

rencontrons dans les horizons B. Ceci s'explique par l'épuisement quasi-complet des sources de fer issues des matériaux primaires, qui se manifestait dès les stades 3 les plus évolués.

Le fait que les rapports $\frac{\text{Fer libre}}{\text{Argile}}$ et $\frac{\text{Fer Fac.Extr.}}{\text{Argile}}$ restent du même ordre que ceux calculés dans ces stades 3 montrent bien que les quantités de fer fixées ou adsorbées sur les argiles n'évoluent pas ou très peu, donc que dans ce stade 4, il y a maintien des liaisons fer-argile existantes.

Tabl. 6 - 6

**ÉVOLUTION DES FORMES DU FER DANS LES SOLS
DES TRES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES ET DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS
(exprimé en Fe₂O₃ pour cent de terre fine)**

Profils	Horizons		Teneur en argile %	A D E			D/A x 100 Taux libér. du fer	E/A x 100 Taux fer fac. ext.	Teneur en fer par rapport à l'argile			A-D A x 100 Fer des rd- néraux pr. %	D-E A x 100 Fer cristallisé %	E A x 100 Fer fac. extract. %	
	Couleur	Type		Fer total fusion %	Fer libre Endredy %	Fer fac. ext. Ségalen %			Fe total A x 100 Arg.	Fe libre D x 100 Arg.	Fe fac. ext. E x 100 Arg.				
STADE n° 4 : Louze (Blèvre-Valloire) : VI 4															
Brun gris	10 YR 3/2	AoA1	8,0	1,87	0,98	0,4	58,7	23,9	20,9	12,2	6	41,3	34,7	23,9	
Brun	7,5 YR 7/6	A2	10,3	1,72	0,98	0,5	57,0	29,1	17,2	12,2	4,85	43,0	27,9	29,1	
Brun jaune	7,5 YR 5/8	AB	12,5	2,32	1,50	0,8	64,6	34,5	19,3	12,5	6,4	35,3	30,2	34,5	
Brun jaune	5 YR 5/8	B1	8,7	2,61	1,58	1,25	60,5	47,9	29,0	17,5	14,4	39,5	12,6	47,9	
Rouge	2,5 YR 4/8	B21t	25,5	6,90	4,59	4,10	86,5	59,5	27,6	18,4	16,1	33,5	7,1	59,5	
Rouge	2,5 YR 4/8	B22t	27,8	5,13	3,65	2,25	71,2	43,9	18,3	13,0	8,1	28,8	27,3	43,9	
Brun pâle	10 YR 7/4	C	0,9	1,90	0,77	0,60	40,5	31,6	211	85	66,6	59,5	8,9	31,6	
STADE n° 5 : Sol en cours de dérubiéfaction : VI 8 (Bonnevaux)															
Brun foncé	10 YR 4/3	A1A2	7,5	2,73	2,5	1,9	91,6	69,6	36,4	33,3	25,3	4,8	21,9	69,6	
Brun jaune	10 YR 5/8	AB	42,9	6,19	4,5	1,9	72,4	30,7	14,4	10,4	4,4	27,6	42	30,7	
Brun jaune + orangé	Id. + 5YR5/6	B21t	50,8	6,12	4,26	3,6	69,6	58,8	12,0	8,3	7,1	30,4	10,8	58,8	
Rg. + jaune	10R 4/6 + 10 YR 7/8	B22gt	59,4	6,52	4,59	3,6	70,4	53,7	11,0	7,8	5,9	29,6	16,7	53,7	
Rg. + brun clair	+ 10 YR 6/2	B23gt	51,0	7,87	6,05	3,7	76,9	47,0	17,4	11,9	7,25	23,1	26,9	47,0	
Jaune à brun clair	10 YR 7/8 - 7/2	B23Gt	44,3	2,12	0,75	0,6	35,4	28,3	4,8	1,7	1,36	64,6	11,8	28,3	
STADE n° 5 : Sol jaune : VI 10															
Brun jaune	10 YR 5/4	A11	16,9	2,95	2,49	2,0	84,5	67,8	17,3	14,6	11,8	15,6	16,6	67,8	
Brun jaune	10 YR 5/8	A12	16,0	3,04	2,87	2,15	94,4	70,8	19,0	17,9	13,4	5,6	23,7	70,8	
Jaune	10 YR 7/6 - 7/8	AB Fe	24,5	5,17	3,37	2,40	65,2	46,4	21,5	14,0	9,8	34,8	18,8	46,4	
Idem + orangé	5 YR 4/6	B21E	40,7	5,80	4,47	3,90	77,1	67,2	14,1	10,9	9,6	22,9	9,8	67,2	
Or. + Bl.	5 YR 7/3 + 10 YR 8/1	B22G	45,5	5,66	4,49	3,20	79,3	56,5	12,4	9,9	7,0	20,7	22,8	56,5	
Orangé	10 YR 7/3	B23G	45,4	5,36	3,99	2,35	74,4	43,8	11,8	8,8	5,2	25,6	30,6	43,8	
Blanc	10 YR 8/1	B23G	37,0	2,95	1,38	0,65	45,8	22,0	6,5	3,1	1,75	53,2	24,8	22,0	
Blanc (I+Or+Bl)		B24G	30,9	3,86	2,94	1,70	76,2	44,1	12,4	9,5	5,5	23,8	32,1	44,1	
Brun pâle	10 YR 7/4	C	1,2	1,72	0,80	0,40	46,5	23,3	143	86	33,3	53,5	23,2	23,3	

