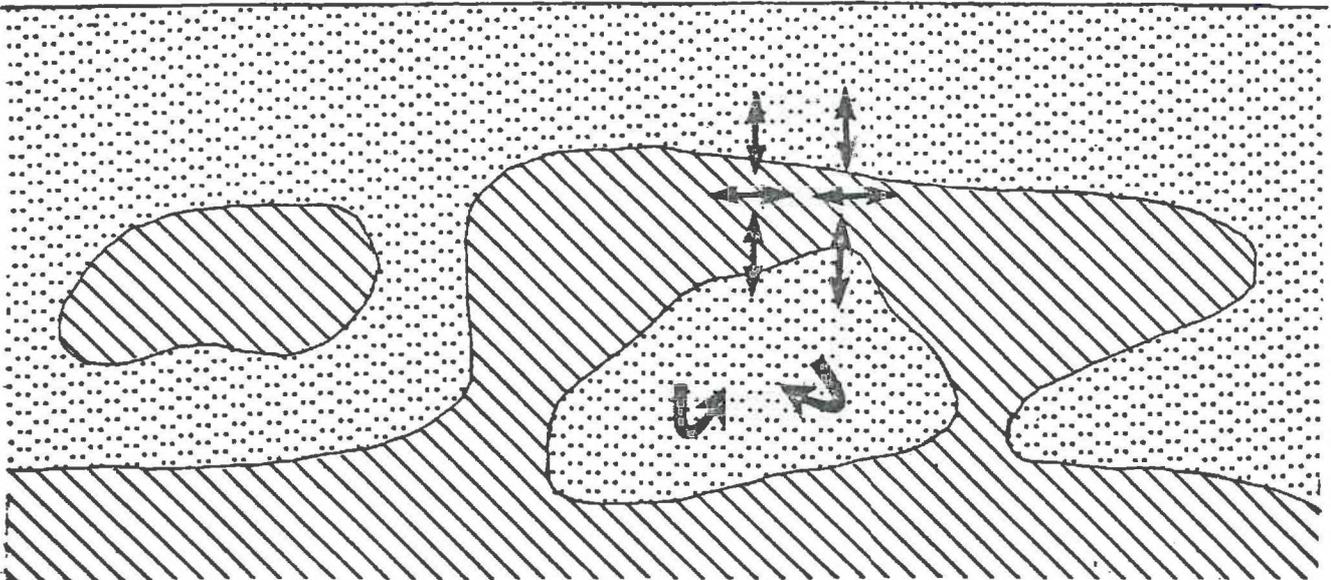


Figure 46 b

 Matériel limoneux

 Arène

 Homogénéisation au coeur des poches

 Mélange arène-limon

FIGURES 46 a et b; HYPOTHESE DE FORMATION DES POCHEs DE LA ZONE AMONT DU  
SOURN PAR CRYOTURBATION ( d'après R.G. West 1972)

inégales suivant la granulométrie et la porosité des matériaux, provoquent la formation des poches. Au coeur de celles-ci, il y a homogénéisation complète du matériel et, au sommet, injection des produits sous-jacents initiaux. Ceci peut, même conduire à couper les matériaux de leur racine et, à individualiser des noyaux d'arène au sein des limons, et réciproquement (SPARKS in WEST 1972) (fig. 46 a et b).

Cette interprétation intègre l'ensemble des aspects de la répartition des matériaux dans les poches ; toutefois, rien n'indique qu'elle soit exclusive.

I - 1. 1. 2. Le second axe

a) Corrélation des variables avec l'axe

Les corrélations des variables à cet axe sont respectivement de :

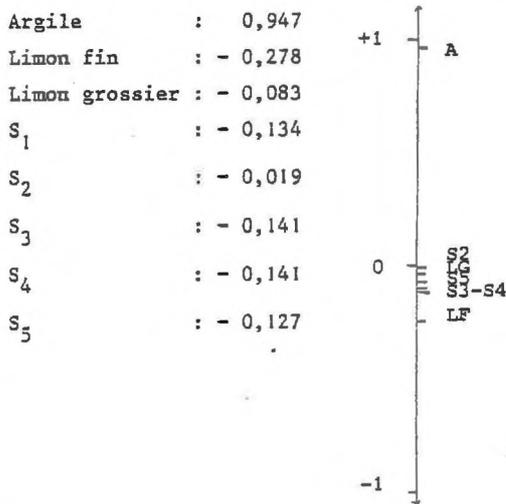


FIGURE 47

Une seule variable présente une bonne corrélation à l'axe : l'argile. Cette teneur en argile est déjà intervenue, pour une faible part, dans la constitution du premier axe. Elle a donc une double signification :

- l'une, de faible importance, selon laquelle la teneur en argile est liée à la teneur en limon, en opposition à la teneur en sables (cette liaison, représentée sur le premier axe, sera explicitée par la suite).

- l'autre, prédominante, est indépendante de la teneur en limon. Elle correspond au second axe.

b) Position des échantillons sur l'axe

La position des échantillons sur l'axe a été reportée sur la séquence (fig. 48), ce schéma représente les variations d'argile indépendantes des variations globale de texture (notons que le point zéro correspond à la teneur moyenne en argile de la séquence).

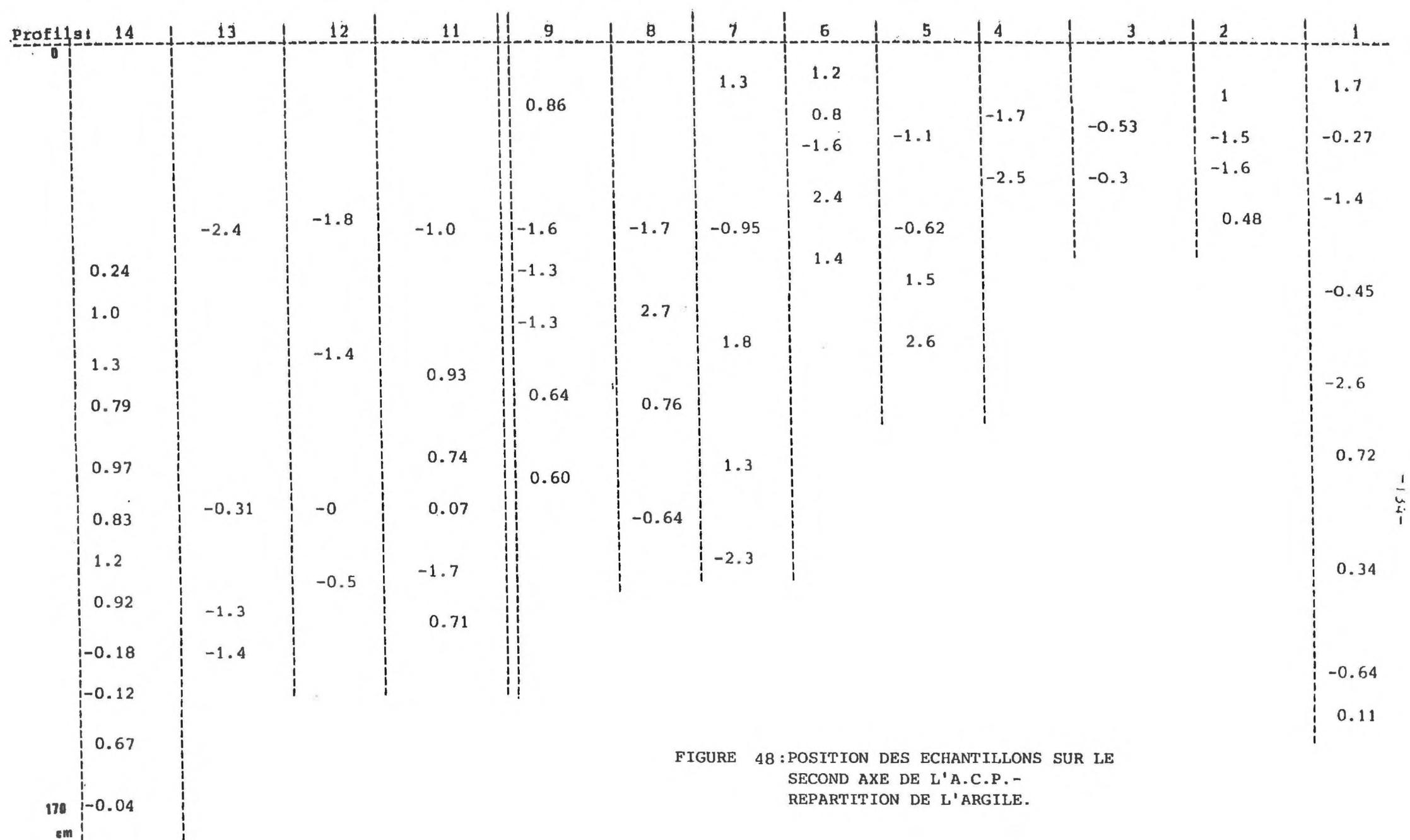


FIGURE 48 : POSITION DES ECHANTILLONS SUR LE  
SECOND AXE DE L'A.C.P. -  
REPARTITION DE L'ARGILE.

1) La partie amont :

Du profil 1 au profil 9 quatre niveaux sont aisément identifiables :

- Dans le premier les valeurs sont positives, elles correspondent aux prélèvements effectués dans l'horizon labouré et à un échantillon de l'horizon ALE du P<sub>6</sub> (cet échantillon se situe directement sous l'horizon labouré dans une zone encore riche en matière organique). Il faut noter que le prélèvement effectué dans l'horizon Ap du P<sub>5</sub> appartient au second niveau.
- Dans ce second niveau les valeurs sont négatives. Il est constitué des échantillons prélevés dans l'horizon ALE (à l'exception des deux cas précédemment cités).
- Le troisième niveau qui, de nouveau, présente des valeurs positives, est formé par les prélèvements des horizons tassés et accumulés (X, XT).
- Dans le quatrième niveau, les valeurs sont négatives. Les échantillons qui le définissent proviennent de la limite arène - sol.

Dans cette partie de la séquence le simple signe (positif ou négatif) de la position des échantillons sur l'axe 2, permet de reconstituer les horizons pédologiques identifiés sur le terrain.

Ceci montre que la différenciation des horizons est étroitement liée aux mouvements de l'argile, indépendants des variations globale de texture. Les valeurs exactes des positions des échantillons sur l'axe 2 devraient donc permettre de quantifier l'importance des redistributions d'argile. Pour ceci, il semble, à priori, qu'il suffise, dans chaque profil, de soustraire à la valeur de l'horizon T, celle de l'horizon E. Dans le cas où il n'y a pas eu de lessivage de l'argile l'indice ainsi établi doit être nul.

Ce calcul, effectué à partir des valeurs extrêmes des deux profils dont l'échantillonnage a été le plus serré (P<sub>1</sub> et P<sub>7</sub>), conduit aux résultats suivants :

$$\text{Profil 1 : } + 0,56 - (- 0,59) = 1,15$$

$$\text{Profil 7 : } 1,55 - (- 0,98) = 2,53$$

Il fait donc apparaître le P<sub>7</sub> plus différencié que le P<sub>1</sub> ce qui est en accord avec les observations morphologiques. Il faut remarquer que les indices calculés sur les valeurs brutes sont en désaccord avec ces constatations, en effet :

$$\begin{aligned} \text{Profil 1 : enrichissement absolu : } & 16,7 - 9,7 = 7 \text{ \%} \\ \text{indice d'entraînement : } & 16,7 / 9,7 = 1,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Profil 7 : enrichissement absolu : } & 20,1 - 13,1 = 7 \text{ \%} \\ \text{indice d'entraînement : } & 20,1 / 13,1 = 1,53 \end{aligned}$$

Les variations d'argile propres à la différenciation pédologique semblent donc indépendantes des variations globales de texture. Aussi, on peut dire que les indices calculés à partir de l'axe de l'A. C. P., traduisent de façon satisfaisante ces remaniements. Toutefois ces indices sont délicats à comparer à ceux classiquement utilisés. Nous verrons plus loin comment résoudre en partie cette difficulté, pour l'instant nous nous bornerons à constater que les courbes correspondantes (fig. 49) sont toutes de type sigmoïde. Cette

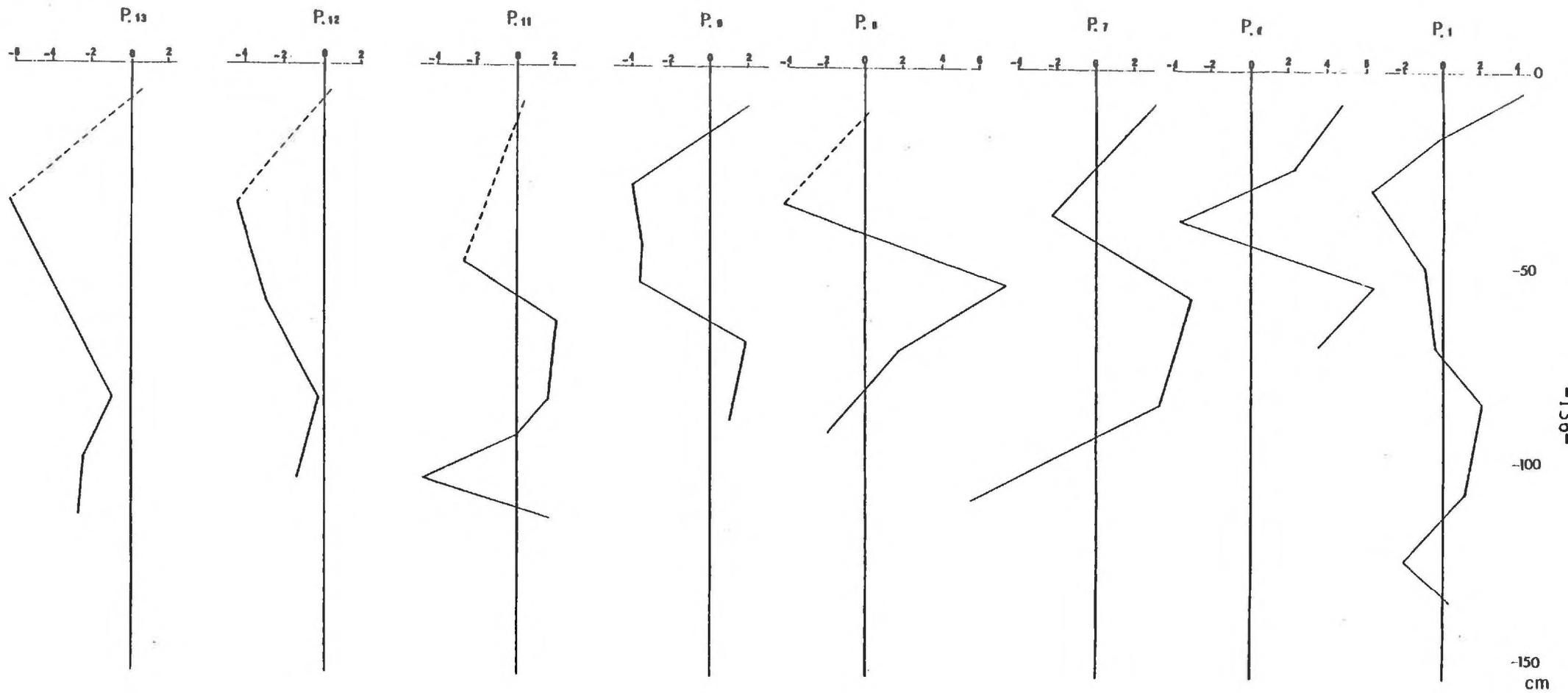


FIGURE 49: LE SOURN: POSITION DES ÉCHANTILLONS SUR L'AXE 2 (LESSIVAGE)

allure sigmoïde est caractéristique des sols soumis au lessivage (SOUCHIER 1971).

2) La partie aval :

Du profil 11 au profil 14 la position des échantillons apparaît plus difficilement interprétable .

Néanmoins, exception faite du P<sub>14</sub>, le déficit en argile de l'horizon E croît globalement vers l'aval, ce qui doit correspondre à une accentuation du lessivage dans cette zone. Parallèlement l'excédent de l'horizon T décroît et, cet horizon devient même déficitaire en argile au niveau de P<sub>12</sub> et P<sub>13</sub>. L'interprétation la plus naturelle est d'associer cette évolution à la présence des langues de dégradation qui apparaissent au p. 11 et se développent ensuite vers l'aval.

Les interprétations seront développées après l'application du modèle de mélange.

*I - 1. 1. 3. Conclusion*

Deux axes majeurs apparaissent. Le premier traduit les variations globales de la texture, en opposant notamment les limons, et dans une faible mesure l'argile, aux sables.

Le second axe correspond aux variations de teneur en argile indépendamment des variations globales de texture.

*I - 1. 2. Les données chimiques*

Dix échantillons dont la teneur en limons est croissante servent de base à cette étude.

Dans un premier temps nous ferons une analyse globale des résultats. L'interprétation complète se fera à la lumière de ceux de la granulométrie.

Les pourcentages d'inertie des différents axes sont les suivants :

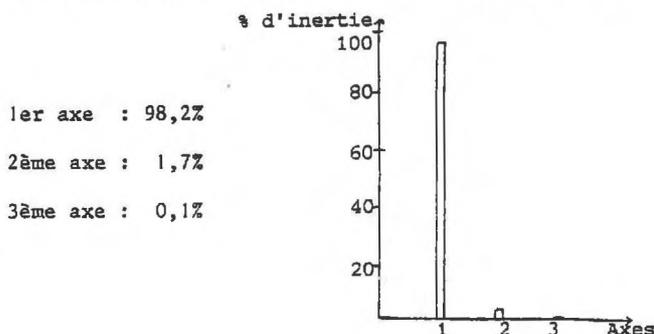


FIGURE 50

Pour les autres axes le pourcentage est inférieur à 0,1%. Il se dégage donc un axe très largement prépondérant qui explique 98,2% des variations des mesures. Entre les deux premiers axes 99,9% des variations sont expliquées.

I - 1. 2. 1 Le premier axe

Les corrélations des variables à cet axe sont les suivantes :

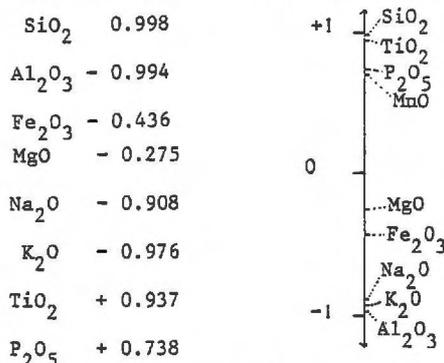


FIGURE 51

L'ensemble des variables présente une bonne corrélation à l'axe à l'exception de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO. Cet axe oppose les échantillons riches en SiO<sub>2</sub> et TiO<sub>2</sub>, à ceux riches en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O.

I - 1. 2. 2. Le second axe

Les corrélations des variables à cet axe sont de :

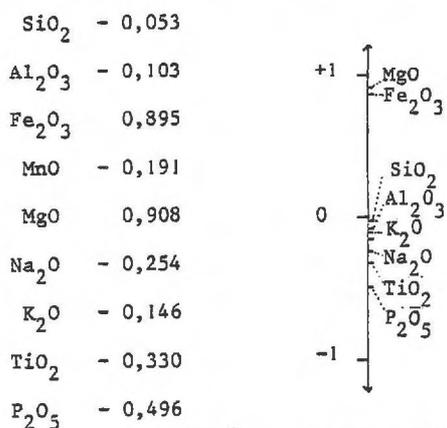


FIGURE 52

Deux variables présentent une bonne corrélation à l'axe : MgO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cet axe classe donc les individus en fonction de leur teneur en MgO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> indépendamment des variations prises en compte par le premier axe.

I - 1. 3. Synthèse des données granulométriques et chimiques

Dans les analyses granulométriques, comme dans les analyses chimiques, l'analyse en composantes principales fait apparaître un axe prépondérant, qui explique les variations de la plupart des variables, et, un second qui traduit les variations de l'argile pour la granulométrie, de MgO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour la chimie.

A ce point de l'étude il n'est pas absolument certain que ces deux couples d'axes ont la même signification

Pour résoudre cette question deux voies sont possibles :

- Comparer les positions des échantillons communs aux deux analyses sur les axes de même rang. Ceci peut se faire par l'intermédiaire d'une représentation graphique croisant les axes factoriels, complétés par le calcul de coefficient de corrélation.
- Traiter par une seule analyse en composantes principales l'ensemble des variables granulométriques et chimiques.

*I - 1. 3. 1. Les corrélations entre les axes issus des analyses chimiques et granulométriques*

Les représentations graphiques (fig. 53 a et b) croisant les axes de même rang des données chimiques et granulométriques montrent qu'ils se correspondent. Toutefois, les échantillons 21 S<sub>4</sub> pour les axes 1 et 21 S<sub>2</sub> pour les axes 2 font exception. Or, l'échantillon 21 S<sub>4</sub> est le prélèvement le plus argileux pris en compte et l'échantillon 21 S<sub>2</sub> provient d'un horizon éluvié enrichi en matière organique (CURMI, thèse en cours). Cette richesse en matière organique explique, vraisemblablement, que le lessivage n'apparaisse pas au niveau des données granulométriques. Les coefficients de corrélation valent respectivement 0,94 et 0,90 (en excluant des calculs les échantillons 21 S<sub>2</sub> et 21 S<sub>4</sub>). Ils confirment que les données chimiques et granulométriques sont reliées par un facteur naturel.

Une identification de ce facteur peut être fournie par une analyse portant sur les deux ensembles de données.

*I - 1. 3. 2. L'analyse en composantes principales des données chimiques et granulométriques*

Les résultats bruts de l'analyse en composantes principales qui porte sur les données granulométriques et chimiques des dix échantillons sont les suivants :

Pourcentage d'inertie des axes :

1er axe	: 79,2%
2ème axe	: 13,1%
3ème axe	: 4,9%
4ème axe	: 1,4%
5ème axe	: 1,0%
6ème axe et suivants	≤ 0,3%

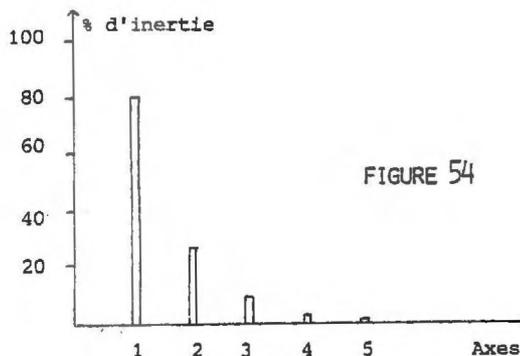


FIGURE 54

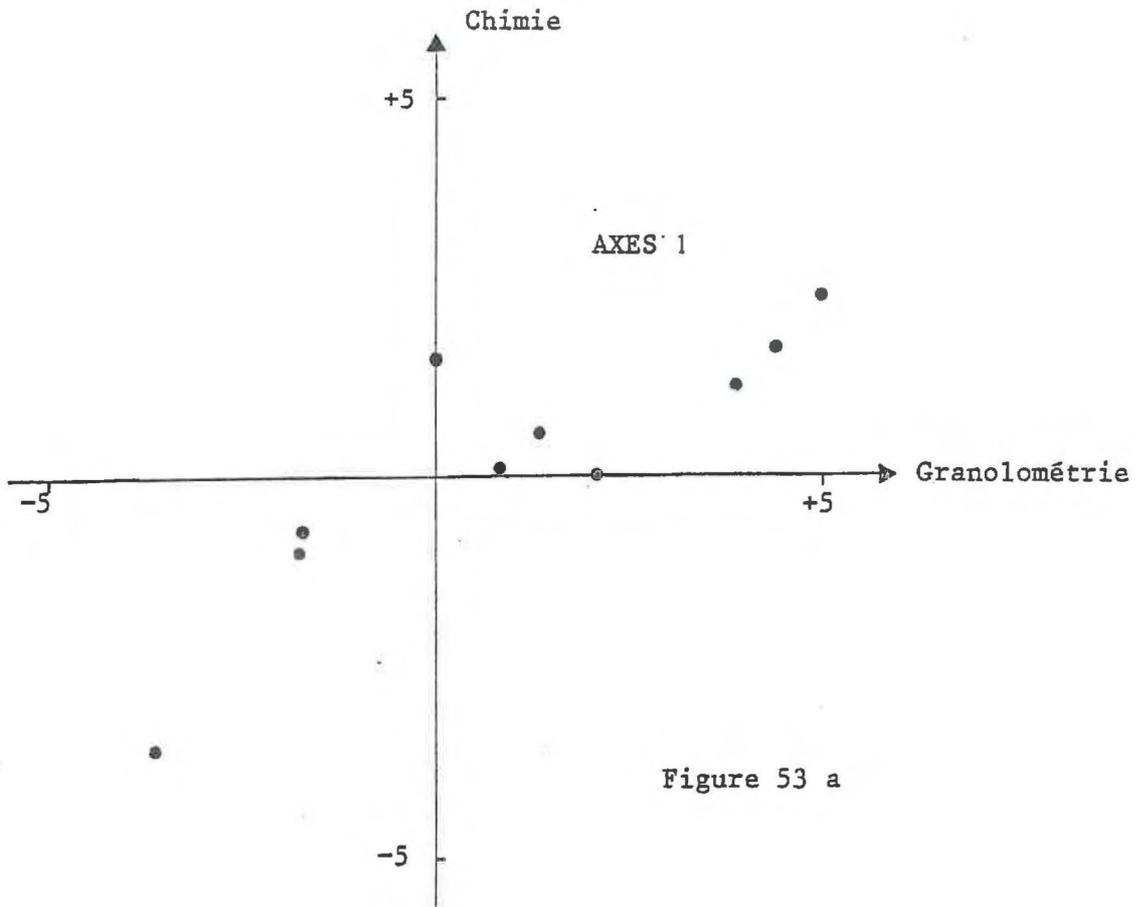


Figure 53 a

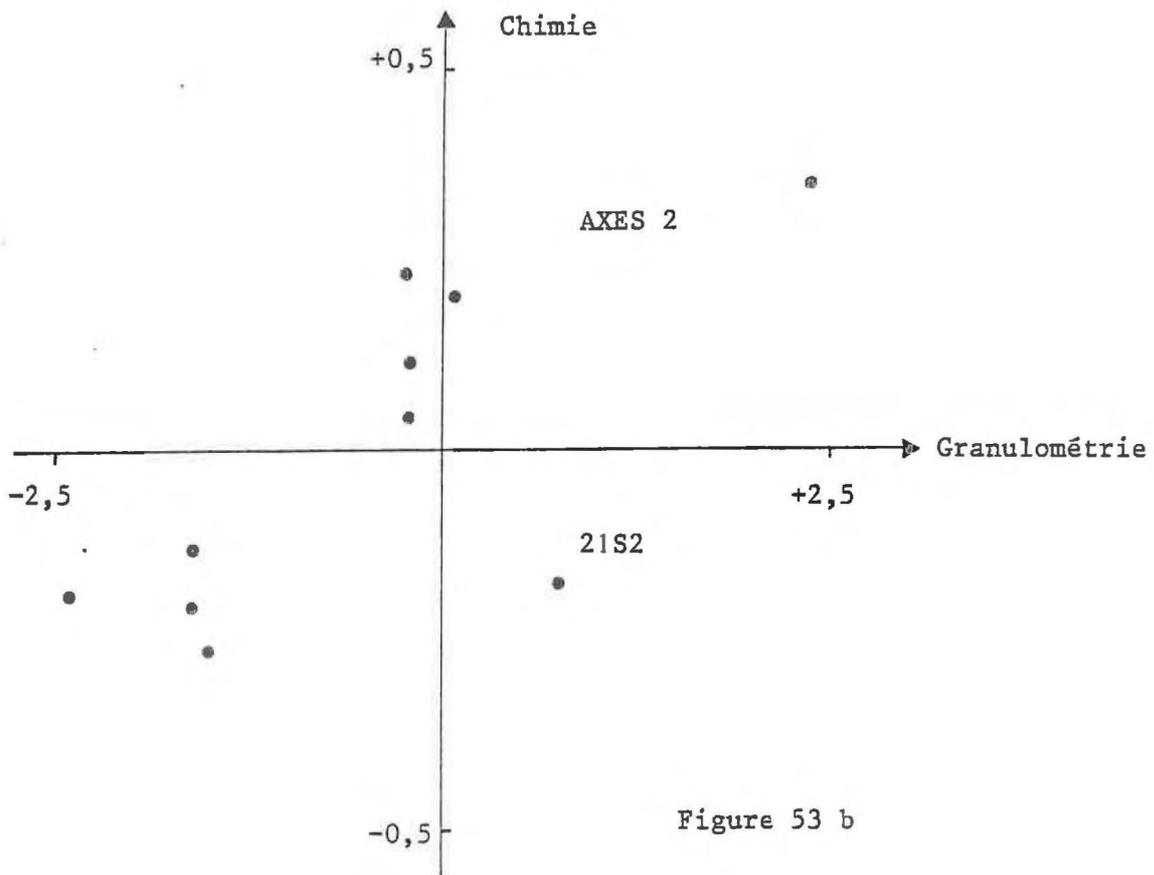


Figure 53 b

FIGURE 53 a et b: CORRÉLATION DES AXES DE MÊME RANG



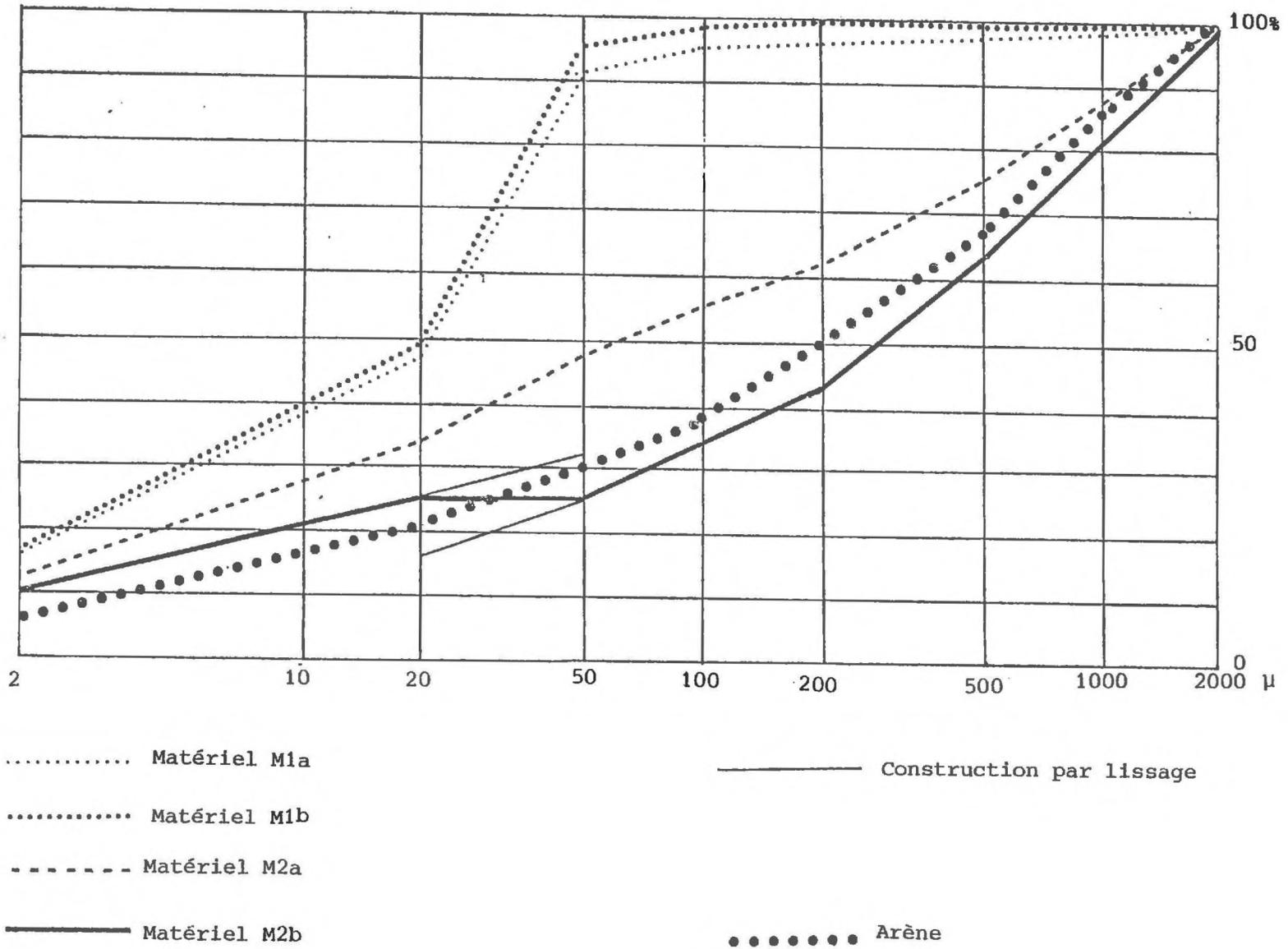


FIGURE 55: LE SOURN: COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES DIFFERENTS MATERIAUX

Matériel 2 : M <sub>2</sub>		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2a borne du nuage	% bruts	12.5	20.8	15.2	7.3	6.4	13.3	12.6	11.9
	% cumulés		(33.3)	(48.5)	(55.8)	(62.2)	(75.5)	(88.1)	(100)
M2b annulation d'une composante	% bruts	10.3	15.0	0	9.0	9.3	19.8	18.6	17.6
	% cumulés		(25.3)	(25.3)	(34.3)	(43.6)	(63.4)	(82.0)	(99.6)

Discussion :

Il faut tout d'abord rappeler que ces estimations sont ponctuelles ; c'est-à-dire que l'incertitude sur l'axe n'est pas prise en considération.

Les écarts entre les deux estimations ponctuelles de M<sub>1</sub> sont relativement faibles. La composante qui s'annule est S<sub>3</sub> mais, S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>5</sub> sont alors également voisins de zéro. Il n'y a donc aucune raison de rejeter l'hypothèse selon laquelle ce matériel 1 ne renferme pas de fraction supérieure à 100 μ. Ceci sera précisé lors de la synthèse de l'ensemble des résultats.

Les écarts entre les deux estimations ponctuelles de M<sub>2</sub> sont assez élevés. Les courbes granulométriques cumulatives, qui correspondent à ces deux estimations ont un aspect concave, comparable à celui des courbes de l'arène sous-jacente (fig. 55). La composition moyenne de celle-ci est d'ailleurs voisine de celle des estimations de M<sub>2</sub> :

		A.	L.F.	L.G.	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5
Arène moyenne	% brut	6.1	13.5	9.3	7.3	8.5	18.9	17.7	18.5
	% cumulé		(19.6)	(28.9)	(36.2)	(44.7)	(63.6)	(81.3)	(99.8)

Or, :

1°) Il est peu probable que l'arène en s'altérant donne un matériel qui ne contient pas de limon grossier (cas de M<sub>2</sub>b).

2°) Il semble également peu vraisemblable qu'un matériel qui renferme des sables de classe I et des limons fins ne contienne pas de limon grossier. Une construction par lissage de la courbe M<sub>2</sub>b indique entre 10 et 14% de limon grossier.

3°) Enfin, lors du dépouillement préliminaire (p.103) on observe que les échantillons qui contiennent plus de 14% de S<sub>4</sub> ne sont pas issus du mélange de deux matériaux (ceux dont la teneur en S<sub>4</sub> est comprise entre 12 et 14% ont un comportement mixte).

Il est donc justifié d'émettre une hypothèse sur la composition de M<sub>2</sub>. Comme ce matériel apparaît proche des arènes elle va être proposée par référence à celles-ci.

La teneur moyenne en limon grossier des échantillons d'arène directement situés

sous le sol est de 12,64%. Dans la suite de calculs je considérerai que ces arènes ne peuvent fournir moins de 12% de limon grossier. La composition de  $M_2$  qui en résulte est :

		A.	L.F.	L.G.	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5
$M_2^c$	hypothèse % brut	12	19.6	12.0	7.7	7.0	14.7	13.9	13.1
	sur L.G. % cumulé		(31.6)	(43.6)	(51.3)	(58.3)	(73.0)	(86.9)	(100)

Notons que la teneur en  $S_4$  (13,9%) se situe à l'intérieur de la fourchette définie lors du dépouillement préliminaire (12-14%).

Les deux composants du mélange étant estimés il devient possible de donner leur proportion relative pour chaque échantillon. Cette proportion correspond à leur position sur l'axe 1. La teneur maximum en  $M_2$  est comprise entre 89 et 100% (échantillon 1510), la teneur maximum en  $M_1$  entre 92 et 100% (échantillon 243). L'amplitude de la fourchette obtenue est donc relativement faible.

Les résultats pour le profil 1 sont présentés dans le tableau suivant. Les résultats complets sont donnés en annexe.

IDENTIFICATION de l'échantillon	COMPOSITION	ARGILE	LIMON FIN	LIMON GROSSIER	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	POURCENTAGE de $M_2$	
										Maximum	Minimum
121	réelle	18,1	22,7	24,5	7,5	4,1	8,3	8,6	6,5	67	57
	estimée	13,9	24,5	25,3	8,1	4,4	9,0	8,6	8,1		
122	réelle	13,9	28,8	26,1	5,9	4,1	7,6	7,5	6,1	59	49
	estimée	14,2	25,4	27,8	5,7	3,2	7,9	7,5	7,1		
123	réelle	9,7	23,7	22,8	7,9	5,4	11,3	10,3	8,7	78	69
	estimée	13,4	23,3	21,9	6,5	5,1	10,4	10,0	9,4		
124	réelle	13	26,8	26,4	5,7	4,2	7,8	9,7	8,4	68	58
	estimée	13,9	24,5	25,2	5,1	4,4	9,0	8,7	8,1		
125	réelle	13,6	27,2	25,2	6,4	3,8	7,2	8,0	8,6	64	55
	estimée	14,0	24,9	26,3	5,9	4,2	8,5	8,2	7,7		
126	réelle	16,5	27,6	27,0	6,1	3,6	7,0	5,9	3,3	56	48
	estimée	14,4	25,9	28,8	5,6	3,7	7,5	7,2	6,7		
127	réelle	15,3	26,6	27,0	6,2	3,5	8,8	7,2	7,4	59	49
	estimée	14,2	25,6	28,0	5,7	3,9	7,8	7,6	7,1		
128	réelle	12,4	27,9	27,3	3,7	1,5	6,0	6,9	5,1	56	46
	estimée	14,4	25,9	28,9	3,6	3,7	7,4	7,2	6,7		
129	réelle	12,8	19,8	16,6	6,3	5,3	9,3	12,4	17,0	98	87
	estimée	12,5	21,0	15,8	7,2	6,2	13,0	12,4	11,7		

I - 2. 2. Les données chimiques

I - 2. 2. 1. Les données des analyses chimiques

Dix échantillons prélevés au vu des résultats granulométriques ont fait l'objet d'analyses chimiques. Ces résultats pondérés pour que leur somme boucle à 100 % ont été traités par ACP et le programme mélange. Les estimations des pôles du mélange sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M 1 a borne du nuage	81.1	10.5	3.1	0.06	0.56	1.18	2.28	0.86	0.06	0.24
M 1 b annulation d'une composante	88	5.1	2.6	0.07	0.49	0.83	1.3	1.0	0	0.25

Matériel 2 : M 2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M 2 a borne du nuage	66.2	21.7	4.0	0.4	0.72	1.9	4.4	0.57	0.20	0.22
M 2 b annulation d'une composante	40.9	40.7	5.6	0	0.98	3.1	7.9	0.08	0.42	0.20

Pour diminuer les fourchettes sur les estimations des deux pôles du mélange, on pourrait envisager, comme pour la granulométrie, de fixer une contrainte supplémentaire. Il semble plus simple de traiter simultanément les données granulométriques et chimiques des 10 échantillons qui ont fait l'objet d'analyses chimiques totales.

I - 2. 2. 2. Les données chimiques associées aux données granulométriques

a) Résultats

Les estimations des pôles du mélange, établies à partir des données communes aux analyses chimiques et granulométriques, sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M1a borne du nuage	14.4	29.8	41.9	3.8	1.3	3.0	2.4	3.1	80.6	10.8	3.3	0.06	0.60	1.2	2.3	0.86	0.06	0.24
M1b annulation d'une composante	14.9	31.5	48.7	3.0	0.20	0.58	0	1.0	84.1	8.0	3.2	0.7	0.60	1.0	1.8	0.94	0.02	0.24

Matériel 2 : M 2

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M2a borne du nuage	12.4	24.3	19.5	6.6	5.1	11.2	10.6	10.2	68.7	20	3.7	0.04	0.65	1.8	4.0	0.6	0.18	0.22
M2b annulation d'une composante	10.8	19.3	0	9	8.5	18.2	17.7	16.2	58.4	28.0	4.0	0.03	0.7	2.3	5.6	0.38	0.29	0.21
M2c hypothèse sur LG	11.8	22.4	12.0	7.5	6.5	13.9	13.3	12.5	64.7	23.1	3.8	0.04	0.65	2.0	4.6	0.52	0.23	0.22

On peut constater que, par rapport aux estimations établies à partir des seules analyses chimiques, les fourchettes sont considérablement réduites.

*b) Vérification de la stabilité des estimations granulométriques*

Les prélèvements les plus sableux et les plus limoneux n'ont pas subi d'analyses chimiques; sont donc comparables entre elles les estimations M1b pour le matériel M1 et M2c pour le matériel M2.

Dans le cas de M1, l'écart maximum entre les estimations concerne la variable LG; il est de 2,5 % en valeur absolue et de 5 % en valeur relative. L'écart minimum en valeur absolue est obtenu sur la variable S1 et est de 0,1 %. Pour M2, l'écart maximum entre les estimations est obtenu sur LF; il vaut 2,2 % en valeur absolue, soit 10 % en valeur relative.

*c) Conclusion*

Les estimations établies à partir de 10 et de 66 données granulométriques sont très voisines. L'axe 1 est donc stable, ce qui permet de s'appuyer sur les données granulométriques pour améliorer les estimations concernant la chimie. D'autre part, la variable S3 s'annule dans l'estimation M1b qui porte sur 66 données, alors que, dans l'autre estimation, c'est S4 qui s'annule. Ceci confirme l'interprétation précédemment avancée, à savoir l'absence de particules supérieures à 100 µ dans le matériel M1.

Comparons maintenant les compositions de M1b et M2c qui représentent les valeurs extrêmes pour les deux constituants du mélange, à celle de l'arène.

I - 3. Relations entre les deux composants du mélange et l'arène

Une composition moyenne d'arène a été déterminée à partir des analyses effectuées sur les échantillons prélevés à moins de 250 cm de profondeur. Comme pour l'étude par A.C.P., les compositions chimiques des sols ont dû être ramenées à 100 %, celle de l'arène moyenne a été corrigée de la même façon.

I - 3. 1. Comparaison des compositions de M2c et de l'arène

I - 3. 1. 1. *La granulométrie*

La courbe cumulative de M2c est proche de celle de l'arène et est décalée vers le haut (fig. 55). Ceci traduit un enrichissement en éléments fins et un appauvrissement en éléments grossiers. En effet, par rapport à l'arène M2c renferme :

A	:	+ 5,7 %	S2	:	- 2,0 %
LF	:	+ 8,9 %	S3	:	- 2,5 %
LG	:	+ 2,7 %	S4	:	- 4,4 %
S1	:	+ 0,2 %	S5	:	- 6,0 %

Du point de vue granulométrique, M2c apparait comme pouvant être dérivé de l'arène et plus altéré que celle-ci.

I - 3. 1. 2. *La chimie*

a) *Résultat*

Les compositions chimiques de l'arène moyenne et de M2c sont voisines (Tableau VII). La solubilité des éléments qu'il faut envisager pour passer de l'arène à M2c par altération a été calculée selon la formule :

$$\text{solubilité d'un élément} = \frac{\text{sa teneur dans l'arène} - \text{sa teneur dans M2c}}{\text{sa teneur dans l'arène}}$$

L'ordre de solubilité qu'il faut envisager dans l'hypothèse d'une altération in situ (Tableau VII) est représenté par la figure 56 :

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	
arène moyenne	6.1	13.5	9.3	7.3	8.5	18.9	17.7	18.5	66.5	22.1	2.36	0.02	0.50	2.9	4.8	0.41	0.16	0.29	
M1b	14.9	31.5	48.7	3.0	0.2	0.6	0	1	84.1	8.0	3.2	0.07	0.60	1.0	1.8	0.94	0.02	0.24	
M2c	11.8	22.4	12.0	7.5	6.5	13.9	13.3	12.5	64.7	23.1	3.8	0.04	0.66	2.0	4.6	0.52	0.23	0.22	
arène M2c solubilité	=	$\frac{\text{arène} - \text{M2c}}{\text{arène}}$								-2.7	-4.5	-61	/	-32	31	4.2	-26	44	24
arène M1b solubilité	=	$\frac{\text{arène} - \text{M1b}}{\text{arène}}$								-26.5	63.8	-35.6	/	-20	65.3	62.5	-129	-87	17

Tableau VII : Le Sourn : Comparaison de la composition des arènes moyennes et de celle des 2 constituants initiaux du mélange.  
Solubilité des divers éléments dans l'hypothèse d'une altération in situ

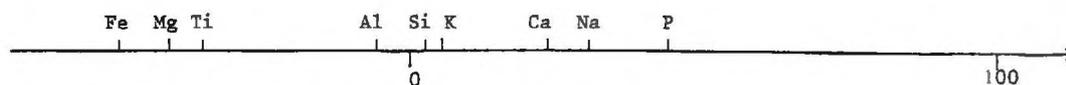


FIGURE 56: SOLUBILITÉ RELATIVE DES ÉLÉMENTS DANS L'HYPOTHÈSE D'UNE ALTÉRATION IN SITU : ARÈNE → M2c

*b) Discussion*

Mg et Fe varient de façon importante dans les arènes et sont peu dépendants du premier axe de l'A.C.P.; leur estimation peut donc être biaisée; ils ne seront pas pris en considération. Si l'on excepte ces deux éléments, les ordres de solubilité sont :

- dans une présentation inspirée des travaux de DEJOU (1958) et TARDY (1969) :

$$\text{Si} > \text{Al} \quad ; \quad \text{Na} > \text{K}$$

- dans une présentation inspirée des travaux de SEDDOH (1973) :

$$\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Si} > \text{Al}$$

Or, les ordres de départ qui ont été présentés par les premiers sont :

$$\text{Si} > \text{Al} > \text{Fe} \quad ; \quad \text{Na} > \text{K} \quad ; \quad \text{Ca} > \text{Mg}$$

et ceux proposés par SEDDOH (1973, p. 214) :

Ca, Na > Fe<sup>2+</sup> > Mg > Si > Fe<sup>3+</sup> > K > Al pour les roches granitiques faiblement micacées;

Ca, Na > Fe<sup>2+</sup> > Mg > K > Si > Fe<sup>3+</sup> > Al pour les roches riches en micas trioctaédriques.

Pour ces éléments, l'ordre de départ supposé pour passer de l'arène à M2c est donc comparable à celui donné par ces auteurs. Il est donc possible d'établir, pour les éléments considérés, le bilan des exportations. Le bilan effectué à Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> constant indique une exportation, pour une masse initiale de 100 g d'arène, de :

4.6 g de SiO <sub>2</sub>	0.4 g de K <sub>2</sub> O
1 g de Na <sub>2</sub> O	0.08 g de CaO

*c) Comparaison avec d'autres bilans*

Afin d'apprécier la signification de ce bilan, il m'apparaît indispensable de le comparer à d'autres qui ont pu être présentés par ailleurs.

- Dans le bassin d'Alrance (Massif Central), TARDY (1969) a déterminé les masses perdues par volume de roche, soit (p. 144) :

95.5 g de SiO<sub>2</sub> pour 100 cc de roche ; 7.40 g de K<sub>2</sub>O pour 100 cc de roche

7.24 g de Na<sub>2</sub>O pour 100 cc de roche ; 3.46 g de CaO pour 100 cc de roche

Pour les rapprocher de celles évacuées au Sourn, il est nécessaire d'émettre une hypothèse

sur la densité du granite; je considérerais une densité de 2,7. Les exportations dans le bassin d'Alrance auraient donc été pour 100 g de roche au départ, de :

3.82 g pour SiO <sub>2</sub>	0,30 g pour K <sub>2</sub> O
0.29 g pour Na <sub>2</sub> O	0.14 g pour CaO

- Dans les massifs des Vosges et de la Margeride, les exportations varieraient, selon BOURRIE (1976, p. 169) :

de 2211 à 4410 kg/km <sup>2</sup> /an pour SiO <sub>2</sub>	; 42 à 226 kg/km <sup>2</sup> /an pour K <sub>2</sub> O
de 298 à 899 kg/km <sup>2</sup> /an pour Na <sub>2</sub> O	; 247 à 1682 kg/km <sup>2</sup> /an pour CaO

Ces exportations sont exprimées en masse par unité de bassin versant et par an. Il convient donc, pour les comparer à celles déterminées au Sourn, d'émettre deux hypothèses sur les données du Sourn : l'une sur l'âge du mélange et l'autre sur l'épaisseur moyenne du sol. La dernière venue limoneuse est habituellement datée de 15000 ans (MONNIER, 1973 ; PLIHON, 1974); c'est ce chiffre qui sera retenu dans les calculs. L'épaisseur du sol a été considérée comme variant de 50 cm à 1 m, sa densité étant égale à 1,6. Sous ces hypothèses, les exportations du Sourn seraient comprises entre :

2450 et 4900 kg/km <sup>2</sup> /an pour SiO <sub>2</sub>	; 210 et 420 kg/km <sup>2</sup> /an pour K <sub>2</sub> O
500 et 1000 kg/km <sup>2</sup> /an pour Na <sub>2</sub> O	; 42 et 85 kg/km <sup>2</sup> /an pour CaO

Dans les trois cas, les exportations sont du même ordre de grandeur. Les arènes du Sourn, peu calciques, conduisent à de faibles exportations de cet élément.

#### d) Conclusion

L'ordre de départ des éléments qu'il faut envisager dans le cas d'une altération in situ arène M2c est comparable à ceux généralement admis. Par conséquent, de même que l'étude granulométrique permet de montrer que M2c provient de l'arène par un affinement, l'étude chimique met en évidence que M2c peut être considéré comme dérivant de l'arène par une altération plus poussée.

#### I - 3. 2. Comparaison de M1b et de l'arène (Tableau VII)

M1b a un excellent granoclassement et sa courbe cumulative est d'allure sigmoïde (fig. 55). Ceci paraît caractéristique d'un matériel transporté. On peut néanmoins supposer qu'il dérive des arènes. Dans cette hypothèse, la solubilité des éléments qu'il faut envisager est (Tableau VII, fig. 57) :

Na >> Al >> K >> Ca > Mg > Si > Fe >> Ti

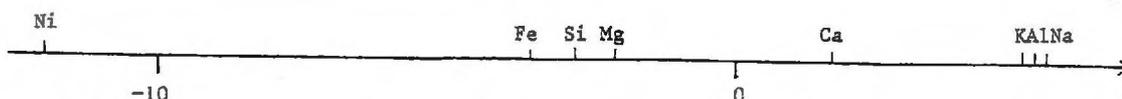


FIGURE 57: SOLUBILITÉ RELATIVE DES ÉLÉMENTS DANS L'HYPOTHÈSE D'UNE ALTÉRATION IN SITU : ARÈNE → M1b

Notamment, il faut concevoir une très grande solubilité pour l'aluminium; ceci est en contradiction avec les connaissances sur l'altération. M1b ne peut donc dériver de l'arène sous-jacente et doit être considéré comme un matériel d'apport.

### I - 3. 3. Conclusion

L'étude et la comparaison des compositions granulométriques et chimiques des arènes et des deux constituants des sols mettent en évidence que l'un d'eux dérive des arènes par altération, tandis que l'autre ne présente aucun lien de parenté avec le substrat et doit s'interpréter comme un apport.

## I - 4. Les différenciations pédogénétiques

### I - 4. 1. Les données granulométriques

#### I - 4. 1. 1. Introduction

La plupart des indices d'entraînement mettent en rapport la teneur de l'horizon d'accumulation et celle de l'horizon lessivé d'un profil. Ce calcul suppose implicitement que les teneurs initiales des deux horizons étaient identiques. Or, dans la séquence du Sourn (comme dans les autres), le fait qu'il y ait mélange interdit une telle supposition.

Le modèle de mélange permet, dans ce cas, d'isoler les variations d'argile propres à la pédogenèse. Nous avons vu en effet (I - 1. 1. 2., p. 133) que l'axe 2 de l'A.C.P. est représentatif, pour l'essentiel, des variations d'argile et, plus précisément, des variations qui sont indépendantes, au sens mathématique, du mélange (axe 1). Nous pouvons donc admettre que la différence entre la teneur réelle en argile d'un échantillon et sa teneur estimée correspond, principalement, au lessivage.

Pour illustrer ceci, comparons entre eux :

- 1 - les indices d'entraînement de l'argile calculés habituellement, c'est-à-dire le simple rapport entre la teneur en argile de l'horizon XT sur celle de l'horizon E.
- 2 - les indices déterminés en tenant compte des variations initiales d'argile dans le profil et en "reconstituant" un profil initial homogène.
- 3 - les indices fondés sur les dépôts observés dans les horizons E, sans tenir compte de l'accumulation dans les horizons XT.

I - 4. 1. 2. Principes de calcul

Appelons :

$A_I$  : le taux d'argile initial d'un horizon avant le lessivage; il correspond, ici, au taux estimé pour le modèle.

$A_{Ie}$  : taux d'argile initial d'un horizon lessivé

$A_{It}$  : taux d'argile initial d'un horizon d'accumulation

$A_M$  : la quantité d'argile migrée; elle correspond à la différence entre le taux d'argile réel et le taux estimé. Dans le cas d'une accumulation,  $A_M$  est positif, dans le cas inverse, il est négatif.