Au stade n° 5, l'opposition entre horizon de surface et horizon B est beaucoup moins nette. En ce qui concerne le fer, nous retrouvons donc sur le plan chimique la notion d'homogénéisation des profils à laquelle nous avons fait état plus haut. Mais ces stades évolutifs révèlent surtout une dynamique du fer complètement différente de celle qui s'est exprimée tout au long des stades précédents. Les taux de libération du fer (sols en voie de dérubiéfaction et sols jaunes) et même les taux de fer facilement extractible rapportés au fer total (sols jaunes) sont plus élevés dans les horizons de surface qu'au sein des horizons B. Or, ce fer ne peut provenir des minéraux primaires ferro-magnésiens, étant donné que la disparition de ces matériaux était déjà pratiquement totale dès les stades 3. Ce fer ne peut avoir que deux sources possibles : fer fixe sur les argiles et fer emprisonné à l'intérieur des éléments grossiers résiduels ou structures-pièges du type grès,

silex, silexites. Mais, nous avons vu à l'aide de la micromorphologie que les éléments du premier type avaient peu tendance à se vider de leur fer et même qu'une tendance inverse se manifestait puisque nous assistons au grossissement et à l'individualisation de concrétions autour de ces éléments piéges.

Dans le même temps et pour les mêmes horizons, existe une certaine augmentation des rapports Fer libre et Fe.Fac.Extr. Ceci tend à

Argile Argile

montrer qu'une partie du fer qui était jusqu'alors fixé et intégré aux argiles et qui se trouvait donc sous une forme peu accessible est libérée. Nous mettons ainsi en évidence, de manière indirecte, la dissociation des liaisons fer-argile qui avaient jusqu'alors présidé à l'ensemble des processus d'évolution rubéfiante. Cette nouvelle dynamique est encore active au sein des horizons de surface; et un des termes d'évolution ultime est représenté par les zones complètement dérubiées existant au sein des horizons B (BG), et pour lesquels tous les rapports que nous venons de citer sont beaucoup plus bas que ceux enregistrés dans les autres portions du profil.

242. Evolution de l'aluminium.

Les résultats des différents types d'extraction effectuée pour l'aluminium sont rassemblés dans le tableau 6.7 et les figures 6.2 à 6.4.

Tabl. 6 - 7

ÉVOLUTION DE L'ALUMINIUM DANS LES SOLS DES TRES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES ET DES NIVEAUX VILLAFRANCHIENS
(exprimé en Al₂ O₃ pour cent de terre fine)

Profils	Types d'horizons	Teneur en argile %	A			D/A x 100 Taux libér. d'Al	E/A x 100 Taux d'Al fac. ext. Ségalen	Teneur en Al par rapport à l'argile		
			Al total FH + ClO ₄ H	Al libre Tamm + Deb	Al, fac. ext. Ségalen			Al total $\frac{A}{Arg.} \times 100$	Al libre $\frac{D}{Arg.} \times 100$	Al fac. extract. $\frac{E}{Arg.} \times 100$
STADE n° 4 : Louze (Blèvre-Valloire) : VI 4										
	Ao A1	8,0	4,29	0,30	0,3	7,0	7,0	53,6	3,75	3,75
	A2	10,3	4,62	0,36	0,8	7,8	17,3	44,8	3,5	7,8
	AB	12,5	6,92	0,50	1,0	7,2	14,5	53,4	4,0	8,0
	B1	8,7	7,44	0,42	0,85	5,6	11,4	85,5	4,8	9,8
	B21t	25,5	21,93	0,68	0	3,1	0	86	2,6	0
	B22t	27,8	18,60	1,0	0	5,3	0	66,9	3,59	0
	C	0,9	4,55	-	0,2	-	4,4	505	-	22
STADE n° 5 : Sol en cours de dérubiéfaction (Bonnevaux) : VI 8										
	A1 A2	7,5	4,88	0,64	1,4	13,1	28,6	65,0	8,5	18,7
	AB	42,9	13,54	1,0	0,5	7,4	3,7	31,6	2,3	1,2
	B21t	50,8	15,95	1,23	0,5	7,7	3,1	31,4	2,4	0,98
	B22gt	59,4	18,67	1,02	0,5	5,5	2,7	31,4	1,7	0,84
	B23gt	51,0	18,89	0,64	0	3,4	0	37,0	1,25	0
	B23gt	44,3	18,3	0,54	0,5	2,9	2,7	41,3	1,2	1,1
	C	1,0	5,8	0,12	0,3	2,1	5,2	58	1,2	30
STADE n° 5 : Sol jaune : VI 10										
	A11	16,9	6,58	0,70	0,75	10,6	11,4	38,9	4,1	4,4
	A12	16,0	5,27	0,70	0,80	11,2	12,7	39,2	4,4	5
	AB Fe	24,5	10,69	0,84	0,55	7,8	5,1	43,6	3,4	2,2
	B21E	40,7	12,08	1,54	0,80	11,9	6,2	31,9	3,8	2,0
	B22E	45,5	15,65	1,0	0	6,4	0	34,4	2,2	0
	B23E	45,4	15,03	1,24	0	8,25	0	33,1	2,7	0
	B23G	37,0	20,84	0,72	0	3,45	0	56,3	1,9	0
	B24E	30,9	12,48	0,72	0	5,76	0	40,4	2,3	0
	C	1,2	6,15	0,10	-	16,2	-	512	83	-