$A_{Me}$  : argile qui a migré d'un horizon E

$A_{Mt}$  : argile qui s'est accumulée dans un horizon T

$A_T$  : la teneur réelle d'un horizon d'accumulation

$A_E$  : la teneur réelle d'un horizon éluvié

On peut écrire :

$$A_T = A_{It} + A_{Mt} \quad \text{et} \quad A_E = A_{Ie} - A_{Me}$$

a) L'emploi de l'indice d'entraînement est justifié si  $A_{It} = A_{Ie}$ ; l'enrichissement absolu est alors :

$$A_T - A_E = 2 A_M \quad \text{d'où} \quad A_M = \frac{A_T - A_E}{2} \quad ; \quad \text{l'indice d'entraînement est}$$

$$\frac{A_T}{A_E} = \frac{A_I + A_M}{A_I - A_M}$$

b) Lorsque dans un profil,  $A_I$  n'est pas constant, il apparaît logique de se ramener à un  $A_I$  moyen; appelons-le  $A_{I\mu}$ .  $A_{I\mu} = \frac{A_{It} + A_{Ie}}{2}$ . L'enrichissement absolu est :  $A_{Mt} - A_{Me}$ , soit  $2 A_M$ . L'indice d'entraînement est alors :  $\frac{A_{I\mu} + A_M}{A_{I\mu} - A_M}$ . Un tel profil où le taux d'argile initial a été corrigé sera appelé "profil corrigé".

c) De plus, il semble souhaitable de pouvoir distinguer le lessivage proprement dit de l'accumulation; ceci conduit à ne prendre en compte que l'horizon E. Il faut donc construire un profil théorique correspondant au lessivage observé dans cet horizon E. Dans ce but, considérons que toute l'argile qui a migré de l'horizon E s'est accumulée dans l'horizon T; l'enrichissement absolu est alors :  $2 A_{Me}$  et l'indice d'entraînement est :

$$\frac{A_{Ie} + A_{Me}}{A_{Ie} - A_{Me}} \quad \text{soit} \quad \frac{A_{Ie} + A_{Me}}{A_E}$$

I - 4. 1. 3. Les résultats

Ces différents calculs ont été effectués pour tous les profils (Tableau VIII)

a) Les résultats sur les valeurs brutes et sur les profils corrigés sont assez voisins. Ceci est lié aux faibles différences de teneurs en argile des deux composants

PROFILS	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13
$A_E$	9,7	10	12,3	14	11,2	13,1	11,3	12,3	13,1	11,4	9,8
$A_{Ie}$	13,4	13,9	13,6	15,2	14,9	15,3	15,4	16,3	15,8	16	16,0
$A_{Me}$	- 3,7	- 3,9	- 1,3	- 1,2	- 3,7	- 2,2	- 4,1	- 4	- 2,7	- 4,6	- 6,2
$A_T$	16,5	15,2	12,7	19,1	21,4	20,1	21,7	17,8	17,5	15,3	14,8
$A_{It}$	14,4	13,9	13,3	14,9	15,1	15,3	14,4	16	15,5	15,6	15,8
$A_{Mt}$	2,1	1,3	- 0,6	4,2	6,3	4,8	7,3	1,8	+ 2,5	- 0,3	- 1
$A_{I\mu}$	13,9	13,9	13,45	15,05	15	15,3	14,9	16,15	15,65	15,8	15,9
$A_T - A_E$	6,8	5,2	0,4	5,1	10,2	7	10,4	5,5	4,4	3,9	5
$A_T / A_E$	1,70	1,52	1,0	1,36	1,91	1,53	1,92	1,45	1,33	1,34	1,51
$A_{Mt} - A_{Me}$	5,8	5,2	0,7	5,4	10	7	11,4	5,8	5,2	4,3	6,1
$\frac{A_{I\mu} + A_{M\mu}}{A_{I\mu} - A_{M\mu}}$	1,53	1,46	1,05	1,44	2	1,60	2,24	1,44	1,47	1,31	1,47
$2 \frac{ A_{Me} }{A_{Ie} +  A_{Me} }$	7,4	7,8	2,6	2,4	7,4	4,4	8,2	8	5,4	9,2	12,4
$\frac{A_{Ie} +  A_{Me} }{A_{Ie}}$	1,76	1,78	1,21	1,17	1,99	1,33	1,72	1,65	1,41	1,81	2,26

-152-

TABLEAU VIII : LE SOURN : CALCULS DES INDICES D'ENTRAÎNEMENT DE L'ARGILE  
(À PARTIR DES ÉCHANTILLONS LES PLUS ET LES MOINS ARGILEUX).

du mélange. Néanmoins, dans les profils où le taux d'argile initial dans l'horizon d'accumulation est plus élevé que dans l'horizon lessivé, l'indice d'entraînement diminue (P.1), alors qu'il augmente dans les profils qui présentent le cas inverse (P.6,12,13)

b) Les calculs qui prennent en compte uniquement l'horizon lessivé conduisent, dans la partie aval de la séquence, à des résultats sensiblement différents. Dans cette zone, en effet, les indices d'entraînement augmentent et celui du P.13 vaut 2,27 pour un enrichissement absolu de 12,4 %. Ces résultats semblent en accord avec les observations morphologiques qui montrent un éclaircissement et une tendance à la structure massive de l'horizon éluvié vers l'aval. Or, ces derniers calculs se différencient des précédents par le fait qu'ils traduisent le lessivage indépendamment de l'accumulation.

#### *I - 4. 1. 4. Conclusion*

Ces résultats, qui complètent ceux présentés au § I-1.1.2, montrent que :

- dans les horizons E, l'appauvrissement en argile croît régulièrement de l'amont vers l'aval,
- dans les horizons T, il apparaît un enrichissement séquentiel en argile dans la zone amont, alors que, dans la zone aval, cet enrichissement diminue parallèlement au développement des taches et langues d'oxydo-réduction (ceci explique que les indices qui comparent les horizons T aux horizons E sous-estiment le lessivage proprement dit).

#### *I - 4. 2. Les données chimiques*

##### *I - 4. 2. 1. Présentation*

Les axes 2 des A. C. P. des données chimiques et granulométriques se corrèlent entre eux (p.140). Les variations chimiques indépendantes du mélange doivent donc représenter les remaniements pédogénétiques et, plus particulièrement, ceux liés à la différenciation des horizons éluviés et illuviés. Or, les variations indépendantes du mélange correspondent aux écarts qui existent entre la teneur réelle de chaque échantillon et sa teneur estimée par le modèle. L'étude de ces écarts va permettre de préciser les principales modifications attribuables à la pédogénèse.

Les 10 échantillons retenus pour les analyses chimiques ont été choisis en fonction de leur granulométrie. Du point de vue pédologique les prélèvements sont dispersés et, en particulier, aucun profil vertical n'a été systématiquement analysé. Les résultats doivent donc être considérés comme complémentaires de ceux de la granulométrie, c'est pourquoi la zone amont sera distinguée de la zone aval.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	1S2 (P2 - ALE)					
Composition réelle CR	73.27	17.11	2.99	0.45	1.56	3.47
Composition estimée CI	72.14	17.35	3.57	0.64	1.63	3.56
C = CR - CI	1.13	-0.24	-0.58	-0.19	-0.07	-0.01

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	1S3 (P2 - ALE)					
Composition réelle CR	72.76	17.33	3.17	0.58	1.53	3.50
Composition estimée CI	72.00	17.46	3.57	0.64	1.63	3.58
C = CR - CI	0.76	-0.13	-0.40	-0.06	-0.10	-0.06

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	1S8 (P2 - XT)					
Composition réelle CR	66.53	21.21	4.27	0.75	1.90	4.26
Composition estimée CI	68.72	20.01	3.68	0.65	1.81	4.07
C = CR - CI	-2.19	1.20	0.59	0.10	0.09	0.19

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	21S2 (P6 - ALE)					
Composition réelle CR	75.4	15.0	2.98	0.47	1.63	3.30
Composition estimée CI	73.5	16.3	3.52	0.63	1.55	3.35
C = CR - CI	1.9	-1.9	-0.54	-0.16	0.08	-0.05

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	21S3 (P6 - ALE)					
Composition réelle CR	76.92	14.00	3.10	0.52	1.45	2.82
Composition estimée CI	75.91	14.42	3.45	0.63	1.43	3.00
C = CR - CI	1.01	-0.42	-0.35	-0.11	0.02	-0.18

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	21S4 (P2 - XT)					
Composition réelle CR	74.49	14.85	4.40	0.80	1.40	2.90
Composition estimée CI	76.02	14.33	3.45	0.63	1.42	2.98
C = CR - CI	-1.53	0.52	0.95	0.17	-0.02	-0.08

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	31S3 (P12 - XG)					
Composition réelle CR	77.53	12.76	3.78	0.77	1.24	2.73
Composition estimée CI	78.82	12.15	3.36	0.62	1.27	2.57
C = CR - CI	-1.29	0.61	0.42	0.15	-0.03	0.16

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	31S4 (P12 - XG)					
Composition réelle CR	72.47	16.81	3.71	0.78	1.61	3.56
Composition estimée CI	71.83	17.59	3.57	0.64	1.64	3.60
C = CR - CI	0.64	-0.78	0.14	0.14	-0.03	-0.04

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	32S1 (P13 - E)					
Composition réelle CR	80.96	11.05	2.66	0.44	0.28	2.37
Composition estimée CI	80.59	10.78	3.30	0.61	1.18	2.30
C : CR - CI	0.37	0.27	-0.64	-0.17	0.18	0.07

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
	32S2 (P13 - XG)					
Composition réelle CR	78.76	11.82	3.76	0.74	1.19	2.54
Composition estimée CI	79.58	11.57	3.34	0.61	1.23	2.45
C = CR - CI	-0.82	0.25	0.42	0.13	-0.04	0.09

TABLEAU IX: LE SOURN; PRINCIPALES DONNÉES CHIMIQUES

I - 4. 2. 2. Méthode de calcul et résultats

Soit un échantillon; appelons :

- $C_I$  : sa composition estimée par le modèle ; cette composition représente le résultat du mélange  
 $C_R$  : sa composition donnée par l'analyse ; cette composition représente le résultat du mélange et de la pédogenèse

Les variations de compositions induites par la pédogenèse sont données par l'équation :

$$\Delta C = C_R - C_I$$

a) La zone amont (tableau IX)

Dans la zone amont de la séquence, 6 échantillons ont été analysés :

- 4 dans l'horizon ALE
- 2 dans l'horizon XT

Les valeurs de  $\Delta C$  pour les principaux oxydes sont :

SiO <sub>2</sub>	Horizon ALE	:	$\Delta C > 0$
	Horizon XT	:	$\Delta C < 0$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO	Horizon ALE	:	$\Delta C < 0$
	Horizon XT	:	$\Delta C > 0$
K <sub>2</sub> O	Horizon ALE	:	$\Delta C < 0$
	Horizon XT	un échantillon	: $\Delta C < 0$
		un échantillon	: $\Delta C > 0$
Na <sub>2</sub> O	Horizon ALE	un échantillon	: $\Delta C < 0$
		2 échantillons	: $\Delta C > 0$
	Horizon XT	un échantillon	: $\Delta C < 0$
		un échantillon	: $\Delta C > 0$

On peut tout d'abord noter que l'échantillon 21S<sub>2</sub> prélevé dans une zone de l'horizon ALE enrichie en matière organique, présente les mêmes caractères que les trois autres prélèvements de cet horizon. En granulométrie, par contre, l'éluviation ne se marque pas. De ce point de vue, la composition chimique paraît un indicateur plus fidèle. L'ensemble des résultats montre que la différenciation pédologique se traduit par un appauvrissement de l'horizon ALE en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et K<sub>2</sub>O (et un enrichissement relatif en SiO<sub>2</sub>) et un enrichissement de l'horizon XT en ces quatre oxydes. Les variations de Na<sub>2</sub>O sont ambiguës à interpréter; si on établit une moyenne, cet oxyde semble s'accumuler dans l'horizon XT.

b) La zone aval (Tableau IX)

Dans la zone aval de la séquence, 4 échantillons ont été analysés :

- un dans l'horizon éluvié
- 3 dans l'horizon illuvié

Les valeurs de  $\Delta C$  pour les principaux oxydes sont :

SiO <sub>2</sub>	Horizon E	: $\Delta C > 0$
	Horizon TG	2 échantillons : $\Delta C < 0$
		1 échantillon : $\Delta C > 0$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Horizon E	: $\Delta C > 0$
	Horizon TG	2 échantillons : $\Delta C > 0$
		1 échantillon : $\Delta C < 0$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO	Horizon E	: $\Delta C > 0$
	Horizon TG	: $\Delta C < 0$
Na <sub>2</sub> O	Horizon E	: $\Delta C > 0$
	Horizon TG	: $\Delta C < 0$
K <sub>2</sub> O	Horizon E	: $\Delta C < 0$
	Horizon TG	2 échantillons : $\Delta C > 0$
		1 échantillon : $\Delta C < 0$

Comme dans la zone amont, l'horizon éluvié est déficitaire en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO , l'horizon illuvié est excédentaire. Par contre, les variations des autres oxydes semblent peu cohérentes. Ceci est probablement en relation avec l'absence d'enrichissement en argile de l'horizon TG et la présence des taches et des langues d'oxydo-réduction.

I - 4. 3. Mélange et actions pédogénétiques (Tableau IX)

Les variations granulométriques et chimiques sont liées à la fois au mélange entre deux matériaux et aux remaniements par la pédogenèse. Les parts respectives de ces deux facteurs ont été évaluées comme suit :

- Variations dues au mélange : écart des estimations ponctuelles des bornes des nuages de points M<sub>2a</sub> - M<sub>1a</sub>

- Variations liées à la pédogenèse :  $C_R - C_I$  maximum de l'horizon E +  $C_R - C_I$  maximum de l'horizon T (les calculs ne portent que sur la zone amont).

- L'ensemble mélange et actions pédologiques est ensuite ramené à l'unité.

Les résultats sont les suivants (les chiffres entre parenthèses indiquent les valeurs brutes) :

Pour SiO <sub>2</sub>	: le mélange a induit 75 % (11.87 %) des variations des mesures
	la pédogenèse a induit 25 % (3.99%) des variations des mesures
Pour Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: le mélange a induit 79 % (9.23 %) des variations des mesures
	la pédogenèse a induit 21 % (2.50%) des variations des mesures
Pour Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: le mélange a induit 19 % (0.38 %) des variations des mesures
	la pédogenèse a induit 91 % (1.58 %) des variations des mesures

- Pour MgO : le mélange a induit 8 % (0.03 %) des variations des mesures  
la pédogenèse a induit 92 % (0.36 %) des variations des mesures
- Pour Na<sub>2</sub>O : le mélange a induit 81 % (0.64 %) des variations des mesures  
la pédogenèse a induit 19 % (0.15 %) des variations des mesures
- Pour K<sub>2</sub>O : le mélange a induit 90 % (1.76 %) des variations des mesures  
la pédogenèse a induit 10 % (0.20 %) des variations des mesures

Ces résultats sont illustrés par la figure 59 qui tient compte du sens des actions pédogénétiques et intègre le cas de l'argile.

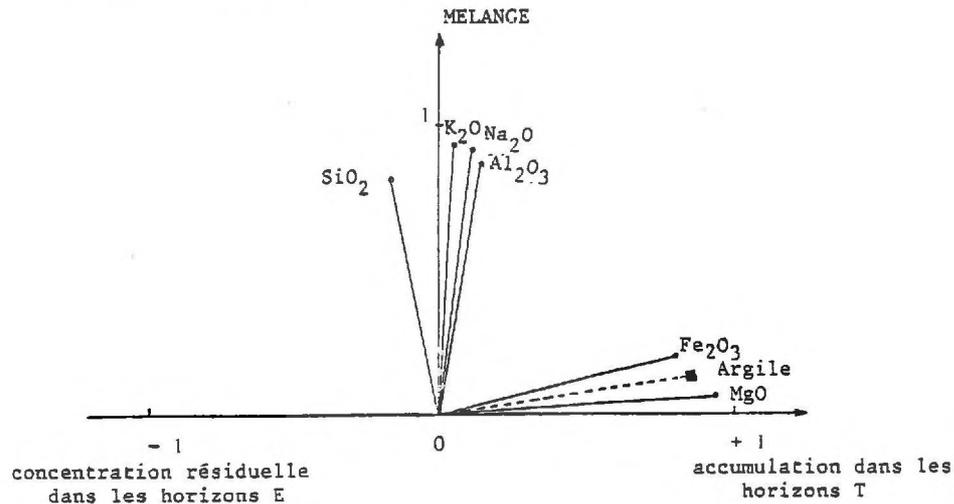


FIGURE 59 : IMPORTANCE RELATIVE DE L'ACTION DE LA PÉDOGENÈSE ET DU MÉLANGE SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LA TENEUR EN ARGILE DES SOLS DU SOURN (ZONE AMONT)

#### I - 5. Conclusion

Les sols du Sourn sont le résultat du mélange de deux matériaux, l'un est d'apport et l'autre est issu du substrat par altération. La pédogenèse a transformé les produits ainsi définis. Des points de vue chimique et granulométrique, l'éluviation et l'illuviation sont les processus essentiels qui se développent dans la zone amont de la séquence. Vers l'aval, l'illuviation semble se perturber parallèlement au développement des taches et langues d'oxydo-réduction.

La répartition des matériaux le long de la séquence est illustrée par la figure 60

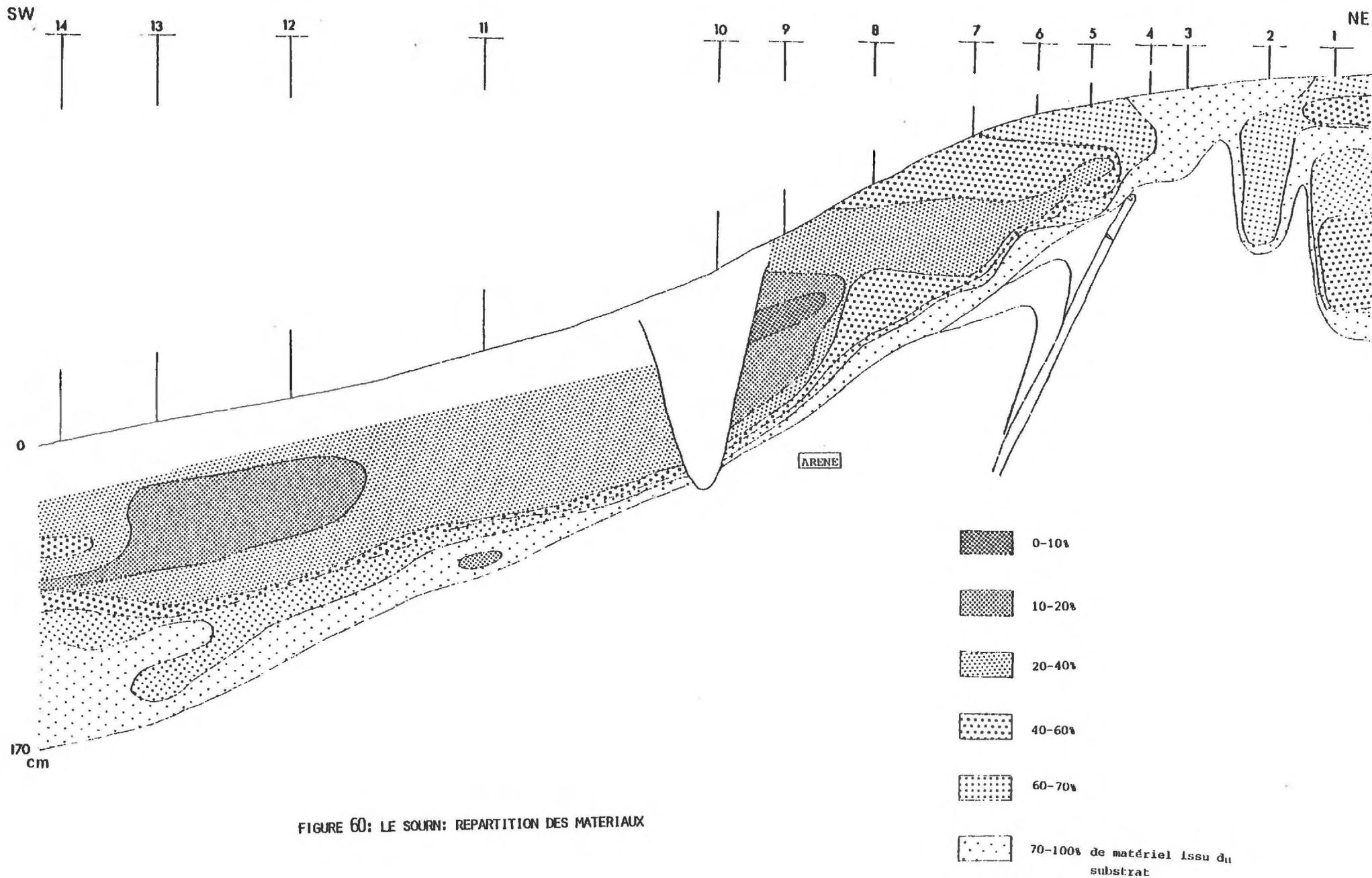


FIGURE 60: LE SOURN: REPARTITION DES MATERIAUX

**II - LES AUTRES SEQUENCES**

II - 1. La séquence de Ste Tréphine 1

II - 1. 1. Les résultats des A.C.P.

II - 1. 1. 1. Les 30 données granulométriques

a) Les fruits

Les pourcentages d'inertie des différents axes construits à partir des 30 données granulométriques sont de :

- 1er axe : 65.3 %
- 2ème axe : 18.4 %
- 3ème axe : 10.5 %
- 4ème axe : 4.1 %
- 5ème axe : 1.1 %
- 6ème et suivants : 0.5 %

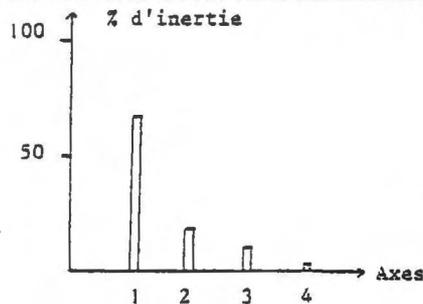


FIGURE 61

Les corrélations des variables aux trois premiers axes sont de :

	1 Axe	2 Axe	3 Axe
A	.551	.663	-.528
LF	.540	.555	.631
LG	.919	-.394	-.017
S1	-.636	-.181	-.216
S2	-.932	-.181	.069
S3	-.946	-.215	-.081
S4	-.932	-.183	-.031
S5	-.814	-.177	.089

Le premier axe, comme dans la séquence du Sourn, oppose les sables aux éléments plus fins et constitue un indicateur synthétique de la texture. Remarquons que la corrélation de l'argile à l'axe est meilleure qu'au Sourn tandis que celle des limons fins est plus faible (l'analyse des autres axes, puis les estimations de la composition des deux constituants du mélange vont permettre de comprendre ces différences). Le report sur la séquence des positions des échantillons sur l'axe conduit à un schéma comparable à celui obtenu au Sourn : une disposition en enveloppes ouvertes vers l'aval, les échantillons les plus limoneux se situant au coeur de ces enveloppes (cette position est équivalente des proportions de mélange; il convient donc de se reporter à la figure 69, p. 170)

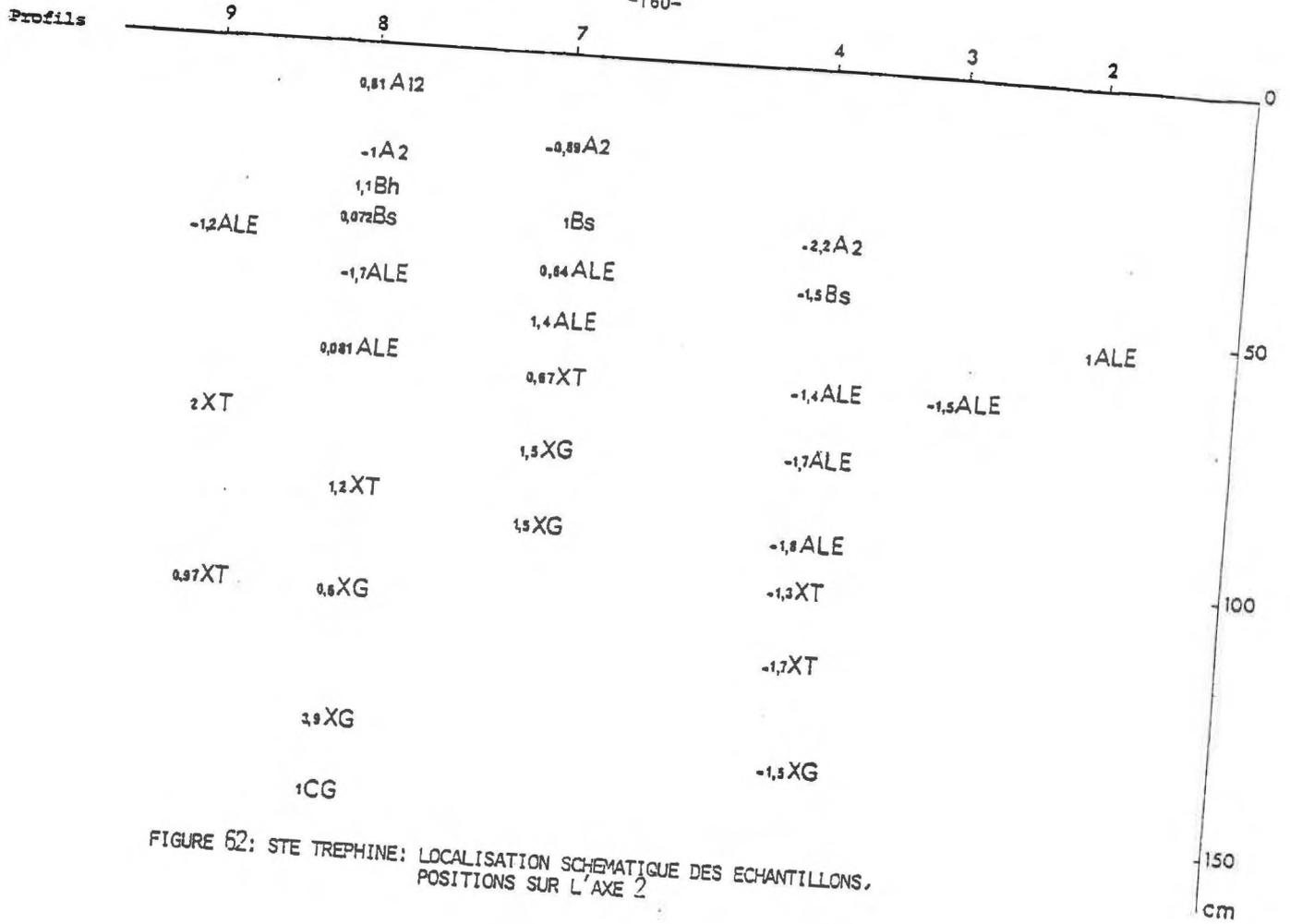


FIGURE 62: STE TREPHINE: LOCALISATION SCHEMATIQUE DES ECHANTILLONS, POSITIONS SUR L'AXE 2

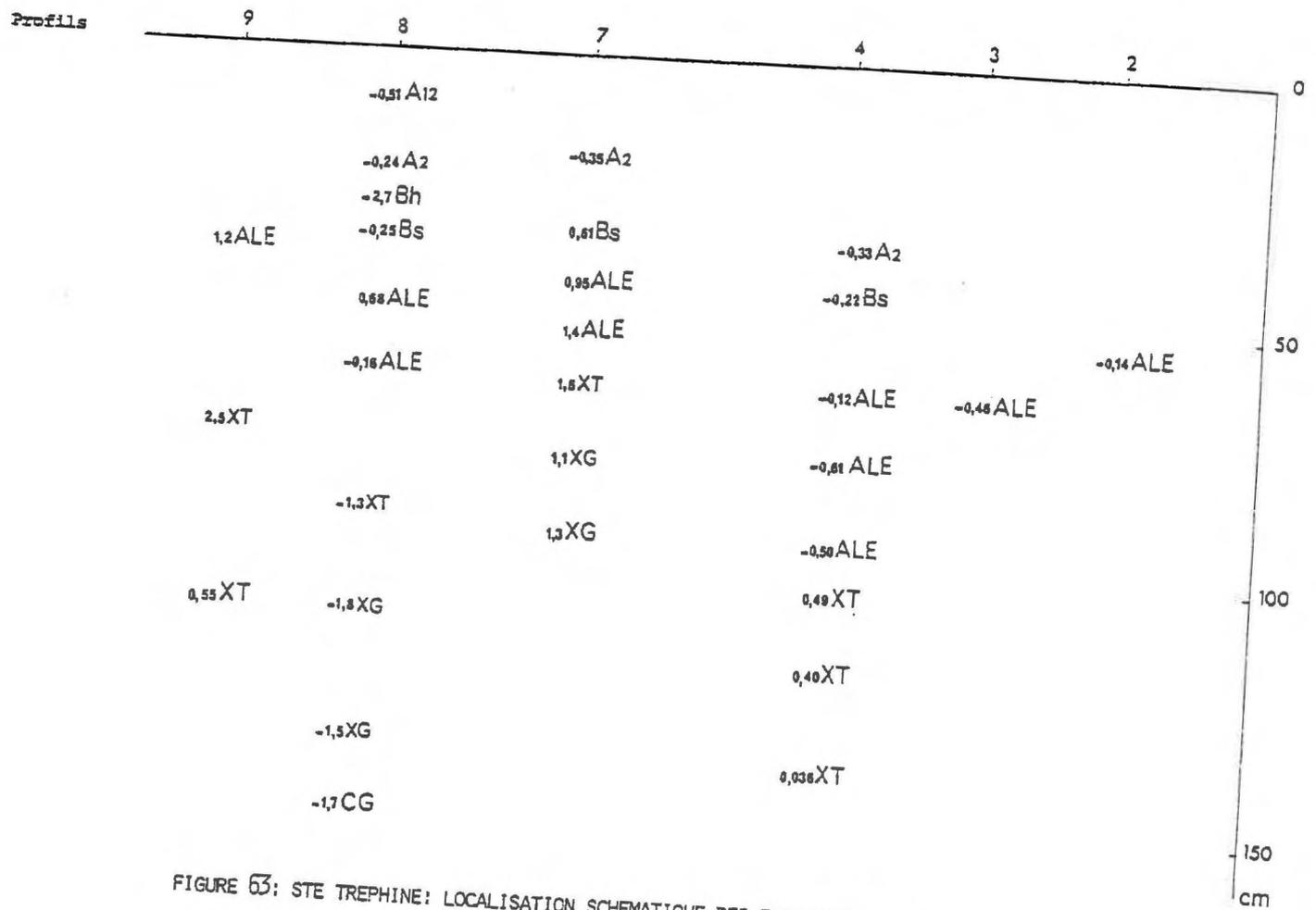


FIGURE 63: STE TREPHINE: LOCALISATION SCHEMATIQUE DES ECHANTILLONS, POSITIONS SUR L'AXE 3

Le second et le troisième axes représentent les variations de teneurs en argile. Mais le second axe traduit les variations de teneurs en argile qui s'effectuent parallèlement aux variations de teneurs en limons fins, alors que le troisième axe fait apparaître les variations de teneurs en argile qui s'effectuent de façon opposée aux variations de teneurs en limons fins. Aussi faut-il rechercher le ou les facteurs naturels qui permettent d'expliquer ces variations.

*b) Interprétation des axes 2 et 3 ( fig. 62,63,64, )*

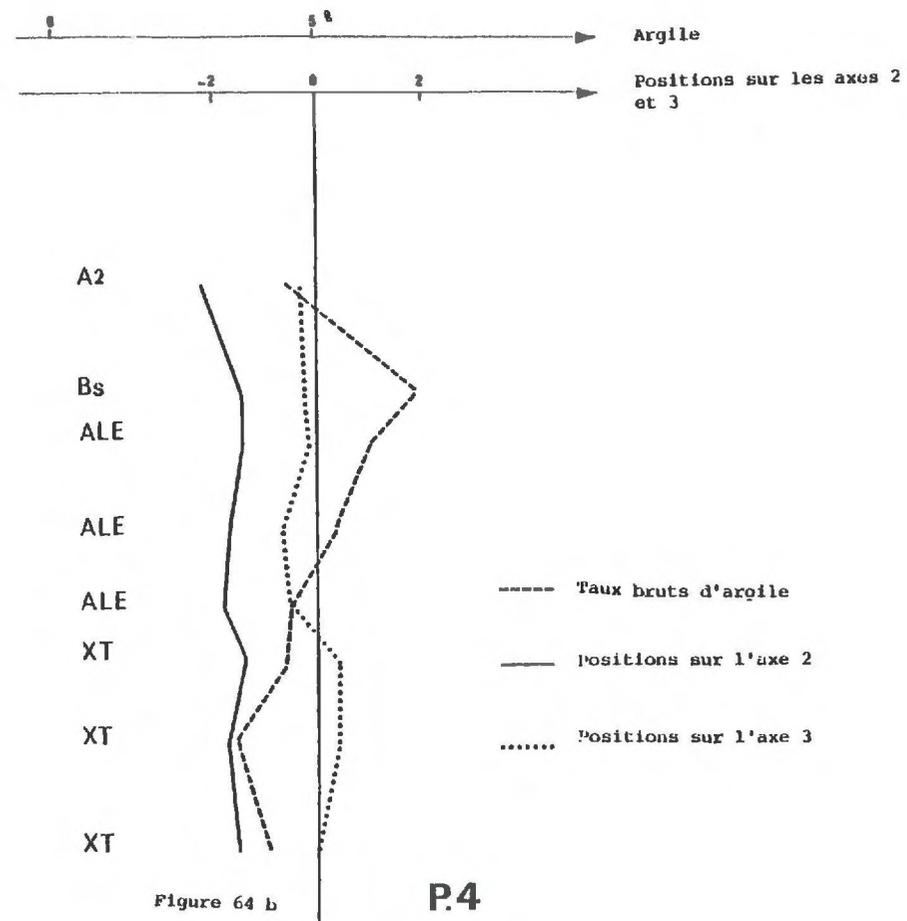
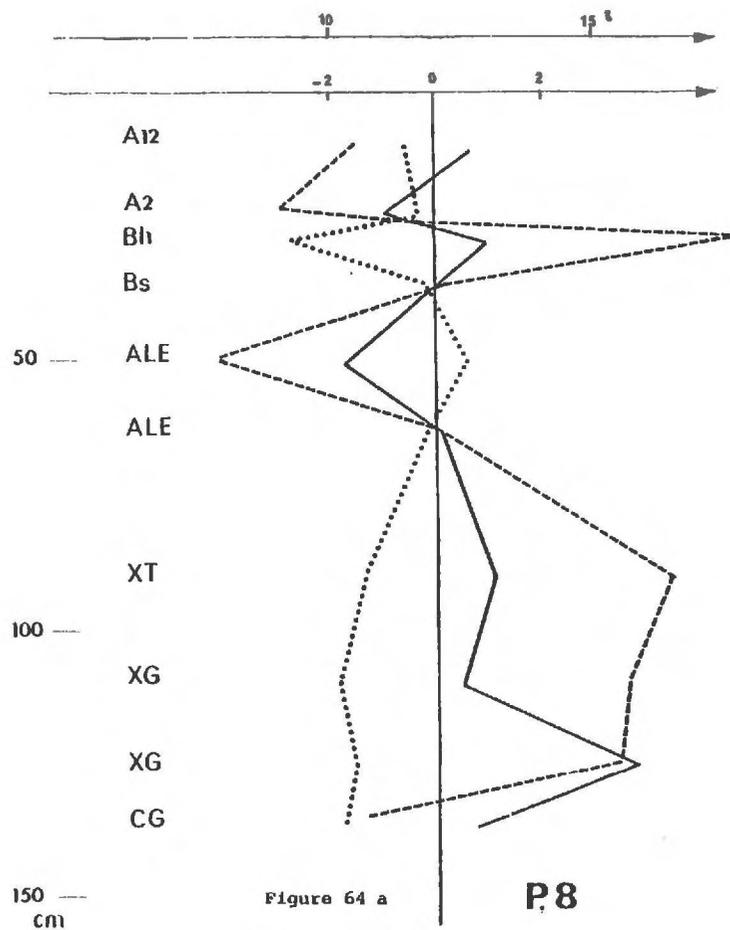
Trois facteurs naturels peuvent conduire à des variations simultanées de l'argile et des limons fins :

- un enrichissement par un matériel schisteux; les altérites de schistes présentent, en effet, des teneurs assez fortes en argile et en limons fins .
- un lessivage simultané de l'argile et du limon fin.
- une altération, celle-ci conduisant généralement à un enrichissement en argile et en limons fins.

Les variations traduites par l'axe 2 (à l'opposé de celles intégrées à l'axe 3) résultent donc de l'un de ces trois facteurs.

Ainsi, l'augmentation vers l'aval de la plupart des valeurs définies par la position des échantillons sur l'axe 2 peut s'interpréter comme une accentuation de l'influence des schistes de l'amont vers l'aval. Nous avons vu (p. 115 ), en effet, que cette séquence se situe à la limite des schistes rouges et des quartzites ordoviciens; et le passage entre ces deux formations est progressif (SAGON, 1976). En plus de cette influence globale, la présence de matériel schisteux se marque de façon ponctuelle dans l'avant dernier échantillon du P.8 (valeur 3.9) et, peut-être, dans l'horizon ALE du P.2 (valeur 1). Pour le P.8, l'horizon X G où a été prélevé l'échantillon renferme de nombreux fragments de schistes; quant à l'horizon ALE du P.2, il se situe dans le prolongement d'un banc schisteux qui s'estompe à ce niveau car "la restructuration pédologique est trop forte" (LE CALVEZ-LE BARS, 1977, P.40). L'A.C.P. fait apparaître que cette restructuration reste insuffisante pour effacer totalement les hétérogénéités lithologiques originelles.

Au niveau pédologique, les différenciations qui existent entre les horizons podzoliques et celles observées entre l'ALE et le XT au niveau du P.8 sont traduites par l'axe 2. L'axe 3 permet seulement de retrouver la différenciation entre les horizons ALE et XT du P.4. Ceci semble indiquer que, dans toute la séquence pour l'épipédon podzolique et, dans la partie aval pour l'hypopédon, l'argile et le limon fin se déplacent simultanément, alors que, dans la zone amont de la séquence, les redistributions à l'intérieur de l'hypopédon sont strictement limitées à l'argile (notons que ces redistributions n'apparaissent pas sur les taux d'argile bruts). Or, l'étude micromorphologique montre que, dans la zone aval, l'horizon XT contient des "revêtements nombreux et lités constitués d'argile et limon fin" (LE CALVEZ - LE BARS, 1977, p. 45) alors que la présence de limon fin n'a pas été notée dans les cutanes de la zone amont (p. 26).



----- Taux bruts d'argile  
 ——— Positions sur l'axe 2  
 ..... Positions sur l'axe 3

FIGURE 64 a et b; STE TREPHINE; EVOLUTION DE L'ARGILE, COMPARAISON DES TAUX BRUTS ET DES POSITIONS SUR LES AXES 2 ET 3

c) Conclusion

Trois axes principaux se dégagent. Le premier n'est pas lié aux horizons pédologiques et constitue un indicateur synthétique de la texture. Les deux autres axes sont directement liés à la différenciation pédologique. Ils permettent de mettre en évidence que le lessivage concerne à la fois l'argile et le limon fin dans les horizons superficiels (podzols) et même pour la zone aval, dans les horizons profonds (ALE - XT), alors que ce lessivage se limite à l'argile dans les horizons profonds de la partie amont de la séquence.

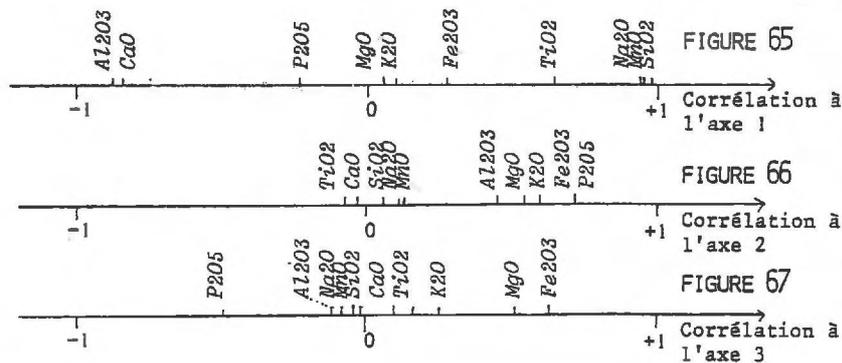
II - 1. 1. 2 - Les données chimiques

a) Les données chimiques seules

Le premier axe a un pourcentage d'inertie de 94,6 %, le second de 4,2 %, le troisième de 1 %. Les corrélations des variables à ces axes sont :

	1 Axe	2 Axe	3 Axe
SiO <sub>2</sub>	.998	.061	- .022
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- .883	.452	- .124
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.275	.719	.637
MnO	.957	.120	- .049
MgO	.043	.516	.491
CaO	- .850	-.081	.143
Na <sub>2</sub> O	.944	.108	- .096
K <sub>2</sub> O	.093	.599	.229
TiO <sub>2</sub>	.637	- .113	.160
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- .246	.773	- .444

Comme au Sourn, la majorité des variables se corrélaient au premier axe. Celui-ci oppose les échantillons riches en SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O et TiO<sub>2</sub> aux échantillons riches en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



Les variations chimiques indépendantes du premier axe apparaissent relativement complexes. Ceci est naturellement à mettre en relation avec l'hétérogénéité du substrat. Les comparaisons de ces données chimiques avec les données granulométriques correspondantes, puis les estimations des composants du mélange vont nous permettre de comprendre ces résultats et notamment les bonnes corrélations de  $K_2O$  et  $Al_2O_3$  au second axe.

b) *Comparaison des données chimiques et granulométriques*

Si nous croisons les axes de même rang (Fig. 68), seule la corrélation qui correspond aux axes 1 apparaît significative. Ce résultat autorise l'estimation des composants du mélange, mais confirme la complexité des variations indépendantes de ce mélange et exclut, de ce fait, une interprétation des remaniements pédologiques aussi fine que celle effectuée sur la séquence du Sourn.

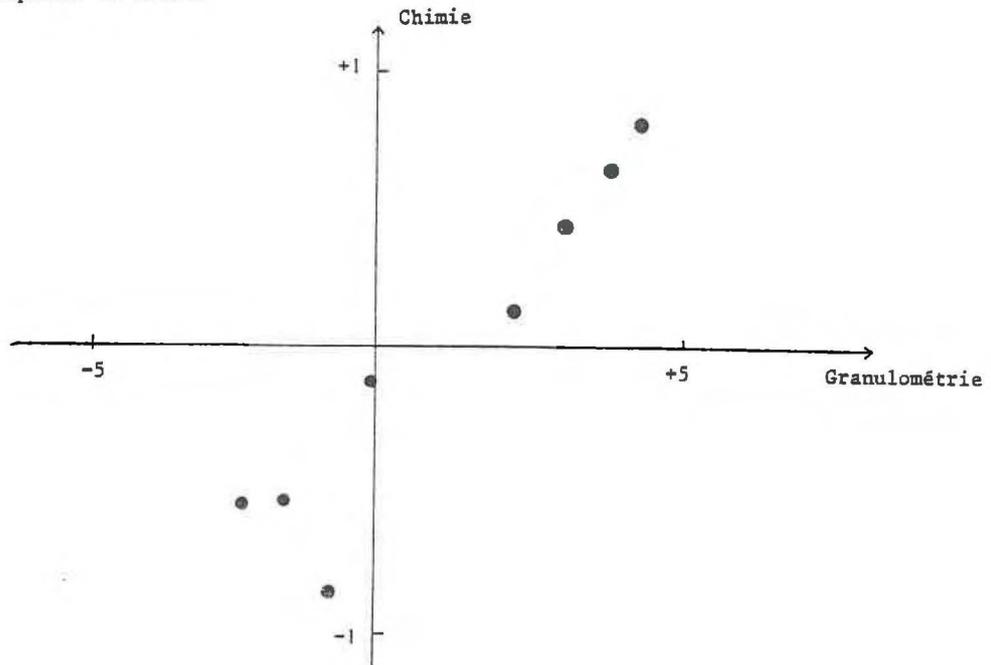


FIGURE 68: STE TRÉPHINE 1 : CORRÉLATION ENTRE LES AXES 1

L'A.C.P. qui porte sur les données communes à la granulométrie et à la chimie, met en évidence trois axes principaux dont les pourcentages d'inertie sont :

1er axe : 75.4 %

2ème axe : 12.3 %

3ème axe : 10.6 %

Les corrélations des variables à ces axes sont :

	1 Axe	2 Axe	3 Axe
SiO <sub>2</sub>	.739	-.300	-.163
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-.861	.055	-.162
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.256	.794	-.059
MnO	.960	-.007	.152
MgO	-.141	.557	-.214
Na <sub>2</sub> O	.904	-.322	.070
K <sub>2</sub> O	-.541	.196	-.319
TiO <sub>2</sub>	.388	-.018	.898
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-.193	.165	-.273
A	.787	.226	-.574
L.F.	.661	.602	.446
L.G.	.914	-.384	.127
S1	-.829	-.347	.330
S2	-.978	-.052	.047
S3	-.956	-.208	-.142
S4	-.978	-.137	-.089
S5	-.977	.094	.039

Les variables chimiques, à l'exception de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et toutes les variables granulométriques, y compris l'argile se corrélaient au premier axe. Celui-ci oppose les échantillons riches en limons et en argile, aux échantillons sableux. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et L.F. se corrélaient au second axe, qui tend à opposer les échantillons riches en ces trois éléments aux échantillons riches en SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O. L'estimation des composants du mélange, à partir du premier axe des A.C.P. va permettre de mieux interpréter ces résultats.

II - 1. 2. Estimation des composants du mélange

II - 1. 2. 1. A partir des 30 données granulométriques

Les estimations les plus compatibles avec les 30 données granulométriques sont les suivantes :

<u>Matériel</u> 1	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M1a borne du % bruts nuage % cumulés	12.0	29.1	41.5	10.4	1.3	2.3	2.1	0.9
		(41.1)	(82.6)	(93 )	(94.3)	(96.6)	(98.7)	(99.6)
M1b annulation % bruts d'une % cumulés composante	12.9	29.9	43.9	9.9	0.6	1.3	1.3	0
		(42.8)	(86.7)	(96.6)	(97.2)	(98.5)	(99.8)	(99.8)

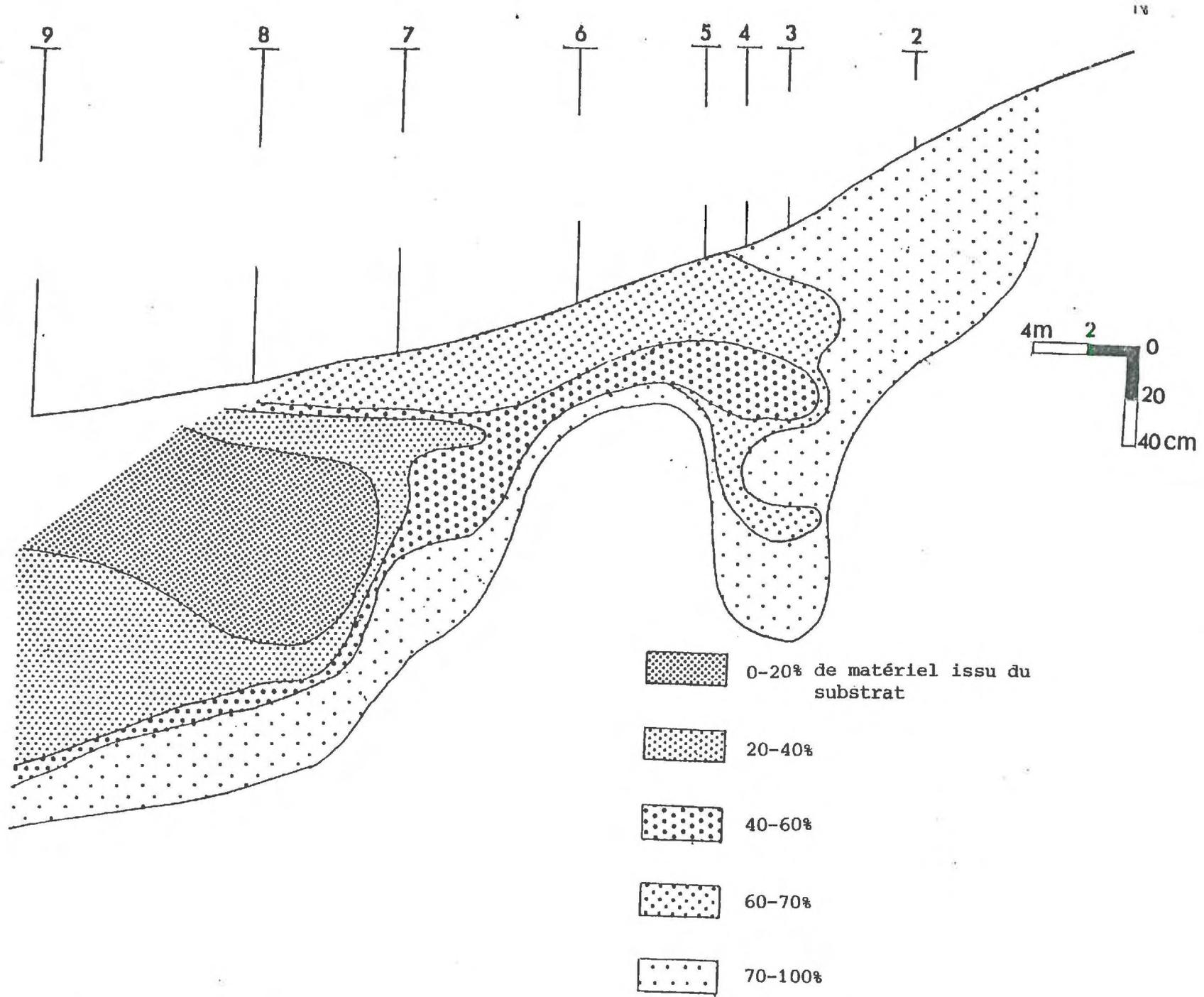


FIGURE 69: STE TREPHINE 1: REPARTITION DU MATERIEL ISSU DU SUBSTRAT

Matériel 2

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2a borne du nuage	% bruts	4.5	22.2	21.6	14.5	7.5	11.7	8.9	9.0
	% cumulés		(26.7)	(48.3)	(62.8)	(70.3)	(82)	(90.0)	(99.9)
M2b annulation d'une composante	% bruts	0	18	9.5	17	11.2	17.3	13.1	13.9
	% cumulés		(18)	(27.5)	(44.5)	(55.7)	(73)	(86.1)	100

Les 2 estimations ponctuelles du matériel 1 sont assez voisines; celles du matériel 2 sont plus éloignées. Ce matériel 2 a une courbe granulométrique cumulative d'allure concave, comparable à celle des quartzites altérés (fig. 71, p.170). Or, le banc de quartzites le moins altéré, dont l'analyse granulométrique a été effectuée, contient 3.3 % d'argile. Il est donc peu vraisemblable que le matériel 2 en renferme une moindre quantité, soit moins de 3 %. La nouvelle estimation de M2 qui est ainsi obtenue est

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2c contrainte sur l'argile	% bruts	3	20.7	17.5	15.3	8.7	13.6	10.4	10.7
	% cumulés		(23.7)	(41.2)	(56.5)	(65.2)	(78.8)	(89.2)	(99.9)

Les deux composants du mélange étant estimés, il devient possible de donner leur proportion relative pour chaque échantillon. Les résultats sont donnés en annexe, les pourcentages qui représentent les proportions du matériel 2. sont reportés sur la séquence (fig. 69). On remarque que le pourcentage maximal du matériel 1 est compris entre 90 et 100 % (P.8 45 à 55 cm) et le pourcentage maximum du matériel 2 est compris entre 82 et 100 % (P.2).

II - 1. 2. 2. Estimation à partir des données chimiques et granulométriques

Les estimations les plus compatibles avec les données chimiques étudiées seules, sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M1a borne du nuage	82.21	9.96	3.22	0.05	0.60	0.88	1.90	0.91	0.04	0.23
M1b annulation d'une composante	85.64	6.80	3.05	0.08	0.52	1.00	1.80	0.99	0	0.13

Matériel 2 : M 2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M2a borne du nuage	79.52	12.45	3.34	0.02	0.66	0.78	1.98	0.84	0.08	0.31
M2b annulation d'une composante	77.37	14.43	3.44	0	0.70	0.70	2.03	0.79	0.10	0.38

Comme au Sourn, les constituants initiaux ont été estimés à partir des données communes à la granulométrie et à la chimie. Les estimations qui en résultent sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M1a borne du nuage	12.2	29.0	40.9	10.5	1.3	2.7	2.2	1.0	81.5	10.46	3.36	0.05	0.62	0.86	1.91	0.89	0.06	0.24
M1b Annulation d'une composante	13.3	29.9	42.6	10.1	0.7	1.8	1.5	0	81.8	10.18	3.39	0.05	0.62	0.88	1.90	0.90	0.05	0.23

Matériel 2 : M 2

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M2a borne du nuage	4.5	23.3	29.5	13.15	5.5	8.7	7.1	8.3	79.7	12.40	3.20	0.02	0.65	0.77	1.97	0.85	0.05	0.32
M2b annulation d'une composante	0	20.0	22.8	14.6	7.9	12.1	9.9	12.5	78.7	13.52	3.10	0.02	0.66	0.72	2.02	0.82	0.07	0.36
M2c argile = 3 %	3	22.2	27.3	13.6	6.3	9.8	8.1	9.7	79.4	12.77	3.16	0.01	0.65	0.75	1.99	0.84	0.07	0.33

II - 1. 2. 3. Comparaison des diverses estimations

Les comparaisons s'effectuent entre les estimations concernant les bornes des nuages de points pour la chimie (M1a et M2a) et celles concernant la saturation d'une contrainte pour la granulométrie (M1b et M2c).

a) Le matériel 1

Pour la granulométrie comme pour la chimie, les estimations sont voisines : l'écart maximum en valeur absolue se situe sur L.G. et est de 1.3 %; la précision la plus faible est obtenue pour Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5 % environ). L'estimation de M1 est donc stable et peut être considérée comme fiable.

b) Le matériel 2

Les écarts entre les diverses estimations de la composition granulométrique de M2 sont très importants : 9.8 % pour L.G., soit une erreur relative de 36 %. Pour la chimie, les écarts restent relativement faibles : le plus élevé est de 0.22 % et se situe sur SiO<sub>2</sub>. L'écart important pour les estimations des teneurs en limons grossiers traduit la faible stabilité de l'axe. Cette faible stabilité est liée à l'hétérogénéité du substrat. En ce sens, il faut noter que les échantillons marqués par un enrichissement ponctuel en matériel schisteux ont été systématiquement exclus des analyses chimiques. Comme les altérites de schistes sont généralement riches en L.F. et pauvres en L.G., il est naturel que l'estimation qui exclut ces matériaux soit plus riche en L.G. que celle qui les prend en compte.

c) Conclusion

Les estimations de M1 sont voisines et celles de M2 sont dispersées. On peut donc symboliser le nuage de points qui représente les matériaux de cette séquence par un triangle dans un graphique à trois dimensions (fig. 70)

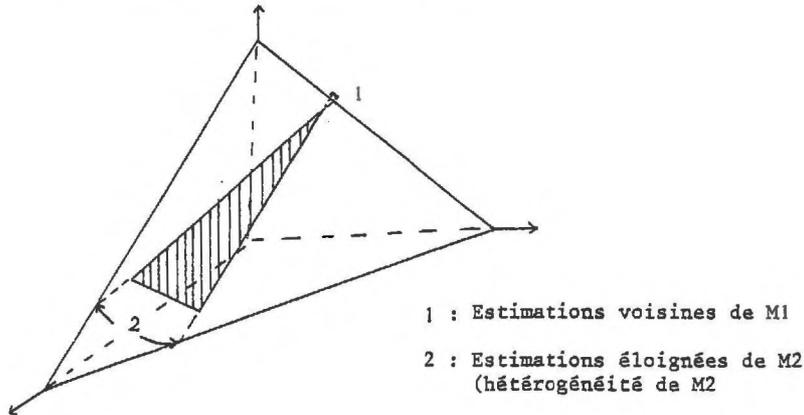


FIGURE 70: STE TRÉPHINE: 1: SCHÉMA SYMBOLISANT LE NUAGE DE POINTS REPRÉSENTANT LES MATÉRIAUX DE LA SÉQUENCE

II - 1. 3. Comparaison des constituants du mélange et des quartzites altérés

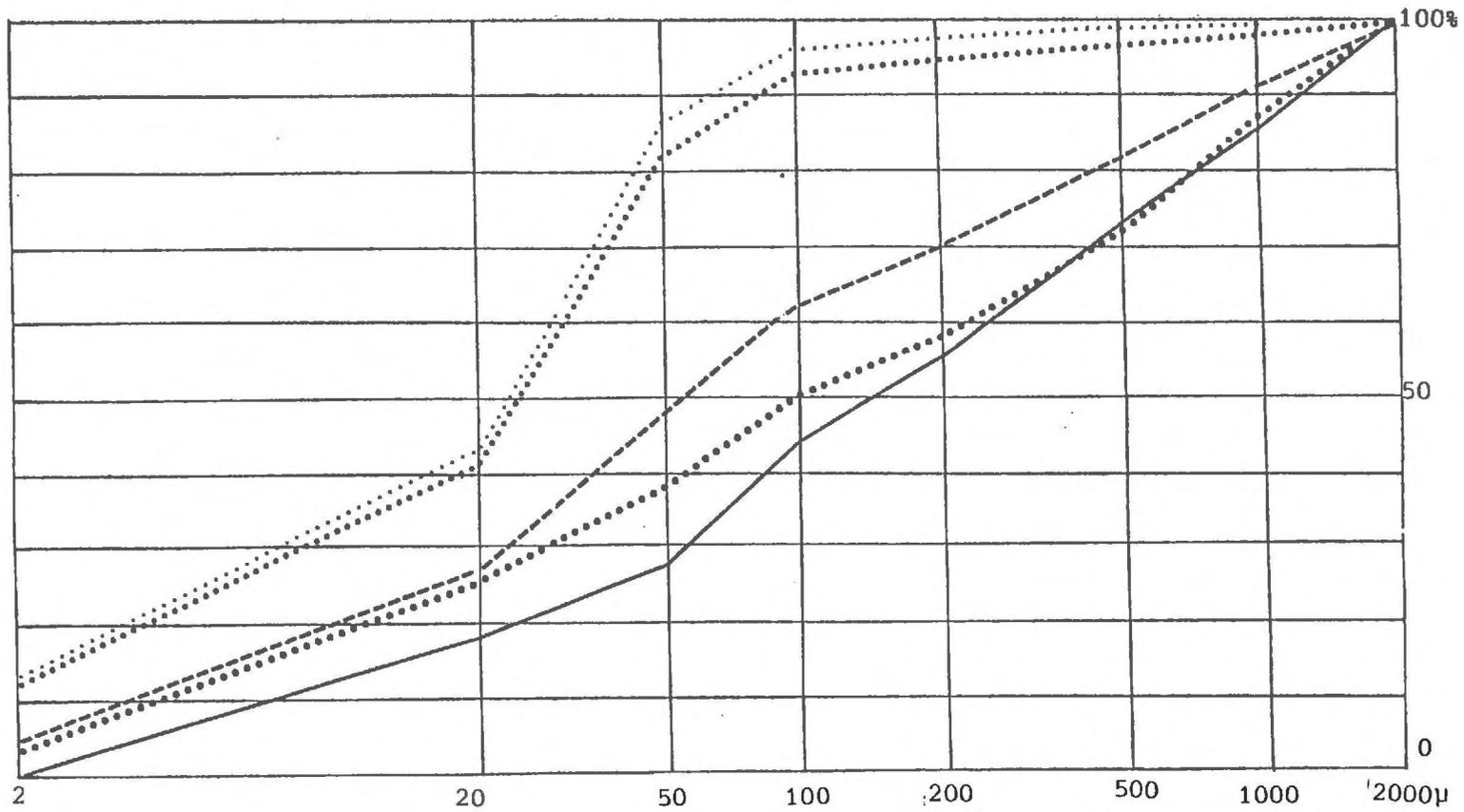
Du point de vue chimique les matériaux M1 et M2 ne sont pas fondamentalement différents. Leur richesse en  $\text{SiO}_2$ , leur faible teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  montrent que tous deux pourraient dériver des substrats sous-jacents; les quartzites se caractérisent précisément par ces deux faits. L'analyse d'un banc de quartzite altéré du P.1 a donné la composition suivante :

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MnO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	CaO
80.84	12.03	2.80	0.02	0.61	0.72	1.95	0.62	0.05	0.34

Mais les compositions granulométriques de ces deux matériaux sont nettement différentes. Celle de M2 l'apparente aux quartzites altérés (fig. 71) alors que celle de M1, bien granoclassée, le rapproche du matériel 1 du Sourn; nous étudierons donc son origine dans la synthèse des résultats.

II - 1. 4. Les variations indépendantes du mélange

Nous avons vu que les variations indépendantes du mélange sont complexes et la stabilité de l'axe 1 relativement faible. Une étude aussi détaillée que celle présentée au Sourn est donc impossible; seuls quelques grands traits - concernant plus particulièrement la chimie - semblent pouvoir être dégagés.



..... Matériel M1a

..... Matériel M1b

----- Matériel M2a

———— Matériel M2b

..... Quartzite altéré

FIGURE 71: STE TREPHINE 1: COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES DIFFERENTS MATERIAUX

Les différences entre les teneurs estimées par le modèle et les teneurs réelles des divers échantillons sont consignées dans le tableau suivant :

Ech.	Hor.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O en %
3R1	ALE	0.43	-0.35	-0.09	-0.01	0.02	0.04
4R3	ALE	-0.44	0.56	-0.04	-0.08	-0.01	-0.05
4R6	XT	0.02	-0.01	-0.07	0.06	0.01	0.01
7R2	Bs	-1.31	0.76	0.45	0.03	-0.04	0.03
7R5	XT	0.47	-0.56	0.13	0	-0.03	-0.03
8R5	ALE	0.74	-0.26	-0.36	-0.11	0.01	-0.05
8R6	ALE	-0.03	-0.25	0.14	0.11	0.02	0.06
8R8	XG	0.12	0.12	-0.15	0.01	-0.02	0

Un seul échantillon de Bs a été analysé; ses teneurs réelles en SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O sont plus faibles que ses teneurs estimées, alors que pour les autres éléments, c'est le cas inverse. Les résultats ponctuels des horizons XT et ALE sont délicats à interpréter, cependant la moyenne établie sur les quatre valeurs concernant l'horizon ALE met en évidence une concentration pour SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O, un déficit pour les autres éléments. Ceci montre, par référence au Sourn, que l'horizon Bs fonctionne comme un horizon d'accumulation alors que l'horizon ALE fonctionne comme une zone de départ d'éléments.

Les parts respectives du mélange et des "actions pédogénétiques" ont été évaluées selon la méthode décrite lors de l'étude du Sourn. Les résultats, illustrés par la figure 72, sont résumés dans le tableau suivant (les chiffres entre parenthèses indiquent les valeurs brutes) :

	Mélange	Actions pédogénétiques
SiO <sub>2</sub>	48% (1.8)	-52% (2)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63% (1.9)	37% (1.1)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20% (0.2)	80% (0.8)
MgO	20% (0.03)	80% (0.12)
Na <sub>2</sub> O	53% (0.09)	-47% (0.08)
K <sub>2</sub> O	73% (0.08)	27% (0.03)
Arg.	46% (7.5)	54% (9%)

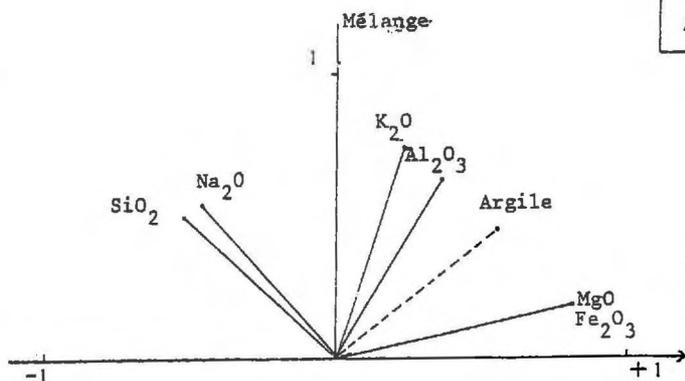


FIGURE 72: STE TRÉPHINE 1: IMPORTANCE RELATIVE DU MÉLANGE ET DES ACTIONS PÉDOGÉNÉTIQUES

Par rapport au Sourn, il faut noter :

1 - le comportement de  $\text{Na}_2\text{O}$  : il tend ici à se concentrer dans les horizons ALE.

2 - que les importances respectives du mélange et des actions pédogénétiques ne sont pas les mêmes. Ceci s'explique principalement par les écarts faibles qui existent entre les compositions des 2 constituants du mélange.

## II - 2. La séquence de Sta Tréphine 2

### II - 2. 1. Les données des A.C.P.

Les A.C.P. portent sur 33 données granulométriques. Le dépouillement préliminaire nous a permis d'observer que les teneurs en L.F. et S.1 sont relativement constantes. Leurs variations ne devraient donc pas être guidées par le mélange : ces variables doivent donc présenter une faible corrélation à l'axe 1.

Les pourcentages d'inertie des différents axes sont les suivants :

1er axe	: 46.1 %
2ème axe	: 30.9 %
3ème axe	: 17.1 %
4ème axe	: 5.3 %

Les corrélations des variables aux premiers axes sont :

	1 Axe	2 Axe	3 Axe
A	- .374	.978	- .025
LF	.190	- .202	.958
LG	.980	.112	- .165
S1	- .351	- .745	- .364
S2	- .572	- .620	- .289
S3	- .598	- .427	- .077
S4	- .767	- .259	- .262
S5	- .696	- .286	- .258

L.G. présente une forte corrélation au premier axe; S2, S3, S4, S5 présentent une corrélation plus faible; celles de A, L.F. et S1 sont mauvaises. Cet axe oppose les échantillons riches en L.G. aux échantillons sableux.

Le second axe traduit principalement les variations de l'argile, le troisième celles des limons fins.

II - 2. 2. Estimation des composants initiaux

Les estimations les plus compatibles avec ces données granulométriques sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M1a borne du nuage	% bruts	12.1	33.1	44.5	7.4	0.5	0.6	0.8	0.9
	% cumulés		(45.2)	(89.7)	(97.1)	(97.6)	(98.2)	(99.0)	(99.9)
M1b annulation d'une composante	% bruts	11.1	33.5	47.8	6.7	0.3	0.4	0.2	0
	% cumulés		(44.6)	(92.4)	(99.1)	(99.4)	(99.8)	(100.1)	(100.1)

Matériel 2 : M 2

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2a borne du nuage	% bruts	17.8	30.9	26.5	11.2	2.0	2.0	3.7	5.8
	% cumulés		(48.7)	(75.2)	(86.4)	(88.4)	(90.4)	(94.1)	(99.9)
M2b annulation d'une composante	% bruts	26.2	27.6	0	16.8	4.2	4.0	8.0	13.2
	% cumulés		(53.8)	(53.8)	(70.6)	(74.8)	(78.8)	(86.8)	(99.9)

Les fourchettes sur M 1 sont particulièrement étroites. Elles sont plus larges pour M 2. Pour ce matériel, l'annulation des L.G. apparaît peu plausible (cf. Le Sourin). Les schistes rouges constituent probablement le substrat (cf. dépouillement préliminaire), bien qu'ils ne soient pas visibles dans cette carrière. Devant l'absence d'altérites de ces schistes, je me suis fondé sur la teneur minimale en L.G. observée dans les altérites schisteuses de la région, soit 10 % dans les altérites de schistes briovériens à St Elouan. La nouvelle estimation de M 2 qui en résulte est :

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2c : LG = 10%	% bruts	23.0	28.8	10.0	14.7	3.4	3.3	6.4	10.4
	% cumulés		(51.8)	(61.8)	(76.5)	(79.9)	(83.2)	(89.6)	(100)

Les fourchettes restent relativement élevées ce qui traduit, vraisemblablement la présence d'une forte proportion de M 1 dans tous les échantillons de cette séquence. La dispersion des prélèvements (cf. p. 115) exclut une interprétation fine de la répartition des matériaux dans la séquence et des variations indépendantes du mélange. Nous nous contenterons de remarquer que, dans la petite tranchée, les échantillons les moins limoneux proviennent de la formation limoneuse à blocs (fig. 74). Les résultats de l'A.C.P. (position des échantillons sur les axes) et du programme de mélange sont donnés en annexe.

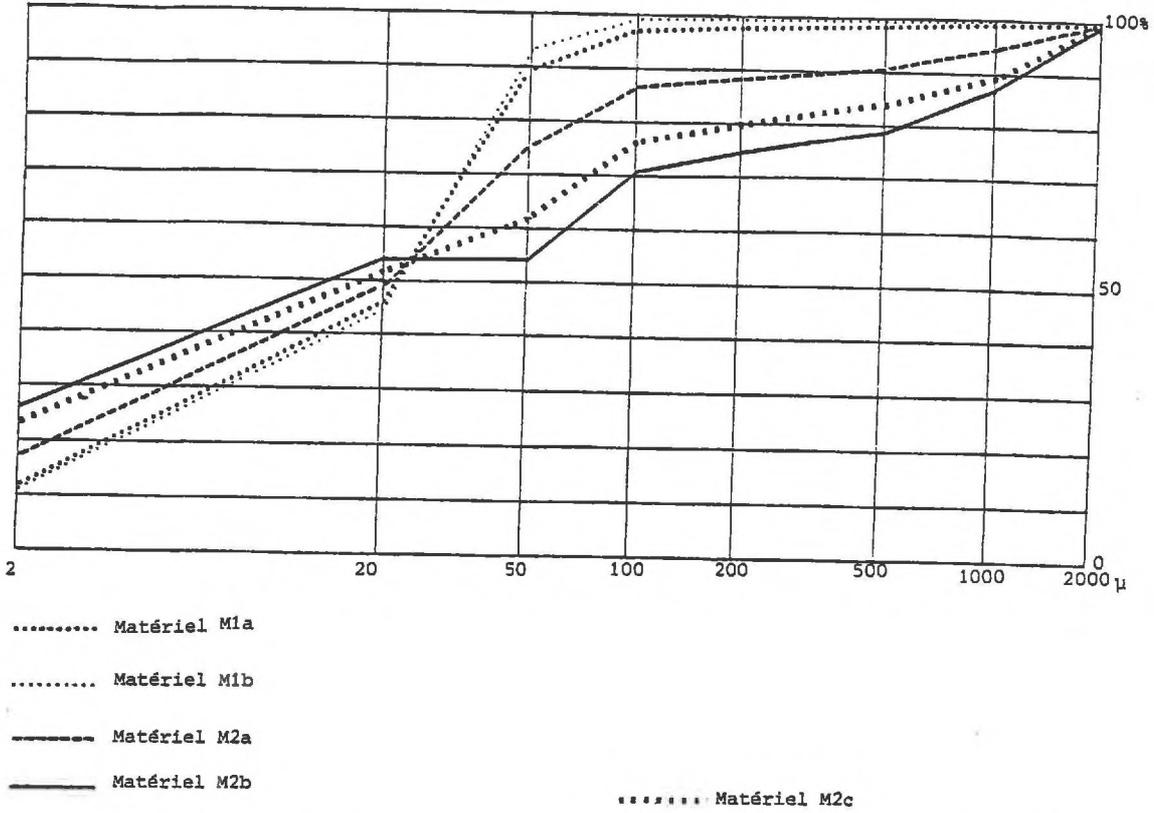


FIGURE 73: STE TREPHINE 2: COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES DIFFERENTS MATERIAUX

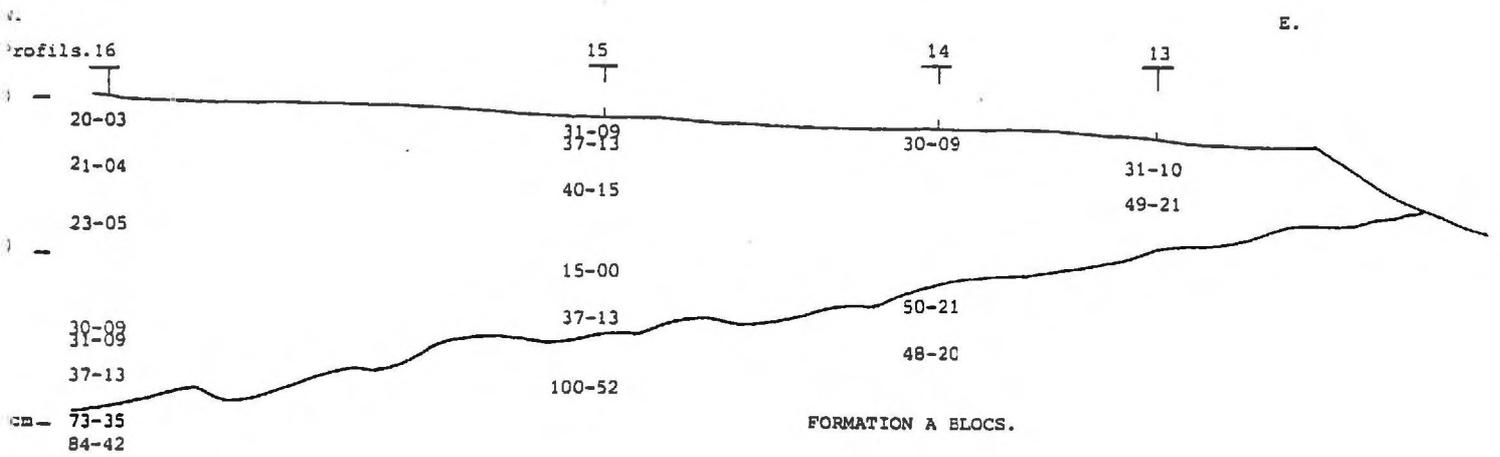


FIGURE 74: STE TREPHINE 2: FOURCHETTES DES POURCENTAGES DE M.2

II - 3. La séquence de St Elcuan

Pour la plupart des éléments chimiques (Fe , Mg exceptés), les variations indépendantes du mélange ne semblent pas directement liées aux horizons pédologiques. Aussi l'étude de cette séquence est-elle essentiellement abordée pour la question du mélange de matériaux; en particulier, les parts respectives de ce mélange et des actions pédogénétiques ne seront pas établies.

II - 3. 1. Les principales données des A.C.P.

Les deux échantillons qui ont été prélevés dans le niveau de cailloux situé à la base du P.1 (1E9) et dans l'altérite sous-jacente (1E10) ont été exclus des A.C.P. Celles-ci ne portent donc que sur 12 individus pour les données granulométriques et 7 pour les données chimiques. Ces faibles nombres ne sont justifiables que par les résultats du Sourn.

II - 3. 1. 1. Les données granulométriques

Les pourcentages d'inertie des principaux axes sont de :

1er axe : 73.7 %  
 2ème axe : 19.9 %  
 3ème axe : 4.4 %  
 4ème axe : 1.3 %

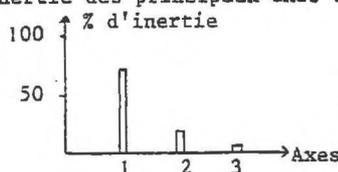


FIGURE 74

Les corrélations des variables aux trois premiers axes sont de :

	1 Axe	2 Axe	3 Axe
A	-.569	-.776	.270
LF	-.967	.208	.145
LG	.974	.219	.052
S1	.854	-.083	-.278
S2	-.904	-.122	-.331
S3	-.851	-.013	-.449
S4	-.923	-.095	-.218
S5	-.914	-.065	-.244

a) Le premier axe

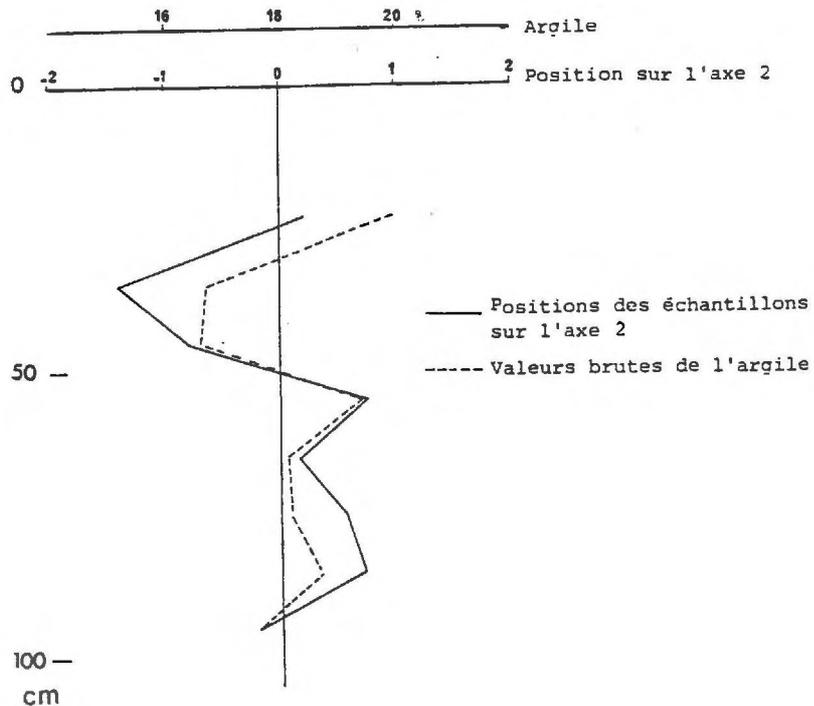
Un axe prépondérant se dégage. La plupart des variables s'y corrélaient. Il oppose les échantillons riches en L.G. et S1 à ceux riches en A. , L.F. , S2 , S3 , S4 , S5 et constitue un indicateur synthétique de la texture. Comme les positions des échantillons sur cet axe déterminent les proportions relatives des matériaux M 1 et M 2 dans les divers é-

chantillons, on se reportera à la fig. 78, p. 182 pour étudier la répartition des textures. Comme dans les autres séquences, cette répartition est en enveloppes et les échantillons les plus riches en L.G. se situent au coeur de ces enveloppes; mais celles-ci s'ouvrent vers la partie amont. Or, cette séquence de St Elouan se situe le long d'une petite pente convexe et courte, contrairement à celles du Sourn et de Ste Tréphine qui sont plus longues et à tendance rectiligne ou concave. Il apparaît évident que ce type de pente particulier est directement lié à la répartition des matériaux dans la séquence, ce qu'illustre le bloc-diagramme synthétisant la répartition des matériaux limoneux dans la région (fig. 80, p. 188)

b) Le second axe

Le second axe représente, pour l'essentiel, les variations de l'argile indépendantes du premier axe. La corrélation de l'argile à cet axe est négative. Les positions des échantillons sur cet axe doivent donc constituer le négatif des variations pédologiques liées au lessivage; et, en effet, en reportant ces positions sur le P.1 (fig. 75), on obtient une courbe sigmoïde caractéristique d'un sol lessivé (notons que ceci apparaît déjà au niveau des valeurs brutes d'argile)

FIGURE 75: ST ELOUAN P.1: EVOLUTION DE L'ARGILE, COMPARAISON DES TAUX BRUTS ET DES POSITIONS SUR L'AXE 2



II - 3. 1. 2. Les données chimiques

a) Les données chimiques étudiées seules

Les pourcentages d'inertie des différents axes sont :

1er axe : 94 %  
 2ème axe : 5.8 %  
 3ème axe : 0.1 %  
 4ème axe : 0.1 %

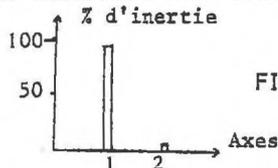


FIGURE 76

Les corrélations des variables aux deux premiers axes sont les suivantes :

	1 Axe	2 Axe
SiO <sub>2</sub>	.998	- .074
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- .981	- .188
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- .544	.836
MnO	.696	.555
MgO	- .361	.727
Na <sub>2</sub> O	.616	.685
K <sub>2</sub> O	- .740	- .639
TiO <sub>2</sub>	- .090	- .793
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- .477	- .279

Le premier axe oppose donc principalement les échantillons riches en SiO<sub>2</sub> et Na<sub>2</sub>O aux échantillons riches en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et K<sub>2</sub>O. A l'exception de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, les variables qui se corrèlent mal à cet axe (MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ...) se corrèlent assez bien au second axe.

b) Les données chimiques et granulométriques

Une A.C.P. portant sur les données communes aux analyses chimiques et granulométriques met également en évidence deux axes principaux. Les pourcentages d'inertie de ces axes sont respectivement de 61,8 % et 32 % et la plupart des variables se corrèlent au premier axe, alors que les autres variables et notamment Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et l'argile se corrèlent au second axe.

II - 3. 1. 3. Conclusion

Ces quelques résultats, qu'il conviendra par la suite de confirmer par un échantillonnage plus important, illustrent que, dans cette séquence également, deux facteurs naturels lient entre elles des diverses variables. L'un apparait correspondre à la différenciation pédologique (variation de l'argile, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MgO); l'autre doit s'interpréter en terme de mélange.

II - 3. 2. Estimations des deux composants du mélange

Les diverses estimations des compositions des pôles du mélange ont été établies comme pour les séquences précédentes. La composition de M 2 apparaissant voisine de celle des altérites de schistes (fig. 76) et l'absence totale de L.G. peu plausible (M2b), un seuil minimal de 10 % a été introduit pour L.G. Cette valeur correspond, en effet, à la plus faible teneur observée dans les altérites de schistes (10.3 exactement, échantillon du P.6 prélevé entre 80 et 100 cm). La composition moyenne de ces altérites étant :

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
composition	% bruts	21.2	51.2	14.2	4.1	2.2	2.1	2.4	2.6
moyenne de l'altérite	% cumulés		(72.4)	(86.6)	(90.7)	(92.9)	(95.0)	(97.4)	(100)

II - 3. 2. 1. Les résultats

Les estimations les plus compatibles avec les 12 données granulométriques sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M1a borne du	% bruts	17.3	37.5	32.1	7.9	1.1	1.7	1.2	1.1
nuage	% cumulés		(54.8)	(86.9)	(94.8)	(95.9)	(97.6)	(98.8)	(99.9)
M1b annulation	% bruts	15.2	33.3	39.8	9.4	0.5	1.2	0.5	0
d'une	% cumulés		(48.5)	(88.3)	(97.7)	(98.2)	(99.4)	(99.9)	(99.9)
composante									

Matériel 2 : M 2

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2a borne du	% bruts	20.1	43.0	21.7	6.0	2.0	2.3	2.2	2.6
nuage	% cumulés		(63.1)	(84.8)	(90.8)	(92.8)	(95.1)	(97.3)	(99.9)
M2b annulation	% bruts	25.9	54.5	0	1.9	3.9	3.5	4.3	5.8
d'une	% cumulés		(80.4)		(82.3)	(86.2)	(89.7)	(94.0)	(99.8)
composante									
M2c LG = 10 %	% bruts	23.2	49.2	10.0	3.8	3.1	3.0	3.3	4.3
	% cumulés		(72.4)	(82.4)	(86.2)	(89.3)	(92.3)	(95.6)	(99.9)

Les estimations les plus compatibles avec les 7 données chimiques sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M1a borne du nuage	79.6	12.4	3.72	0.04	0.86	0.78	2.23	0.89	0.07	0.41
M1b annulation d'une composante	87.5	5.6	2.24	0.04	0.69	0.96	1.50	0.88	0	0.57

Matériel 2 : M 2

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M2a borne du nuage	72.6	16.9	4.7	0.01	0.98	0.66	2.72	0.90	0.13	0.31
M2b annulation d'une composante	70.1	18.9	5.1	0	1.03	0.61	2.93	0.90	0.15	0.27

Enfin, les estimations établies à partir des données communes à la granulométrie et à la chimie sont les suivantes :

Matériel 1 : M 1

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M1a	18.2	37.0	31.8	8.0	1.1	1.5	1.1	1.1	77.4	13.1	4.18	0.04	0.93	0.79	2.24	0.88	0.07	0.37
M1b	19.1	32.0	39.1	9.1	0	0.5	0.1	0.03	80.7	10.0	4.3	0.06	0.97	0.93	1.75	0.84	0.03	0.36

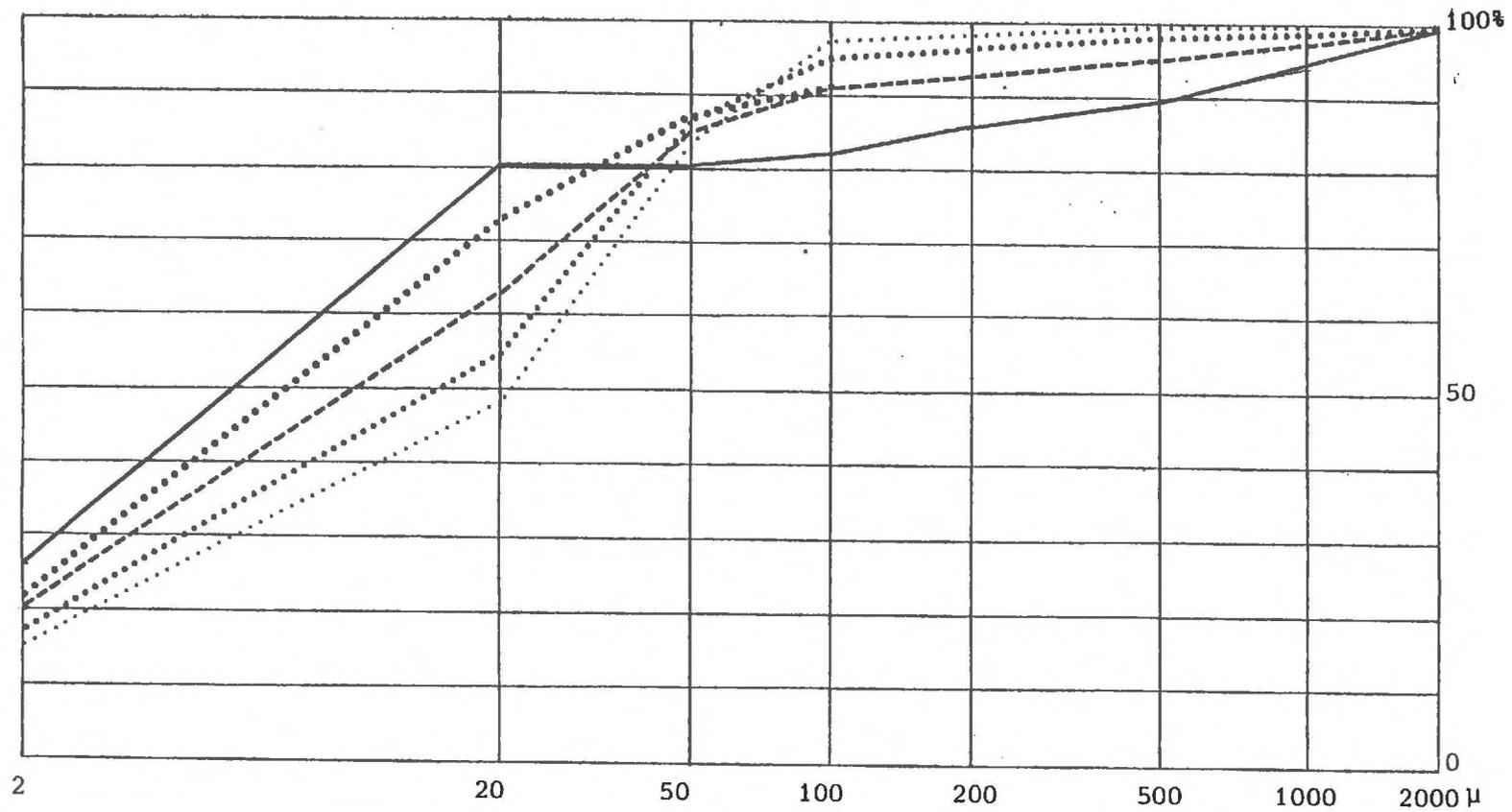
Matériel 2 : M 2

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO
M2a	17.3	42.4	24	6.8	2.2	2.7	2.2	2.4	73.9	16.3	4.0	0.01	0.88	0.64	2.76	0.92	0.14	0.38
M2b	16.7	45.3	19.7	6.2	2.8	3.3	2.9	3.0	71.9	18.1	3.99	0	0.85	0.56	3.05	0.94	0.18	0.39

II - 3. 2. 2. *Comparaison des diverses estimations*

Les écarts les plus sensibles entre les diverses estimations apparaissent sur les variables qui se corrèlent peu au 1er axe : l'argile pour la granulométrie, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pour la chimie.

Il faut noter que, dans l'estimation de M2 établie à partir des données communes aux analyses chimiques et granulométriques, la variable qui s'annule est MnO, la teneur en LG étant alors de 19.7 %. Ceci signifierait que M2 ne peut contenir moins de 19.7 % de L.G. (seuil retenu 10 %). Il convient cependant de tempérer cette affirmation : MnO est en très faible quantité et une variation de 0.01 % sur MnO se traduit par une variation de 4.3 % sur L.G.



..... Matériel M1a

..... Matériel M1b

----- Matériel M2a

———— Matériel M2b

..... Schistes altérés

FIGURE 77: ST ELOUAN: COURBES GRANULOMETRIQUES CUMULATIVES DES DIFFERENTS MATERIAUX

*II - 3. 3. Comparaison des constituants du mélange et des schistes altérés.  
Commentaire sur les proportions relatives M 1 - M 2.*

L'échantillon de schistes altérés prélevé à la base du P.1 (1 E 10) a la composition suivante :

A	: 12.4 %	SiO <sub>2</sub>	: 70.57 %
LF	: 54.9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: 18.33
LG	: 11.0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: 4.62
S1	: 3.9	MnO	: 0.03
S2	: 4.2	MgO	: 1.09
S3	: 4.7	Na <sub>2</sub> O	: 0.42
S4	: 3.3	K <sub>2</sub> O	: 2.78
S5	: 5.6	TiO <sub>2</sub>	: 1.08
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	: 0.08
		CaO	: 0.33

*II - 3. 3. 1. comparaison M 2 - schistes altérés*

Il n'apparaît aucune différence notable entre les compositions chimiques estimées de M 2 et celles de l'échantillon 1 E 10. Du point de vue granulométrique, M 2 s'apparente également aux altérites de schistes (fig. 76). Il renferme sensiblement plus d'argile que l'échantillon 1 E 10 (entre 5 et 10 % selon les estimations) ce qui semble indiquer qu'il est plus altéré que l'altérite qui s'observe à la base du P.1.

*II - 3. 3. 2. Comparaison M 1 - schistes altérés*

Par ses compositions granulométriques et chimiques, M 1 diffère des altérites de schistes : il renferme plus de L.G. et moins de L.F. et, du point de vue chimique, il contient 10 % de SiO<sub>2</sub> de plus que l'échantillon d'altérite 1 E 10 et, par contre, une quantité deux fois plus faible d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ces différences de compositions chimiques indiquent que M 1 ne peut pas dériver des schistes par une simple fragmentation. S'il en dérivait par altération, il faudrait admettre alors que Al est l'élément le plus soluble étudié ici. Or, Al est précisément un élément peu soluble (cf. P. 148). M 1 provient donc d'un apport.

*II - 3. 3. 3. Les proportions relatives M 1 - M 2*

Les proportions relatives de M 1 et M 2 pour tous les échantillons sont données en annexe. Les fourchettes proposées sont relativement larges. Ainsi l'échantillon qui contient le plus de matériel issu du substrat (M 2) en renferme entre 100 et 47 % (3 E 2) et l'échantillon qui en contient le moins en renferme entre 0 et 43 % (1 E 5). Si l'on consi-

dère que M 1 ne contient pas de fraction supérieure à 100 (ceci sera argumenté dans la synthèse) ce sont les chiffres 100 et 43 % qu'il faut retenir. Ceci montre que ces matériaux, bien que très limoneux, renferment peu d'apport.

II - 4. Conclusion

Les études de ces trois séquences, bien qu'elles portent parfois sur des nombres restreints d'échantillons, permettent de dégager les grands traits déjà mis en évidence au Sourn :

- le mélange entre 2 matériaux; l'un de ces matériaux est issu du substrat et l'autre provient d'un apport; leur répartition dans la séquence se présente en enveloppes et les échantillons qui renferment la plus forte quantité d'apport se situent au coeur de ces enveloppes;
- l'existence de variations indépendantes de ce mélange qui reflètent, plus ou moins fidèlement, la nature des horizons pédologiques et semblent, pour l'essentiel, induites par les phénomènes de lessivage.

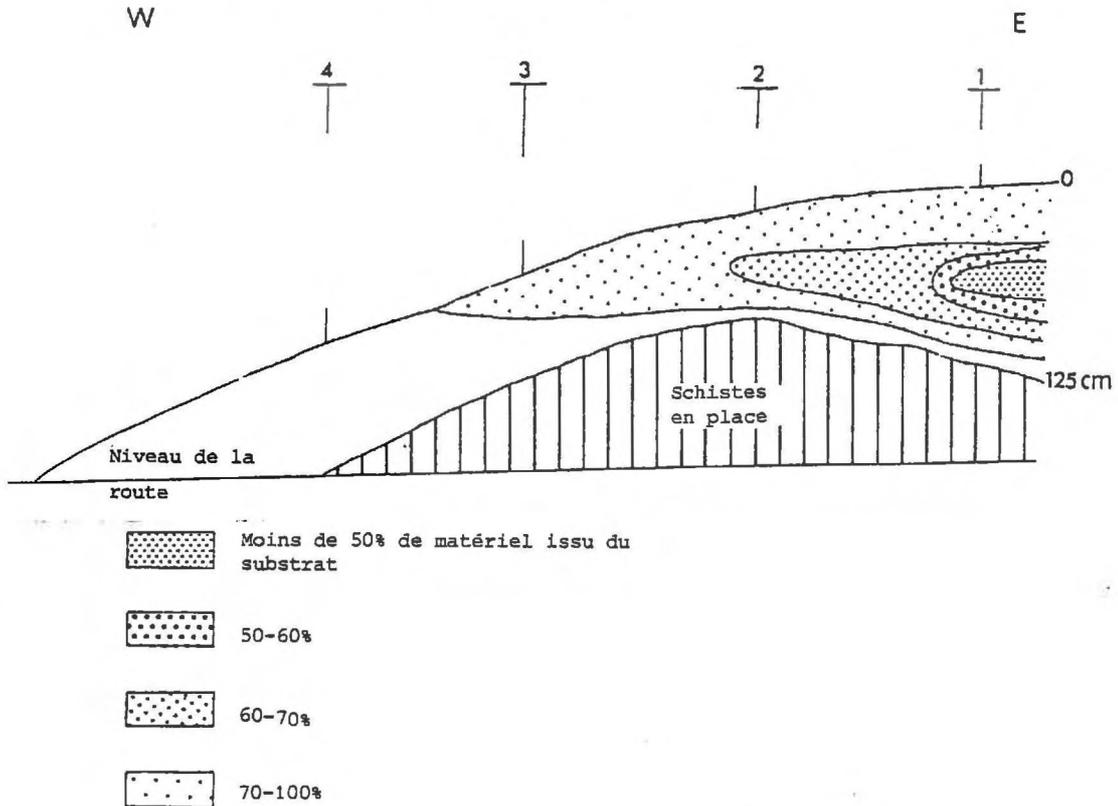


FIGURE 78: ST ELOUAN: REPARTITION DU MATERIEL ISSU DU SUBSTRAT

## D ) ORIGINE ET MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX

Nous venons de démontrer que dans chaque séquence, les sols sont issus du mélange entre deux matériaux; l'un d'eux provient directement du substrat et l'autre a été apporté. Trois questions viennent naturellement à l'esprit :

- s'agit-il d'un même apport pour toutes les séquences ?
- quelle(s) est(sont) la(les) province(s) d'alimentation de cet(ces) apports ?
- comment, dans chaque séquence, le mélange, entre l'apport et les produits de l'altération du substrat, s'est-il effectué ?

Pour répondre à la première question, il est nécessaire de comparer les estimations de la composition de l'apport qui ont été établies à partir des données de chaque séquence; la mise en place des matériaux sera ensuite envisagée; enfin, une discussion méthodologique sera ouverte à propos de l'origine de l'apport.

### I - COMPARAISON DES DIVERSES ESTIMATIONS DE LA COMPOSITION DE L'APPORT

#### I - 1. Introduction

Toutes les estimations qui ont été établies sont présentées dans le tableau X. Je rappelle que les estimations M1a correspondent aux bornes des nuages de points et les estimations M1b à l'annulation d'une composante. Parmi celles-ci, les estimations effectuées à partir des seules données chimiques ne sont mentionnées qu'à titre de référence car, comme nous l'avons vu, elles ne peuvent pas correspondre à une réalité concrète.

D'une séquence à l'autre, ce sont les différences entre les estimations établies à partir de l'annulation d'une composante granulométrique qui sont les plus faibles. La composante qui s'annule peut être, selon le cas soit S2, soit S3, soit S4, soit S5 et les trois autres sont alors proches de 0 (maximum 1,8 %). Ces résultats s'accordent bien avec ceux de l'étude morphologique et analytique (IIème partie). En effet, il a alors été constaté que l'apport est limité aux fractions inférieures à 100  $\mu$ . Ceci indique d'une part que dans les fourchettes qui concernent les proportions du mélange (cf. annexe), les pourcentages maxima de M2 sont les plus proches de la réalité et, d'autre part, que la comparaison des estimations de M1b doit être affinée.

	SAINT-ELOUAN				SAINTE-TREPHINE 1				SAINTE-TREPHINE 2		LE SOURN			
	A		B		A		B		A		A		B	
	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	Al <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b	M <sub>1</sub> a	M <sub>1</sub> b
A	17,3	15,2	18,2	19,1	12	12,9	12,2	13,3	12,1	11,1	16,4	16,8	14,4	14,9
L. F.	37,5	33,3	37	32,0	29,1	29,9	29	23,9	33,1	33,5	31,4	32,4	29,8	31,5
L. G.	32,1	39,8	31,8	39,1	41,5	43,9	40,9	42,6	44,5	47,8	43,6	46,2	41,9	48,7
S <sub>1</sub>	7,9	9,4	8	9,1	10,4	9,9	10,5	10,1	7,4	6,7	3,9	3,6	3,8	3,0
S <sub>2</sub>	1,1	0,5	1,1	0	1,3	0,6	1,3	0,7	0,5	0,3	0,85	0,3	1,3	0,2
S <sub>3</sub>	1,7	1,2	1,5	0,5	2,3	1,3	2,7	1,8	0,6	0,4	1,1	0	3,0	0,6
S <sub>4</sub>	1,2	0,5	1,1	0,1	2,1	1,3	2,2	1,5	0,8	0,2	1,4	0,4	2,4	0
S <sub>5</sub>	1,1	0	1,7	0,03	0,9	0	1,0	0	0,9	0	1,2	0,2	3,1	1
SiO <sub>2</sub>	78,6	(87,5)	77,4	80,7	82,21	(85,64)	81,53	81,79			81,1	(88,0)	80,6	84,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,4	( 5,6)	13,1	10,0	9,96	(6,80)	10,46	10,46			10,5	(5,1)	10,8	8,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,72	( 2,24)	4,18	4,3	3,22	(3,05)	3,36	3,39			3,1	(2,6)	3,3	3,2
MnO	0,04	( 0,04)	0,04	0,06	0,05	(0,08)	0,05	0,05			0,06	(0,07)	0,06	0,07
MgO	0,86	(0,69)	0,93	0,97	0,60	(0,52)	0,52	0,62			0,56	(0,49)	0,60	0,60
Na <sub>2</sub> O	0,78	(0,96)	0,79	0,93	0,88	(1,00)	0,86	0,88			1,18	(0,83)	1,2	1,0
K <sub>2</sub> O	2,23	(1,50)	2,24	1,75	1,90	(1,80)	1,91	1,90			2,28	(1,3)	2,3	1,8
TiO <sub>2</sub>	0,89	(0,88)	0,88	0,84	0,91	(0,99)	0,89	0,88			0,86	(1,0)	0,86	0,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	(0)	0,07	0,03	0,04	(0)	0,06	0,05			0,06	(0)	0,06	0,02
CaO	0,41	(0,57)	0,37	0,36	0,23	(0,13)	0,24	0,23			0,24	(0,25)	0,24	0,24

A : granulométrie et chimie séparée  
 B : granulométrie et chimie simultanée

M<sub>1</sub>a : borne du nuage de points  
 M<sub>1</sub>b : annulation d'une composante

TABLEAU X : RÉCAPITULATION DES DIVERSES ESTIMATIONS DE L'APPORT.

### I - 2. Les compositions chimiques

Les trois estimations M1b des compositions chimiques sont très voisines .

a) Les différences les plus sensibles apparaissent entre celle du Sourn d'une part et celles de St Elouan et Ste Tréphine 1. Ainsi, au Sourn, l'apport renfermerait de 2.5 à 3.5 % de  $\text{SiO}_2$  de plus que celui de St Elouan ou Ste Tréphine et 2 % d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  en moins. Comme ces estimations sont ponctuelles, la signification de ces différences est difficile à préciser. Remarquons qu'elles ne sont que légèrement supérieures à celles qui existent entre les 2 estimations de M1a à St Elouan. Il n'est donc pas justifié de considérer que l'apport au Sourn diffère, du point de vue chimique, de celui mis en évidence dans les autres séquences.

b) D'autre part, les pourcentages de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MgO}$  sont sensiblement plus forts à St Elouan que dans les deux autres séquences (respectivement 4.3 % au lieu de 3.3 % et 0.97 % au lieu de 0.60 %). Or, ces deux éléments présentent une faible corrélation au 1<sup>er</sup> axe et il est probable que les remaniements postérieurs au mélange ayant été trop importants, leurs estimations sont biaisées (cf. partie théorique).

c) Les estimations établies à partir des données des diverses séquences ne peuvent pas être considérées comme différentes. La composition chimique de l'apport doit être considérée comme homogène à l'échelle de la région étudiée. Elle présente même des analogies avec celle des loess du Nord de la France; un échantillon typique renfermant, par exemple, selon JAMAGNE (1973; p. 130) : "échantillon du Vermont 687"

$\text{SiO}_2$	79.66	$\text{TiO}_2$	0.38	$\text{MgO}$	0.65
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10.34	$\text{P}_2\text{O}_5$	0.19	$\text{K}_2\text{O}$	2.22
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.95	$\text{MnO}$	0.10	$\text{Na}_2\text{O}$	1.28
$\text{FeO}$	0.66	$\text{CaO}$	0.82		

Les principales différences portent sur  $\text{TiO}_2$  (0.32 au lieu de 0.9) et  $\text{CaO}$  (0.82 au lieu de 0.2) ce qui pourrait signifier que l'apport du Sourn est relativement ancien (JAMAGNE, communication personnelle).

### I - 3. Les compositions granulométriques

Les estimations qui concernent la granulométrie présentent, globalement, les mêmes caractéristiques: forte teneur en limons avec prédominance de L.G., annulation quasi simultanée de S2, S3, S4, S5. Les différences entre les estimations semblent, cependant, plus importantes que celles observées pour la chimie.

Pour les raisons énoncées au sujet de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{MgO}$ , les écarts qui existent sur l'argile doivent s'interpréter avec prudence (on notera d'ailleurs, qu'il y a environ 4 % de

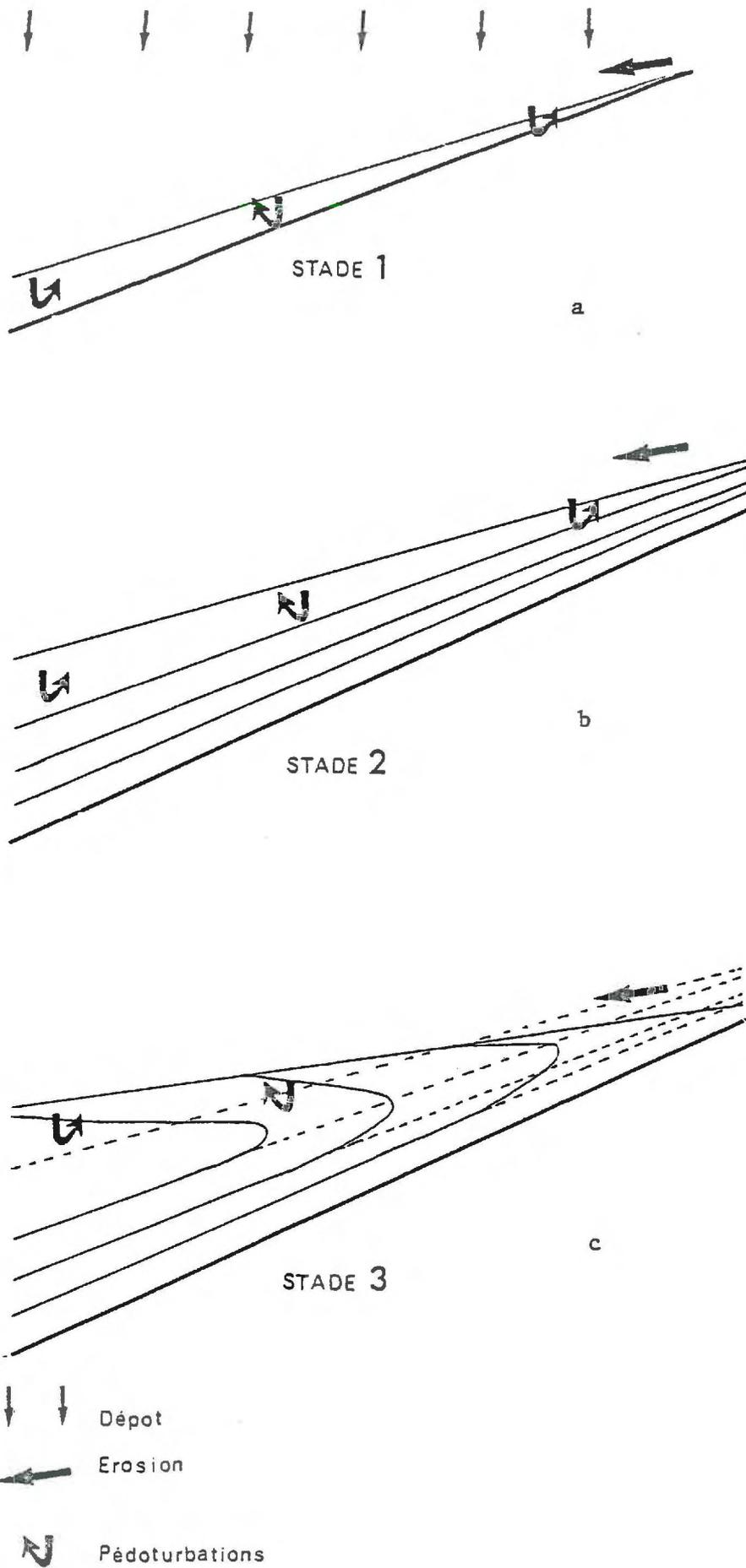


FIGURE 79; MISE EN PLACE DES MATERIAUX

différence entre les deux estimations (M1b à St Elouan). Ces réserves étant faites, il apparaît indéniable que l'estimation du Sourn se distingue de celles de St Elouan et Ste Tréphine par ses faibles teneurs en Si et, dans une moindre mesure, par ses très fortes teneurs en L.G. Ceci signifierait que le grain moyen de l'apport est légèrement plus faible dans la séquence du Sourn que dans les autres. Cette remarque sera mieux perçue lors de la discussion sur la province d'alimentation de l'apport.

#### I - 4. Conclusion

A l'échelle de la région d'étude, la composition chimique de l'apport apparaît homogène et le grain moyen de cet apport légèrement plus fin au Sud (le Sourn) qu'au Nord (St Elouan - Ste Tréphine).

### II - LA MISE EN PLACE DES MATERIAUX

La répartition globale des matériaux est en "enveloppes". Les échantillons les plus riches en apport se situent au coeur de ces enveloppes qui s'ouvrent vers l'aval au Sourn et à Ste Tréphine et vers l'amont à St Elouan. Cette disposition, bien qu'apparemment complexe, peut s'expliquer assez simplement.

En effet, l'apport est relativement homogène sur au moins les 50 km<sup>2</sup> de la zone étudiée et est présent indépendamment de la topographie, ce qui ne semble être compatible qu'avec une mise en place sous l'action du vent. L'aspect concave de la courbe cumulative (je rappelle que les niveaux les plus limoneux qui ont été étudiés par densimétrie montrent deux inflexions, l'une à 10 et l'autre à 80  $\mu$ , p.54), l'absence de fraction supérieure à 100  $\mu$  traduisent d'ailleurs un tri éolien.

Ainsi, au fur et à mesure de son dépôt, le matériel éolien est mélangé aux produits issus du substrat, ceci à la fois par érosion et par l'ensemble des mouvements plus ou moins verticaux (ou de convections) qui existent au sein des niveaux superficiels d'une formation meuble (pédoturbation). Les déplacements latéraux dus à l'érosion font que, dès les premiers stades, l'épaisseur du matériel croît de l'amont vers l'aval et, de façon plus générale, des zones de forte érosion vers les zones de faible-érosion ou d'accumulation (fig. 79 a). Au début, la quantité de matériel issu du substrat est évidemment dominante, puis, peu à peu, la masse des produits d'apport augmente et les proportions s'inversent. Ceci explique la croissance du pourcentage d'apport de la base au sommet dans les parties inférieures des formations meubles. Lorsque l'apport cesse, il ne se produit plus que les déplacements latéraux et sub-verticaux (fig. 79 b). Ceux-ci conduisent au décapage des zones amont et à une redistribution des produits vers les zones aval. Leur caractère progressif permet aux matériaux déplacés d'être intégrés au reste de la couverture par la pédoturbation. Il en résulte une répartition sous forme d'enveloppes de matériaux le long du versant (fig. 79 c). Le bloc diagramme (fig.80) propose une disposition des enveloppes qui tient compte des grands traits de la topographie.

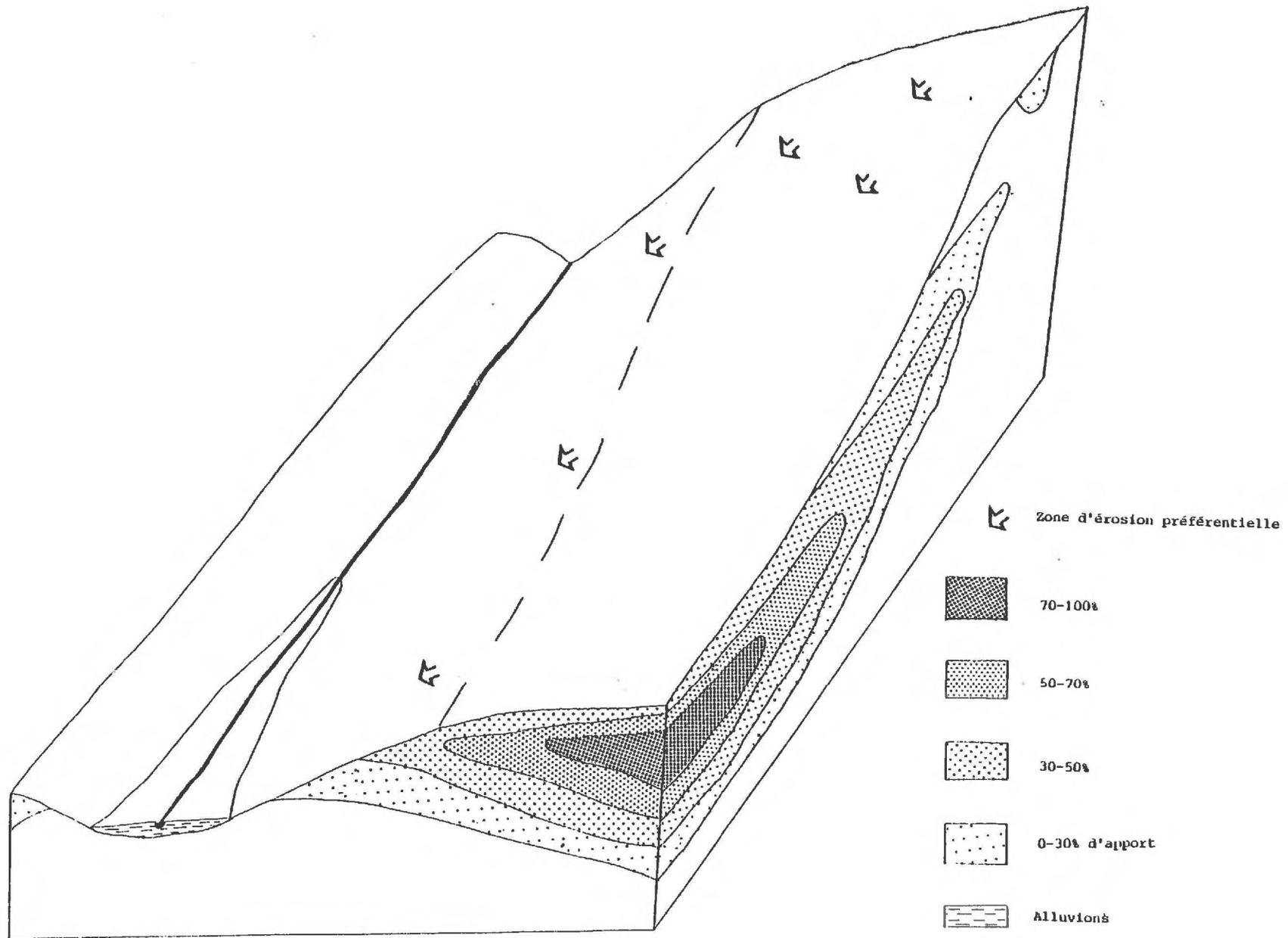


FIGURE 80: BLOC DIAGRAMME SYNTHÉTISANT LA REPARTITION DES MATERIAUX

III - ORIGINE DE L'APPORT

Nous venons de voir que l'apport doit être considéré comme étant d'origine éolienne. De plus, le glaucophane indique que sa province d'alimentation est assez lointaine; pour la localiser, il serait intéressant d'évaluer l'épaisseur des formations limoneuses et de grain moyen de l'apport (SMITH, 1942 in KRUMBEIN & SLOSS, 1956). Il semble que l'épaisseur des formations limoneuses va, dans le Massif Armoricain, en décroissant du Nord vers le Sud. Mais, le mélange et les phénomènes de versants empêchent de préciser l'épaisseur de l'apport et il est indispensable de se fonder sur le grain moyen. Seul, le traitement par le modèle de mélange, des données provenant de divers points le permettrait. Une telle étude sort du cadre de ce mémoire. Je me bornerai à constater que le grain moyen est de :

- 40 $\mu$  environ dans les loess récents de la région de St Brieuc (MONNIER, 1973)
- 30 $\mu$  dans les formations les plus limoneuses de la région de Quintin (PLIHON, 1974)
- 20 $\mu$  pour l'apport en Bretagne centrale avec un léger affinement vers le Sud.

Ces quelques faits sont en faveur d'une origine septentrionale mais seule une étude plus complète à l'échelle du Massif Armoricain, au moins, permettrait de localiser de façon rigoureuse la province d'alimentation

\*

\*

\*

## E - CONCLUSION A L'ESSAI DE MODÉLISATION

Le traitement, par un modèle de mélange, des données granulométriques et chimiques de quatre séquences, montre que les caractéristiques actuelles des sols limoneux de Bretagne centrale résultent de deux phénomènes principaux :

- le mélange de deux matériaux : l'un est issu du substrat, l'autre est un limon éolien. Le mélange, qui apparaît comme le facteur prédominant, se concrétise par des variations généralement importantes mais progressives et continues. L'architecture qu'il confère aux matériaux est en enveloppes et est indépendante des différenciations pédologiques observables.
- les actions pédogénétiques. Elles tendent à individualiser des horizons, c'est-à-dire à conférer une architecture discontinue : à l'intérieur d'un horizon donné, les caractères sont identiques et ils diffèrent d'un horizon à l'autre. A long terme, ceci conduit à effacer les propriétés issues du mélange; celles-ci ne sont déjà plus apparentes (sur les valeurs brutes) en ce qui concerne l'argile,  $Fe_2O_3$ , MgO et, en règle générale, dans tous les cas où les différences entre les deux matériaux initiaux sont plus faibles que les remaniements dus aux actions pédogénétiques (cf. le  $K_2O$  de Ste Trepheine).

# **QUATRIEME PARTIE**

## **CONCLUSION**

Cette étude des formations limoneuses de Bretagne centrale a été menée en deux étapes autonomes dont les conclusions se corroborent et se complètent.

#### I - UNE APPROCHE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE

Dans un premier temps, l'étude morphologique et analytique (lames minces - minéraux lourds - éléments majeurs et traces) de profils et de séquences a permis de mettre en évidence, en chaque station, les influences combinées de :

- un matériel d'apport qui se limite aux fractions inférieures à 100  $\mu$  et dont la province d'alimentation est probablement lointaine;
- de produits issus du substrat qui peuvent être strictement en place ou provenir de l'amont;
- une différenciation pédologique postérieure au mélange.

#### II - UN ESSAI DE MODELISATION

Dans un second temps, le traitement, par un modèle de mélange, des données de trois séquences représentatives, a permis d'estimer, en chaque station, les compositions des 2 constituants du mélange. Ces estimations effectuées, il a alors été possible :

- de démontrer que l'un de ces matériaux est un apport limoneux éolien dont la composition est homogène à l'échelle de la région étudiée, alors que l'autre provient de l'altération du substrat ;
- de préciser les proportions relatives de l'apport et du substrat dans chaque échantillon ;

- de mettre en évidence des variations d'argile et d'éléments chimiques (Si , Al , Fe , Mg , K , Na ) liées à la nature des horizons pédologiques ce qui montre que les processus d'éluviation et d'illuviation sont prédominants dans ces sols;

- d'évaluer les parts respectives du mélange et des actions pédogénétiques dans les variations des mesures.

### III - PERSPECTIVES

Le principal intérêt de cette étude réside, à mon avis, dans l'essai de modélisation. Dans toutes les régions où des formations hétérogènes se développent et, en particulier dans les régions marquées par les apports limoneux, le modèle proposé devrait être utilisé avec succès. Ainsi, il ouvre des perspectives qui semblent particulièrement intéressantes :

- sur le plan pédologique : il est possible d'estimer la composition d'un sol à l'issue du mélange et par comparaison avec sa composition actuelle, d'étudier les transformations postérieures (pédogenèse) ;

- sur le plan sédimentologique : il est possible d'estimer, à l'échelle d'une région, la composition de l'apport en différents lieux, ce qui peut contribuer à localiser sa province d'alimentation.

## BIBLIOGRAPHIE

## ANNEXES

B I B L I O G R A P H I E

- AUROSSEAU P., 1976 - Morphologie et genèse des sols sur granite du Morvan. Thèse Ing. Doc. Univ. Rennes, 210p.
- AUROSSEAU P., CURMI P., LE CALVEZ - LE BARS Y., et ROUSSEL F., 1978 - Characterisation of deep horizons in catenas with podzolic surface development. Proc. of 11th Congress. ISSS Vol. 1, Edmonton, Canada p. 220-221.
- BAGNOLD R.A., 1960 - The physics of blown sand and desert dunes. London, Methuen, XXIV, 266 p.
- BARROIS Ch., 1897 - Sur l'extension du limon quaternaire en Bretagne. Extrait Ann. Soc. Géol. du Nord, T. XXVI, p. 33-44.
- BARSHAD I., 1966 - The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid and basic igneous rocks. Proc. of the Int. Clay Conference, I, Jerusalem, Israel, p. 167-173.
- BAULIG H., 1933 - A propos du relief armoricain et de l'origine du loess breton. B.A.G.F. n° 67, p. 51-55.
- BERTHOIS L., 1937 - Contribution à l'étude des limons de Bretagne. Bull. Soc. Scient. de Bretagne, t. XIV, n° 1-2, p. 53-62.
- BERTHOIS L. et MILON Y., 1932 - Note préliminaire sur l'origine des limons quaternaires du Finistère. C.R.S. S.G.F., p. 54-56.
- BOULBIN M., 1976 - Les sols de la forêt de Rennes et l'influence des incendies sur leurs propriétés morphologiques et physico-chimiques. Thèse 3ème cycle, Rennes. 127 p.
- BOURRIE G., 1976 - Acquisition de la composition chimique des eaux en climat tempéré. Application au granite des Vosges et de la Margeride. Thèse Ing. Doc. Univ. Strasbourg. 215 p.
- CAILLEUX A., 1938 - Cailloux éoliens et solifluxion en France et en Europe septentrionale. Bull. Soc. Geol. France. 5ème série, p. 719-730.
- CAILLEUX A. et TAYLOR, 1954 - Cryopédologie. Etude des sols gelés. Hermann et Cie, ed. 218 p.
- CAMEZ T., 1962 - Etude sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. Mem. Serv. Carte Geol. Alsace-Lorraine, Strasbourg, 20, 90 p.
- CAMEZ T., FRANC DE FERRIERE P.J.J., LUCAS J. et MILLOT G., 1960 - Sur l'importance de la vermiculite dans certains sols tempérés et dans les dépôts du quaternaire ancien. C.R.A.S., 250, p. 3038-3041.
- CARNET C., 1978 - Bocage : Sols et Eaux. T. II. Etude des sols et de leur régime hydrique en région granitique de Bretagne : une approche du rôle du bocage. Thèse 3ème cycle, Rennes. 235 p.
- COLLIER D., 1961 - Mise au point sur les processus de l'altération des granites en pays tempéré. Ann. Agron., 12, 3, p. 273-331.

- COLLIN L., 1913 - Evolution de la côte Nord du Finistère pendant l'époque quaternaire. Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France, 3ème série, III, p. 18-24.
- COPPENET M. et RAMPON A., 1969 - Contribution à l'étude des sols granitiques et schisteux de Bretagne. Le bassin versant du Blavet. Ann. Agron. 18, 5, p. 455-484.
- CURMI P. - Une séquence de sol sur granite de Pontivy : morphologie et genèse. A paraître.
- DEJOU J., 1958 - Etude comparative des phénomènes d'altération sur granite porphyroïde de Lormes et sur anatexites à cordiérite du Morvan Nord et sols qui en dérivent. Thèse ClermontFerrand, 164 p.
- DEJOU J., GUYOT J., MORIZET J., CHAUMONT C. et ANTOINE H., 1970 - Etude de l'évolution superficielle des micaschistes à deux micas de la région de Berzac-Trezennes (Hte Vienne). Bull. AFES, n° 3, 1970, 27 p.
- DENOY C., DREYFUS C., OLIVIER J.R., TOUTLEMONDE D. et ZUPAN D., 1976 - Les bases pédologiques de l'aménagement des communes de Mûr de Bretagne et de Saint Aignan. Mem. DEA - DAA; SDS 55; ENSA Rennes, 247 p.
- DERRUAU M., 1972 - Précis de géomorphologie. 5ème édition, 2ème tirage, Masson et Cie ed. 415 p.
- DUCLoux et NIJS R., 1974 - Influence de la pédogenèse sur les associations des minéraux lourds des sols sur sédiments pleistocènes de la Vendée méridionale (région du Marais Poitevin et bordures - France). Bull. AFES, n° 4, p. 247-257.
- ESTEouLE J., ESTEouLE-CHOUX J. et PERRET P., 1972 - Etude des formations superficielles du Massif Armoricaïn : caractères distinctifs et passages des altérites et des dépôts tertiaires aux formations quaternaires. Bull. Soc. Min. Bret. Rennes, C. IV, 2, p. 96-106.
- FOLK R., 1968 - Petrology of sedimentary rocks. The University of Texas Geology, 370 K, 383 L, 383 M, 170 p.
- GUILCHER A., 1948 - Le relief de la Bretagne méridionale de la Baie de Douarnenez à la Vilaine. La Roche s/ Yon, Potier ed., 682 p.
- GUILCHER A. et GIOT R., 1969 - Livret-guide de l'excursion C 16 Bretagne - Anjou, VIII° Cong. INQUA, Paris, 76 p.
- GUILLAUME-BRUNO S., 1972 - Le Plio-Quaternaire des côtes du Morbihan. Etude sédimentologique et stratigraphique. Thèse 3ème cycle, Paris Sud, Centre d'Orsay, 121 p.
- HAMEURT J., 1961 - Etude géologique et pétrographique du Massif granitique de Pontivy. Thèse Univ. Nancy. 132 p.
- JACKSON M.L., GILLETTE D.A., DANIELSEN E.F., BLIFFORD I.H., BRYSON R.A. et SYERS J.K., 1973 - Global dustfall during the quaternary as related to environments. Soil Sc., v. 116, n° 3, p. 135-145.
- JAMAGNE M., 1973 - Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du Nord de la France. Thèse Fac. Gembloux (Belgique), 445 p.
- KRUMBEIN et SLOSS, 1956 - Stratigraphy and sedimentation. Freeman and Co, ed. San Francisco, California, 497 p.

- LAUTRIDOU J.P., 1969 - Colloque sur les limons du Bassin de Paris. Commission de terminologie des limons. Mem. h. série S.G.F., 5, p. 123-137.
- LE CALVEZ - LE BARS Y., 1977 - Les podzols et leurs horizons sous-jacents sur les grès armoricains de Mur de Bretagne. Mem. D.E.A. SDS 90, ENSA et Fac. Sci. Rennes, 104 p.
- LE CALVEZ L. et MARHIC Y., 1976 - Caractérisations détaillées de quelques sols de la région de Mûr de Bretagne. Relations avec les roches sous-jacentes. Mem. D.E.A., SDS 54, ENSA et Fac. Sci. Rennes, 89 p.
- LE CORRE C., 1978 - Approche quantitative des processus synschisteux : l'exemple du segment hercynien de Bretagne centrale. Thèse Rennes, 381 p.
- MELOU M., 1968 - Contribution à l'étude sédimentologique du Quaternaire sud-finistérien. L'anse de Trez-Rouz et la ria de l'Odet. Thèse 3ème cycle, Paris-Orsay, 81 p.
- MILLOT G., 1964 - Géologie des argiles. Masson Paris ed., 499 p.
- MILON Y. et DANGEARD L., 1928 - Sur l'importance des phénomènes de solifluxion en Bretagne pendant le Quaternaire. C.R.A.S. Paris, t. 187, p. 136.
- MONNIER J.L., 1973 - Contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la région de St Briec. Thèse 3ème cycle, Rennes, 259 p.
- MOSSER C., 1978 - Le problème de la permanence des éléments en traces dans l'altération argileuse des roches éruptives et volcaniques. C.R.A.S. Paris, t. 286, p. 1187-1190.
- PEDRO G., 1964 - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse, Paris, 344 p.
- PLIHON G., 1974 - Les formations meubles sur les granites de Bonnemain et de Quintin (Massif Armoricaïn). Arènes, arènes remaniées et limons. Thèse 3ème cycle, Rennes, 138 p.
- RAMBAUD D. et PINTA M., 1970 - Sur la répartition et la concentration de quelques éléments à l'état de traces dans des profils de sols ferrallitiques : leur rapport avec la granulométrie. C.R.A.S. Paris, t. 270, p. 2426-2429.
- RAMPON, 1971 - Contribution à l'étude des facteurs du bilan de l'eau : les bassins versants élémentaires représentatifs du Blavet. C.T.G.R.E.F. Antony, t. 1 : texte, 354 p. t. 2 : planches.
- REYNAUD J., 1848 - Mémoire sur les embouchures de la rivière de Pontrieux. C.R.A.S. Paris, p. 218.
- RUELLAN A., 1970 - Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental). Mem. ORSTOM, n° 54, 302 p.
- SAGON J.P., 1976 - Contribution à l'étude géologique de la partie orientale du bassin de Chateaulin (Massif Armoricaïn) : stratigraphie, volcanisme, métamorphisme, tectonique. Thèse Univ. Paris VI, t. I : texte, 671 p; t. II, fig.
- SEDDOH F., 1973 - Altération des roches cristallines du Morvan. Mem. Géol. de l'Univ. de Dijon, 376 p.

- SOUCHIER B., 1971 - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges).  
Thèse Univ. Nancy, 133 p.
- TARDY Y., 1969 - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs  
cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse Strasbourg. Mem. Serv. Carte Géol.  
Alsace-Lorraine, n° 31, 199 p.
- VON ENGELHARDT W., 1977 - The origin of sediments and sedimentary rocks. Sedimentary Petrology  
Part III. Trad. de W.D. JOHNS. J. Wiley and sons ed., 360 p.
- WEST R.G., 1972 - Pleistocene geology and biology. Longman, London, 378 p.
- YAALON D.H. et GANOR E., 1973 - The influence of dust on soils during the Quaternary. Soil  
Sc., v. 116, n° 3, p. 146-155.

ANNEXES

ST ELOUAN

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2c	23.23997	49.19247	10.00002	3.80283	3.06431	2.99823	3.34659	4.35644
M2a	20.08348	42.95695	21.74068	6.01123	2.04400	2.31051	2.21210	2.64114
M1a	17.30450	37.46719	32.07718	7.95550	1.14572	1.70503	1.21345	1.13096
M1b	15.22336	33.35596	39.81812	9.41156	.47301	1.25160	.46551	.00000

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	PROPORTION DE M2		
											Max.	Min.
1E1	teneur réelle	20.00	40.70	25.70	6.10	1.70	1.90	1.90	2.00			
	teneur estimée	19.07	40.96	25.49	6.71	1.71	2.09	1.84	2.09	.792	.298	
1E2	teneur réelle	16.70	43.39	28.00	6.20	1.00	1.30	1.50	1.90			
	teneur estimée	18.71	40.24	26.83	6.97	1.60	2.01	1.71	1.89	.715	.237	
1E3	teneur réelle	16.60	40.20	30.80	7.40	1.00	1.40	1.60	1.00			
	teneur estimée	17.79	38.44	30.23	7.60	1.30	1.81	1.39	1.39	.520	.043	
1E4	teneur réelle	19.39	36.39	31.30	8.00	1.30	1.60	1.90	1.10			
	teneur estimée	17.44	37.74	31.56	7.85	1.19	1.73	1.26	1.20	.456	.023	
1E5	teneur réelle	18.10	36.70	32.00	7.50	1.30	2.10	1.20	1.10			
	teneur estimée	17.30	37.46	32.07	7.95	1.14	1.70	1.21	1.13	.429	.000	
1E6	teneur réelle	18.10	37.30	29.20	9.20	1.30	1.80	1.60	1.50			
	teneur estimée	17.84	38.53	30.06	7.57	1.32	1.82	1.40	1.42	.530	.091	
1E7	teneur réelle	18.60	37.80	26.89	7.60	2.00	2.50	1.80	2.80			
	teneur estimée	18.46	39.76	27.75	7.14	1.52	1.95	1.63	1.76	.667	.195	
1E8	teneur réelle	17.60	41.30	24.20	7.10	2.50	3.10	2.30	1.90			
	teneur estimée	19.28	41.38	24.69	6.56	1.78	2.13	1.92	2.20	.836	.334	
2F1	teneur réelle	19.50	41.70	24.50	5.80	1.70	2.30	1.90	2.60			
	teneur estimée	19.40	41.61	24.26	6.48	1.82	2.16	1.96	2.27	.860	.353	
2F2	teneur réelle	16.80	42.50	28.20	6.20	1.30	1.80	1.60	1.60			
	teneur estimée	18.59	40.01	27.27	7.05	1.56	1.98	1.67	1.23	.693	.217	
3F1	teneur réelle	21.60	41.89	22.50	6.10	2.00	2.10	1.80	2.00			
	teneur estimée	19.88	42.55	22.49	6.15	1.97	2.26	2.13	2.53	.954	.434	
3E2	teneur réelle	20.89	41.80	21.20	6.90	1.90	2.10	2.30	2.90			
	teneur estimée	20.08	42.95	21.74	6.01	2.04	2.31	2.21	2.64	1.000	.448	

STE TREPHINE 2.

		A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2	a	23.01137	28.84868	10.00002	14.67646	3.37045	3.28587	6.38906	10.37430
	b	17.81703	30.86584	26.49101	11.21461	2.02685	2.01569	3.70718	5.84427
M1	a	12.13545	33.07222	44.52893	7.42803	55722	62637	77373	88931
	b	11.11573	33.46822	47.76634	6.74843	29345	37702	24724	00000

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	Prop. de M2	
									Max.	Min.
1171	7.20000	29.39999	42.50000	10.80000	1.50000	1.40000	2.30000	4.90000	.26	.07
	12.90705	32.77258	42.07925	7.94228	.75681	.81505	1.17212	1.56223		
1172	8.30000	32.89999	42.39999	10.90000	1.20000	1.20000	1.60000	1.50000		
	12.64761	32.87332	42.90292	7.76937	.68970	.75161	1.03817	1.33597	.22	.04
1173	10.70000	35.00000	39.60001	9.20000	1.00000	1.20000	1.40000	1.90000		
	13.39088	32.58469	40.54320	8.26473	.88196	.93336	1.42192	1.98418	.33	.11
1174	12.00000	33.60001	38.10001	8.50000	1.30000	1.40000	2.00000	3.10000		
	13.98505	32.35394	38.65683	8.66072	1.03565	1.07866	1.72869	2.50236	.42	.17
1175	14.00000	32.60001	38.50000	8.70000	.80000	1.10000	1.70000	2.60000		
	14.02076	32.34009	38.54346	8.68452	1.04488	1.08739	1.74713	2.53350	.43	.17
1176	17.60001	28.30000	38.20000	8.80000	.90000	1.10000	2.00000	3.10000		
	14.55908	32.13103	38.83438	9.04330	1.18413	1.21902	2.02507	3.00298	.51	.22
1177	18.39999	28.50000	37.50000	8.90000	.70000	1.00000	2.40000	2.90000		
	14.78467	32.04343	36.11818	9.19364	1.24248	1.27419	2.14155	3.19971	.54	.24
1271	15.80000	32.39999	38.00000	7.60000	.80000	1.10000	1.60000	2.70000		
	14.23650	32.25630	37.85854	8.82831	1.10069	1.14014	1.85852	2.72165	.46	.19
1272	12.30000	33.30000	41.00000	8.40000	.90000	.80000	1.60000	1.70000		
	13.16383	32.67285	41.26401	8.11341	.82323	.87784	1.30470	1.78617	.30	.09
1273	12.40000	34.00000	39.89999	8.10000	.80000	.80000	1.30000	2.60000		
	13.45609	32.55936	40.33615	8.30819	.89882	.94931	1.45559	2.04105	.34	.12
1274	14.00000	32.30000	41.00000	8.30000	.80000	.70000	1.40000	1.50000		
	13.29586	32.62158	40.84485	8.20141	.85738	.91013	1.37286	1.90131	.32	.10
1275	15.10000	31.30000	41.30000	8.30000	.90000	.80000	1.50000	1.00000		
	13.30778	32.61696	40.80702	8.20935	.86046	.91304	1.37902	1.91171	.32	.10
1276	14.10000	30.50000	40.80000	8.20000	1.00000	.90000	1.60000	2.90000		
	13.51352	32.53706	40.15382	8.34647	.91368	.96335	1.48524	2.09114	.35	.12
277	14.00000	30.00000	39.20000	7.80000	1.60000	1.70000	1.80000	3.10000	.43	.17
	14.00741	32.34526	38.58582	8.67563	1.04143	1.08413	1.74024	2.52186		
371	9.50000	36.30000	39.60001	7.20000	1.20000	1.70000	1.50000	2.90000	.31	.10
	13.24744	32.64040	40.99858	8.16914	.84485	.89829	1.34786	1.85908		
372	14.30000	34.70000	36.60001	7.90000	.90000	1.10000	1.60000	2.90000	.49	.21
	14.42762	32.18208	37.25175	8.95568	1.15012	1.18688	1.95720	2.88833		
471	12.00000	36.20000	40.20000	7.60000	.70000	.60000	1.10000	1.60000	.30	.09
	13.17432	32.66879	41.23073	8.12040	.82594	.88041	1.31011	1.79531		
472	15.00000	34.10001	36.50000	7.10000	1.40000	1.70000	1.90000	2.30000	.50	.21
	14.47634	32.16316	37.09708	8.98815	1.16273	1.19879	1.98235	2.93082		
473	7.80000	30.50000	37.10001	12.40000	2.50000	1.60000	3.50000	4.40000	.48	.20
	14.38216	32.19974	37.39606	8.92539	1.13837	1.17576	1.93373	2.84868		
571	14.90000	33.70000	41.00000	6.50000	.60000	.60000	1.00000	1.70000	.31	.09
	13.22168	32.65039	41.08035	8.15197	.83819	.89199	1.33456	1.83662		
572	15.90000	32.60000	40.00000	6.50000	.50000	.50000	1.00000	2.80000	.37	.13
	13.84523	32.48592	39.73569	8.43425	.94775	.99556	1.55324	2.20600		
573	12.10000	33.20000	38.89999	12.50000	.70000	.60000	.90000	.90000	.40	.15
	13.79741	32.42682	39.25255	8.53567	.98711	1.03277	1.63181	2.33871		
574	8.50000	34.89999	43.70000	9.90000	.80000	.60000	.70000	.60000	.15	.00
	12.13545	33.07222	44.52893	7.42803	.55722	.62637	.77373	.88931		
575	12.70000	33.89999	39.30000	8.70000	1.20000	1.40000	1.50000	1.30000	.37	.13
	13.59943	32.50369	39.88109	8.40372	.93590	.98436	1.52960	2.16606		
576	18.10001	37.30000	24.80000	9.80000	1.40000	1.50000	3.10000	4.00000	1.00	.52
	17.81703	30.86584	26.49101	11.21461	2.02685	2.01569	3.70718	5.84427		
671	14.50000	32.30000	43.70000	7.20000	.50000	.40000	.90000	.60000	.20	.03
	12.51640	32.92429	43.31949	7.68192	.65576	.71953	.97042	1.22154		
672	13.60000	33.80000	43.00000	7.50000	.40000	.50000	.60000	.60000	.21	.04
	12.57748	32.90056	43.12558	7.72263	.67156	.73446	1.00196	1.27480		
673	14.80000	32.70000	43.00000	7.40000	.30000	.50000	.70000	.60000	.23	.05
	12.70114	32.85254	42.73300	7.80504	.70354	.76470	1.06580	1.38265		
674	16.00000	32.60001	41.50000	7.20000	.30000	.40000	.70000	1.30000	.31	.09
	13.20423	32.65717	41.13577	8.14033	.63368	.68772	1.32555	1.82140		
675	14.60001	30.50000	42.39499	5.40000	.30000	.40000	.70000	.70000	.30	.09
	13.19139	32.66216	41.17654	8.13178	.83035	.88458	1.31892	1.81020		
676	14.50000	29.80000	41.10001	5.20000	.60000	1.00000	1.80000	1.00000	.37	.13
	13.59827	32.50415	39.88475	8.40295	.93560	.98408	1.52900	2.16505		
677	16.39999	29.39999	32.80000	6.50000	1.70000	2.20000	3.90000	7.10000	.73	.35
	16.03467	31.55800	32.14266	10.02673	1.50582	1.57985	2.78693	4.26986		
678	13.50000	27.10001	30.60001	17.00000	2.50000	1.70000	2.80000	4.80000	.84	.42
	16.77417	31.27083	29.80190	10.51958	1.75710	1.76068	3.16874	4.93478		



LE SOURN.

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5
M2c	12.01236	19.56244	12.00002	7.66018	6.98756	14.67724	13.90770	13.12285
M2a	12.46508	20.77312	15.23232	7.27399	6.36044	13.29011	12.62899	11.90395
M1a	16.43871	31.39960	43.60318	3.88432	8.85601	1.11495	1.40542	1.20537
M1b	16.80260	32.37273	46.20128	3.57391	3.35193	0.00000	3.7761	2.2564

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	Prop.de M2	
									Max.	Min.
1S1	16.39999	22.50000	24.20000	5.90000	3.90000	8.00000	8.50000	10.60000		
	13.72151	24.13313	24.20299	6.20220	4.61998	9.44042	9.08018	8.52114	.71	.61
1S4	15.20000	24.30000	25.30000	5.70000	4.20000	9.20000	7.60000	8.50000		
	13.90373	24.62044	25.50398	6.04676	4.36756	8.88210	8.56550	8.03053	.66	.57
1S7	12.30000	24.00000	23.80000	5.60000	4.50000	10.00000	9.80000	10.00000		
	13.58603	23.77083	23.23567	6.31777	4.80765	9.85553	9.46284	8.88591	.74	.64
1S9	9.70000	26.50000	24.80000	6.00000	4.00000	9.60000	9.40000	10.00000		
	13.74731	24.20212	24.38712	6.18020	4.58425	9.36139	9.00733	8.45170	.70	.60
1S10	5.40000	19.30000	18.30000	9.90000	7.00000	17.39999	13.50000	9.20000		
	12.46508	20.77312	15.23232	7.27399	6.36044	13.29011	12.62899	11.90395	1.00	.89
21S1	17.39999	24.00000	26.80000	5.30000	3.80000	8.70000	8.00000	6.00000		
	14.13682	25.24376	27.16814	5.84793	4.04469	8.16794	7.90716	7.40294	.61	.52
21S5	17.00000	21.89999	22.39999	5.90000	4.90000	10.90000	9.10000	7.90000		
	13.50676	23.55864	22.66971	6.38539	4.91748	10.09841	9.68674	9.09933	.75	.66
22S1	17.60000	24.70000	27.20000	5.00000	3.60000	7.70000	6.90000	7.30000		
	14.23094	25.49548	27.84018	5.76764	3.91430	7.87953	7.64129	7.14954	.59	.49
22S2	13.10000	31.30000	34.60000	4.60000	2.50000	4.90000	4.60000	4.10000		
	15.29057	28.32918	35.40567	4.86374	2.44646	4.63286	4.64837	4.29663	.34	.25
22S3	20.10000	28.60000	33.80000	4.40000	2.20000	3.70000	3.40000	3.80000		
	15.31983	28.40742	35.61458	4.83877	2.40593	4.54321	4.56573	4.21785	.34	.25
22S4	18.50000	25.89999	35.10000	4.40000	2.10000	4.50000	4.80000	4.40000		
	15.22329	28.14925	34.92528	4.92113	2.53967	4.83902	4.83842	4.47779	.36	.27
22S5	7.10000	21.10000	27.20000	6.50000	5.30000	11.90000	11.80000	9.10000		
	13.59062	23.78311	23.26845	6.31386	4.80129	9.84146	9.44988	8.87355	.74	.64
23S1	11.30000	31.89999	36.50000	4.70000	2.50000	5.30000	3.90000	3.90000		
	15.45928	28.78035	36.61023	4.71982	2.21276	4.11593	4.17185	3.84240	.30	.22
23S2	21.70000	24.50000	27.80000	4.50000	3.40000	6.70000	5.60000	5.80000		
	14.45466	26.09377	29.43750	5.57680	3.60439	7.19406	7.00939	6.54722	.54	.44
23S3	16.20000	24.00000	29.50000	5.60000	4.00000	8.90000	7.10000	4.70000		
	14.40275	25.95493	29.06683	5.62108	3.67631	7.35313	7.15603	6.68699	.55	.45
23S4	11.20000	21.00000	21.50000	6.50000	6.10000	12.70000	10.90000	10.10000		
	13.12096	22.52711	19.91518	6.71450	5.45188	11.28050	10.77644	10.13806	.84	.74
31S1	11.40000	31.00000	42.10000	5.00000	1.40000	3.00000	3.00000	3.10000		
	16.04601	30.34940	40.79932	4.21932	1.40001	2.31822	2.51464	2.26270	.17	.08
31S2	12.30000	29.80000	42.30000	4.60000	1.50000	3.00000	3.10000	3.40000		
	16.02553	30.29465	40.65314	4.23678	1.42837	2.38094	2.57246	2.31782	.17	.09
32S3	10.50000	27.20000	20.60000	6.10000	5.00000	9.50000	9.40000	11.70000		
	13.36468	23.17883	21.65514	6.50661	5.11430	10.53380	10.08811	9.48192	.79	.69
32S4	11.20000	33.20000	21.10000	7.10000	4.30000	8.40000	8.10000	6.50000		
	13.84164	24.45438	25.06062	6.09973	4.45358	9.07237	8.74089	8.19773	.68	.58
121	18.10000	22.70000	24.50000	7.50000	4.10000	4.30000	6.60000	6.20000		
	13.87639	24.54732	25.30878	6.07008	4.40543	8.96587	8.64272	8.10415	.67	.57
122	13.90000	28.80000	26.10000	5.90000	4.10000	7.80000	7.50000	6.10000		
	14.22855	25.48906	27.82307	5.76968	3.91762	7.88688	7.64806	7.15601	.59	.49
123	9.70000	23.70000	22.80000	7.90000	5.40000	11.30000	10.50000	8.70000		
	13.39838	23.26901	21.89590	6.47784	5.06759	10.43048	9.99286	9.39113	.78	.68
124	13.00000	26.80000	24.39999	5.70000	4.20000	7.80000	9.70000	8.40000		
	13.86539	24.51788	25.23018	6.07947	4.42068	8.99960	8.67381	8.13378	.67	.58
125	13.60000	27.20000	25.20000	6.40000	3.80000	7.20000	8.00000	8.60000		
	14.02096	24.93393	26.34096	5.94676	4.20517	8.52292	8.23439	7.71491	.64	.54
126	16.50000	27.60000	27.00000	6.10000	3.60000	7.00000	6.90000	5.30000		
	14.36775	25.86133	28.81696	5.65094	3.72479	7.46036	7.25488	6.78122	.56	.46
127	15.30000	26.60000	27.00000	6.20000	3.50000	6.80000	7.20000	7.40000		
	14.25536	25.56076	28.01448	5.74681	3.88048	7.80473	7.57234	7.08383	.58	.49
128	12.40000	27.89999	27.00000	5.70000	3.50000	6.00000	6.90000	6.10000		
	14.38699	25.91278	28.95430	5.63453	3.69814	7.40142	7.20055	6.72943	.55	.46
129	12.60000	19.80000	16.60000	6.30000	5.30000	9.80000	12.40000	17.00000		
	12.55094	21.00275	15.84537	7.20075	6.24150	13.02703	12.38647	11.67278	.98	.87
201	16.80000	24.70000	25.30000	6.60000	4.20000	6.50000	6.00000	9.90000		
	14.03019	24.95862	26.40688	5.93889	4.19239	8.49464	8.20832	7.69006	.63	.54

LE SOURN. (Suite et fin)

	A	LF	LG	S1	S2	S3	S4	S5	Prop. de M2	
									Max.	Min.
202	14.00000	32.00000	33.30000	6.10000	2.30000	3.80000	4.80000	3.70000		
	15.24855	28.21681	35.10568	4.89958	2.50467	4.76160	4.76705	4.40976	.35	.26
203	19.10001	29.30000	29.70000	5.70000	2.70000	3.90000	5.40000	4.20000		
	14.88527	27.24530	32.51192	5.20947	3.00790	5.87469	5.79315	5.38786	.44	.35
204	20.39999	21.10001	25.00000	6.20000	5.30000	7.10000	8.20000	6.70000		
	13.92846	24.68657	25.68053	6.02567	4.33331	8.80634	8.49566	7.96396	.66	.56
241	17.39999	27.30000	35.89999	6.30000	2.20000	3.10000	3.70000	4.10000		
	15.40525	28.63586	36.22447	4.76591	2.28760	4.28148	4.32445	3.98787	.32	.23
242	12.30000	33.20000	42.70000	4.60000	1.60000	2.20000	2.30000	1.10000		
	16.28844	30.99774	42.53027	4.01251	1.06417	1.57538	1.82986	1.60996	.11	.00
243	12.90000	32.30000	44.30000	4.70000	1.20000	1.90000	1.60000	1.10000		
	16.43871	31.39960	43.60318	3.88432	.85601	1.11495	1.40542	1.20537	.08	.00
244	12.80000	31.89999	42.60001	4.50000	1.40000	2.00000	2.70000	2.10000		
	16.21277	30.79536	41.98997	4.07706	1.16900	1.80725	2.04361	1.81371	.13	.05
245	17.80000	30.39999	40.20000	4.30000	1.20000	2.10000	2.50000	1.50000		
	16.05273	30.63740	40.84738	4.21358	1.39068	2.29759	2.49562	2.24458	.17	.08
301	13.10000	30.60001	40.00000	4.60000	2.10000	3.30000	3.40000	2.90000		
	15.85498	29.83856	39.43547	4.38227	1.66462	2.90350	3.05418	2.77701	.21	.13
302	17.50000	24.70000	38.70000	4.20000	2.20000	4.10000	4.10000	4.50000		
	15.51706	28.93486	37.02275	4.67053	2.13272	3.93890	4.00865	3.68684	.29	.20
303	16.89999	24.10001	37.60001	4.60000	2.40000	5.10000	5.00000	4.30000		
	15.33481	28.44749	35.72156	4.82599	2.38518	4.49730	4.52341	4.17751	.33	.24
304	14.50000	23.39999	32.10001	4.20000	3.20000	6.50000	8.20000	7.90000		
	14.55546	26.36330	30.15712	5.49082	3.46477	6.88524	6.72471	6.27585	.51	.42
305	7.80000	16.39999	21.10001	4.50000	4.50000	12.90000	15.90000	16.89999		
	12.56906	21.05119	15.97473	7.18529	6.21640	12.47151	12.33529	11.62399	.97	.87
306	17.70000	27.70000	41.50000	2.90000	1.60000	3.10000	3.30000	2.20000		
	15.99941	30.22479	40.46664	4.25906	1.46455	2.46098	2.64624	2.38815	.18	.09
331	16.30000	29.30000	39.50000	3.70000	1.90000	3.50000	3.50000	3.30000		
	15.76877	29.60800	38.81990	4.45581	1.78404	3.16766	3.29769	3.00913	.23	.15
332	17.30000	25.89999	29.80000	5.00000	3.30000	7.20000	6.90000	4.10000		
	14.60177	26.48717	30.48782	5.45131	3.40061	6.74332	6.59388	6.15114	.50	.41
333	18.30000	26.50000	34.39999	5.10000	2.70000	3.90000	4.00000	4.50000		
	15.22012	28.14078	34.90256	4.92383	2.54406	4.84872	4.84736	4.48632	.36	.27
334	18.00000	28.30000	42.10001	3.60000	1.30000	2.20000	2.60000	1.90000		
	16.13310	30.58231	41.42116	4.14502	1.27936	2.05135	2.26863	2.02821	.15	.06
335	17.20000	25.50000	30.60001	4.80000	2.90000	5.80000	6.40000	6.80000		
	14.64459	26.60167	30.79355	5.41478	3.34129	6.61212	6.47294	6.03585	.49	.40
336	15.80000	24.30000	23.39999	7.40000	5.40000	9.10000	9.30000	5.30000		
	13.76532	24.25027	24.51572	6.16483	4.55930	9.30620	8.95646	8.40320	.70	.60
337	16.70000	22.70000	23.30000	6.70000	5.80000	10.40000	9.20000	5.20000		
	13.67872	24.01869	23.89743	6.23871	4.67926	9.57154	9.20105	8.63636	.72	.62
338	16.20000	24.30000	22.90000	6.30000	4.20000	8.00000	8.80000	9.40000		
	13.67805	24.01689	23.89262	6.23928	4.68019	9.57360	9.20295	8.63817	.72	.62
339	12.90000	23.89999	22.10001	7.00000	5.60000	9.00000	10.80000	8.70000		
	13.46121	23.43703	22.34447	6.42425	4.98056	10.23799	9.81541	9.22198	.77	.67
3310	11.90000	19.10001	16.70000	6.60000	8.30000	18.89999	11.70000	6.80000		
	12.49408	20.85068	15.43939	7.24925	6.32026	13.20125	12.54707	11.82587	.99	.89
3311	14.70000	22.20000	17.70000	6.80000	5.80000	10.10000	10.20000	12.50000		
	12.92672	22.00766	18.52831	6.88019	5.72096	11.87566	11.32509	10.66104	.89	.79
3313	13.10000	24.60001	17.70000	7.70000	6.00000	11.30000	10.20000	9.40000		
	13.02445	22.26901	19.22610	6.79682	5.58558	11.57621	11.04904	10.39791	.87	.77
1S2	10.30000	28.10001	25.50000	6.10000	3.60000	8.00000	8.20000	10.20000		
	13.95681	24.76237	25.88292	6.00149	4.29404	8.71948	8.41559	7.88764	.65	.56
1S3	10.00000	27.80000	25.70000	5.90000	4.50000	10.20000	9.70000	6.20000		
	13.94571	24.73270	25.80371	6.01095	4.30941	8.75348	8.44693	7.91751	.65	.56
1S8	12.70000	21.60001	22.50000	6.10000	4.50000	10.40000	11.10000	11.10000		
	13.31302	23.04073	21.28642	6.55066	5.18584	10.69204	10.23397	9.62097	.80	.70
21S2	16.50000	25.80000	26.89999	5.30000	3.50000	7.90000	6.60000	7.50000		
	14.22259	25.47314	27.78055	5.77476	3.92587	7.90513	7.66488	7.17205	.59	.50
21S3	11.20000	31.30000	31.60001	5.40000	2.70000	6.20000	5.70000	5.90000		
	14.87136	27.20810	32.41261	5.22134	3.02717	5.91731	5.83243	5.42531	.44	.35
21S4	21.39999	27.00000	32.00000	4.50000	2.40000	5.30000	4.20000	3.20000		
	15.06819	27.73447	33.81790	5.05344	2.75452	5.31424	5.27649	4.89538	.39	.30
31S3	15.30000	26.20000	39.89999	4.30000	1.90000	4.40000	4.00000	4.00000		
	15.64924	29.28833	37.96646	4.55778	1.94963	3.53391	3.63532	3.33096	.26	.17
31S4	12.50000	25.20000	25.30000	6.30000	5.50000	9.80000	7.40000	8.00000		
	13.87441	24.54202	25.29463	6.07177	4.40818	8.97194	8.64832	8.10948	.67	.57
2S1	9.80000	31.10001	42.30000	4.00000	1.60000	3.40000	3.20000	4.60000		
	15.98630	30.18973	40.37305	4.27025	1.48271	2.50115	2.68327	2.42345	.18	.10
2S2	14.80000	27.70000	40.70000	3.80000	1.60000	3.70000	3.40000	4.30000		
	15.80084	29.69377	39.04889	4.42845	1.73962	3.06940	3.20711	2.92278	.23	.14

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET METHODES D'ETUDE	5
A - QUELQUES DEFINITIONS	7
B - ANALYSE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS	9
I - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	9
II - DISCUSSION DE CES TRAVAUX	11
II - 1. La composition du matériel	11
II - 1. 1. Les minéraux lourds	11
II - 1. 2. La fraction fine	12
II - 1. 3. Les grains du squelette	13
II - 1. 4. Conclusion	13
II - 2. Origine de la fraction apportée	13
C - CONCLUSION : LA DÉMARCHE D'ÉTUDE	14
DEUXIEME PARTIE : APPROCHE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES SOLS DE LA RÉGION DE MUR DE BRETAGNE	15
INTRODUCTION	17
A - CADRE DE L'ETUDE	19
I - CADRE GEOLOGIQUE	19
I - 1. Le substrat	19
I - 1. 1. Les principaux faciès	19
a) Le Briovérien	19
b) Le Paléozoïque inférieur	19
c) Le Carbonifère	22
d) Le granite	22
I - 1. 2. Les minéraux lourds	22
I - 2. Quelques critères de reconnaissance des formations d'altération	24
I - 2. 1. L'arène granitique	24
I - 2. 2. L'altération des quartzites et grès	24
a) Les quartzites ordoviciens	24
b) Les quartzites et grès ferrugineux du Siegenien inf.	25
c) Les schistes et quartzites du Devonien	25
I - 2. 3. Les schistes	25
a) Caractères généraux	25
b) Caractères particuliers	26

II - QUELQUES ASPECTS DE LA GEOMORPHOLOGIE	27
II - 1. La zone du Primaire anté-carbonifère	27
II - 2. Les autres zones	27
III - LES GRANDS ENSEMBLES PEDOLOGIQUES	29
B) APPROCHE DES PROBLÈMES PRINCIPAUX	
I - INTRODUCTION	31
II - LES SEQUENCES ETUDIEES	31
II - 1. 1. La séquence du Sourn	31
II - 1. 2. La séquence de Ste Tréphine	33
II - 1. 3. La séquence de St Elouan	33
a) Présentation et rappel	33
b) Quelques données analytiques	37
II - 1. 4. Le profil de la Croix du Roz	39
III - DISCUSSION : LES PROBLEMES POSES	40
C) LES FORMATIONS LIMONEUSES DANS LE PAYSAGE	
I - INTRODUCTION	41
II - LES PHENOMENES DE VERSANTS	41
II - 1. Les faits	41
II - 2. Discussion	43
II - 3. Conclusion	44
III - LES PASSAGES ENTRE LES SUBSTRATS ET LES FORMATIONS LIMONEUSES	45
III - 1. Les faits	45
III - 2. Discussion	46
IV - CONCLUSION	46
D) ETUDE PÉDOLOGIQUE D'UN PROFIL TYPE : LES GRANGES	
I - LES FAITS	47
II - INTERPRETATION	51
III - CONCLUSION	52
E) LES DONNÉES ANALYTIQUES	
I - ETUDE GRANULOMETRIQUE	53
I - 1. Les faits	53
II - ETUDE MINERALOGIQUE	56
II - 1. Les principaux éléments du squelette	56
II - 1. 1. Les faits	56
II - 1. 2. Discussion	56
II - 2. Les minéraux lourds	59
III - LES ANALYSES CHIMIQUES	61
III - 1. Les éléments majeurs	61

III - 2. Les éléments traces	61
III - 2. 1. Introduction	61
III - 2. 2. Les faits : présentation et discussion	62
a) Les formations limoneuses	62
b) Les niveaux de base des sols	63
III - 2. 3. Conclusion	68
IV - CONCLUSION	68
F) CONCLUSION À L'APPROCHE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE	
	69
I - LES ACQUIS	69
II - LES PROBLEMES POSES	69
TROISIÈME PARTIE : APPROCHE QUANTITATIVE DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES SOLS DE LA RÉGION DE MUR DE BRETAGNE	
	71
INTRODUCTION	
	73
A) LE MÉLANGE DE MATÉRIAUX	
	75
I - UN EXEMPLE CONCRET - LES PROBLEMES POSES	75
I - 1. Introduction	75
I - 2. Etude des variables deux à deux	75
I - 2. 1. Etude d'un mélange	75
I - 2. 2. Etude de plusieurs mélanges ayant un matériel commun	77
I - 3. Etude simultanée de l'ensemble des variables	77
I - 3. 1. Représentation graphique	77
I - 3. 2. Interprétation géométrique du mélange	78
I - 3. 3. Estimation de la composition des pôles du mélange	78
I - 4. Quelques aspects pratiques	79
I - 4. 1. Existence de plusieurs populations	79
I - 4. 2. Estimation de la composition des pôles du mélange	79
II - ETUDE DES VARIABLES DEUX A DEUX	81
II - 1. Généralités	81
II - 1. 1. Relation entre une caractéristique et les proportions du mélange	81
II - 1. 2. Relation entre deux caractéristiques.	81
II - 1. 3. Conclusion	82
II - 2. Quelques remarques	83
II - 2. 1. Signification de la pente	83
II - 2. 2. Signification de l'ordonnée à l'origine	83
II - 2. 3. La droite de régression passe par l'origine	85
a) Généralités	85
b) Application	85
II - 3. Détermination de l'apport	85

II - 3. 1. A partir d'un ensemble de profils sur des roches différentes	85
a) Introduction	85
b) Discussion	86
c) Appendice	86
II - 3. 2. Sur une seule roche	87
a) Valeur de la pente	88
b) Valeur de l'ordonnée à l'origine	88
c) Valeur des caractéristiques	89
d) Conclusion	89
II - 4. Détermination des proportions du mélange	89
III - ETUDE SIMULTANEE DE L'ENSEMBLE DES VARIABLES : LE MODELE DE MELANGE	91
III - 1. Le modèle de mélange	91
III - 1. 1. Notations	91
III - 1. 2. Le modèle de mélange	91
III - 1. 3. Formulation des questions posées en terme de modèle de mélange	93
III - 2. Estimation des paramètres du modèle	93
III - 2. 1. Remarque générale	93
III - 2. 2. Interprétation géométrique	93
III - 3. La méthode proposée	94
III - 3. 1. Détermination de l'axe $\Delta$	95
III - 3. 2. Détermination de $\hat{Z}_J$ et de $\hat{Y}_J$	95
III - 3. 3. Détermination de $\hat{P}_J$	96
III - 4. Discussion sur la méthode	96
III - 4. 1. Les différences de niveau entre les variables	96
III - 4. 2. Les estimations des composants initiaux	98
<b>B) PRÉSENTATION DES SÉQUENCES ET DÉPOUILLEMENT PRÉLIMINAIRE</b>	
	101
I - CONDITIONS PRELIMINAIRES ET CHOIX DES SEQUENCES	101
I - 1. Les formations limoneuses : conditions d'échantillonnage	101
I - 2. Les altérations en place et le mélange de matériaux	102
II - DESCRIPTION DES SEQUENCES ET DEPOUILLEMENT PRELIMINAIRE	103
II - 1. La séquence du Sourn	103
II - 1. 1. Présentation	103
II - 1. 2. Dépouillement préliminaire	103
II - 1. 2. 1. Les données granulométriques	103
a) Un exemple de calcul	104
b) Les données des sols	105
c) Les données des arènes	105
d) Comparaison des diverses données	111
e) Conclusion	111
II - 1. 2. 2. Les données chimiques	111
a) Les sols	111
b) Les arènes	
c) Les limites sols - arènes	113

II - 1. 3. Conclusion	113
II - 2. La séquence de Ste Tréphine	115
II - 2. 1. Présentation	115
II - 2. 2. Dépouillement préliminaire	115
II - 2. 2. 1. La granulométrie	115
a) Vérification de l'existence de corrélations linéaires	115
b) Comparaison des deux carrières	117
c) Comparaison du profil 1 et des autres profils de la carrière principale	121
II - 2. 2. 2. Les données chimiques	121
II - 2. 3. Conclusion	121
II - 3. La séquence de St Elouan	123
II - 3. 1. Les matériaux d'altération des schistes	123
II - 3. 2. Les formations limoneuses	123
II - 3. 2. 1. La granulométrie	123
II - 3. 2. 2. Les analyses chimiques	125
II - 3. 3. Conclusion	125
III - CONCLUSION	
C) ETUDE DÉTAILLÉE DES SÉQUENCES PAR LE MODÈLE DE MÉLANGE (A.C.P.)	128
I - LE SOURN : UNE SEQUENCE SUR GRANITE	129
I - 1. Les résultats des analyses en composantes principales	129
I - 1. 1. La granulométrie	129
I - 1. 1. 1. Le premier axe	129
a) Corrélation des variables à l'axe	129
b) Position des échantillons sur l'axe	131
I - 1. 1. 2. Le second axe	133
a) Corrélation des variables à l'axe	133
b) Position des échantillons sur l'axe	133
I - 1. 1. 3. Conclusion	137
I - 1. 2. Les données chimiques	137
I - 1. 2. 1. Le premier axe	138
I - 1. 2. 1. Le second axe	138
I - 1. 3. Synthèse des données granulométrique et chimiques	138
I - 1. 3. 1. Les corrélations entre les axes issus des analyses granulométriques et chimiques	139
I - 1. 3. 2. L'analyse en composantes principales des données chimiques et granulométriques	139
I - 1. 4. Conclusion	141
I - 2. L'estimation des deux composants du mélange	141
I - 2. 1. Les données des 66 analyses granulométriques	141
I - 2. 2. Les données chimiques	145
I - 2. 2. 1. Les données des analyses chimiques	145
I - 2. 2. 2. Les données chimiques associées aux données granulométriques	145

a) Résultats	145
b) Vérification de la stabilité des estimations granulométriques	146
c) Conclusion	146
I - 3. Relations entre les deux composants du mélange de l'arène	146
I - 3. 1. Comparaison des compositions de M <sub>2</sub> c et de l'arène	147
I - 3. 1. 1. La granulométrie	147
I - 3. 1. 2. La chimie	147
a) Résultat	147
b) Discussion	148
c) Comparaison avec d'autres bilans	148
d) Conclusion	149
I - 3. 2. Comparaison de M <sub>1</sub> b et de l'arène	149
I - 3. 3. Conclusion	150
I - 4. Les différenciations pédogénétiques	150
I - 4. 1. Les données granulométriques	150
I - 4. 1. 1. Introduction	150
I - 4. 1. 2. Principes de calcul	151
I - 4. 1. 3. Les résultats	151
I - 4. 1. 4. Conclusion	153
I - 4. 2. Les données chimiques	153
I - 4. 2. 1. Présentation	153
I - 4. 2. 2. Méthode de calcul et résultats	155
I - 4. 3. Mélange et actions pédogénétiques	156
I - 5. Conclusion	157
II - LES AUTRES SEQUENCES	159
II - 1. La séquence de Ste Tréphine I	159
II - 1. 1. Les résultats des A.C.P.	159
II - 1. 1. 1. Les données granulométriques	159
a) Les faits	159
b) Interprétation des axes 2 et 3	161
c) Conclusion	163
II - 1. 1. 2. Les données chimiques	163
a) Les données chimiques seules	163
b) Comparaison des données chimiques et granulométriques	164
II - 1. 2. Estimation des composants du mélange	165
II - 1. 2. 1. A partir de 30 données granulométriques	165
II - 1. 2. 2. Estimation à partir des données chimiques et granulométriques	167
II - 1. 2. 3. Comparaison des diverses estimations	168
a) Le matériel 1	168
b) Le matériel 2	168
c) Conclusion	169
II - 1. 3. Comparaison des constituants du mélange et des quartzites altérés	169
II - 1. 4. Les variations indépendantes du mélange	169

II - 2. La séquence de Sta Tréphine 2	172
II - 2. 1. Les données des A.C.P.	172
II - 2. 2. Estimation des composants initiaux	173
II - 3. La séquence de St Elouan	175
II - 3. 1. Les principales données des A.C.P.	175
II - 3. 1. 1. Les données granulométriques	175
a) Le premier axe	175
b) Le second axe	176
II - 3. 1. 2. Les données chimiques	177
a) Les données chimiques étudiées seules	177
b) Les données chimiques et granulométriques	177
II - 3. 1. 3. Conclusion	177
II - 3. 2. Estimation des deux composants du mélange	178
II - 3. 2. 1. Les résultats	178
II - 3. 2. 2. Comparaison des diverses estimations	179
II - 3. 3. Comparaison des constituants du mélange et des schistes altérés. Commentaire sur les proportions relatives M1 - M2	181
II - 3. 3. 1. Comparaison M2 - Schistes altérés	181
II - 3. 3. 2. Comparaison M1 - Schistes altérés	181
II - 3. 3. 3. Les proportions relatives M1 - M2	181
II - 4. Conclusion	182
D) ORIGINE ET MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX	
I - COMPARAISON DES DIVERSES ESTIMATIONS DE LA COMPOSITION DE L'APPORT	183
I - 1. Introduction	183
I - 2. Les compositions chimiques	185
I - 3. Les compositions granulométriques	185
I - 4. Conclusion	187
II - LA MISE EN PLACE DES MATÉRIAUX	193
III - ORIGINE DE L'APPORT	195
E) CONCLUSION À L'ESSAI DE MODÉLISATION	
QUATRIÈME PARTIE : CONCLUSION	191
BIBLIOGRAPHIE	197
ANNEXES	201