Fig. 6 - 2

**Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALEN)
DES SOLS DES TRÈS HAUTS NIVEAUX DE TERRASSES
(STADE D'ÉVOLUTION N° 4)**

Profil Vi.4 - Plateau de Louze (Bièvre - Valloire)

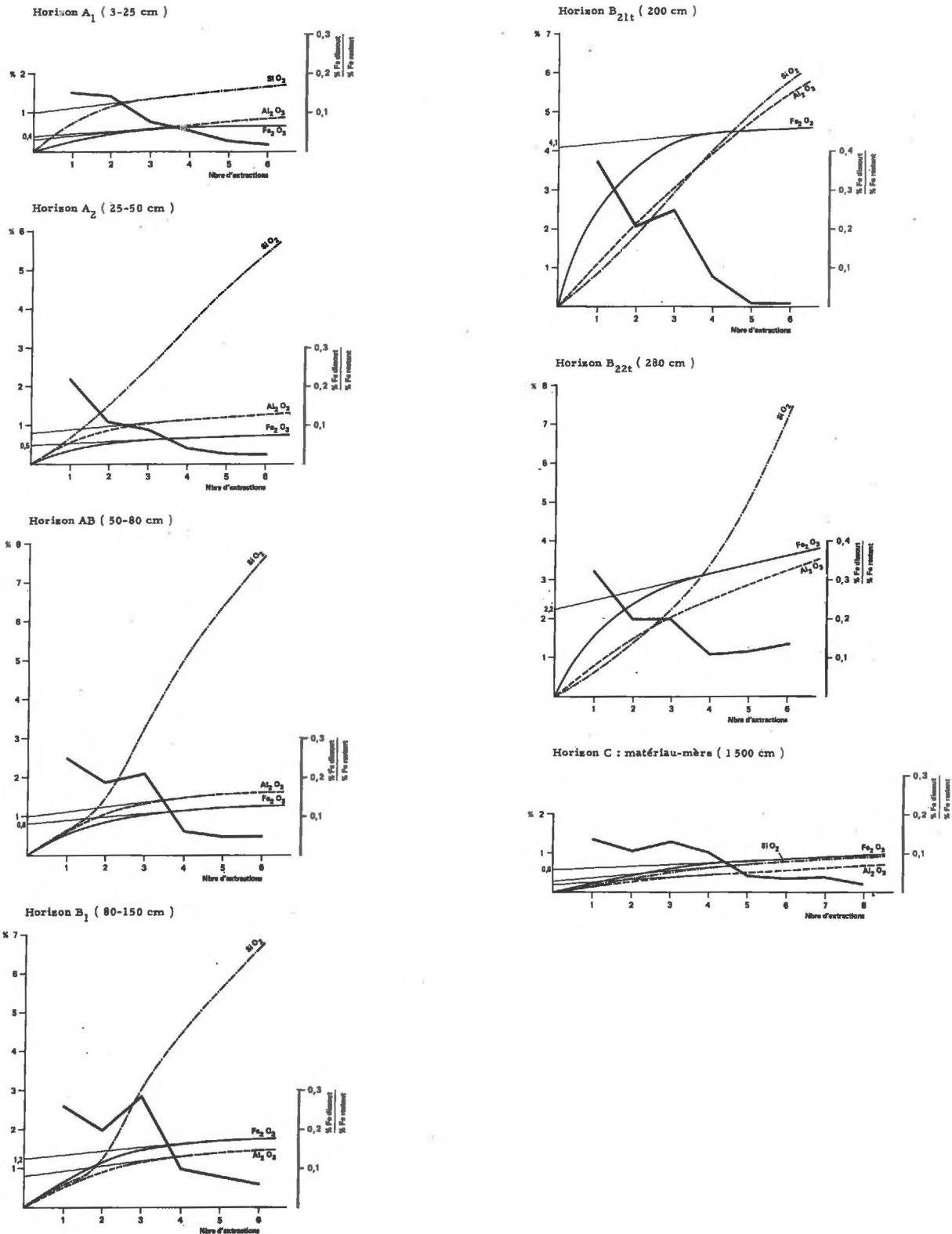


Fig. 6 - 3

**Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALEN)
DES SOLS DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS**

**a - Exemple de sols en cours de dérubiéfaction :
profil Vi 8**

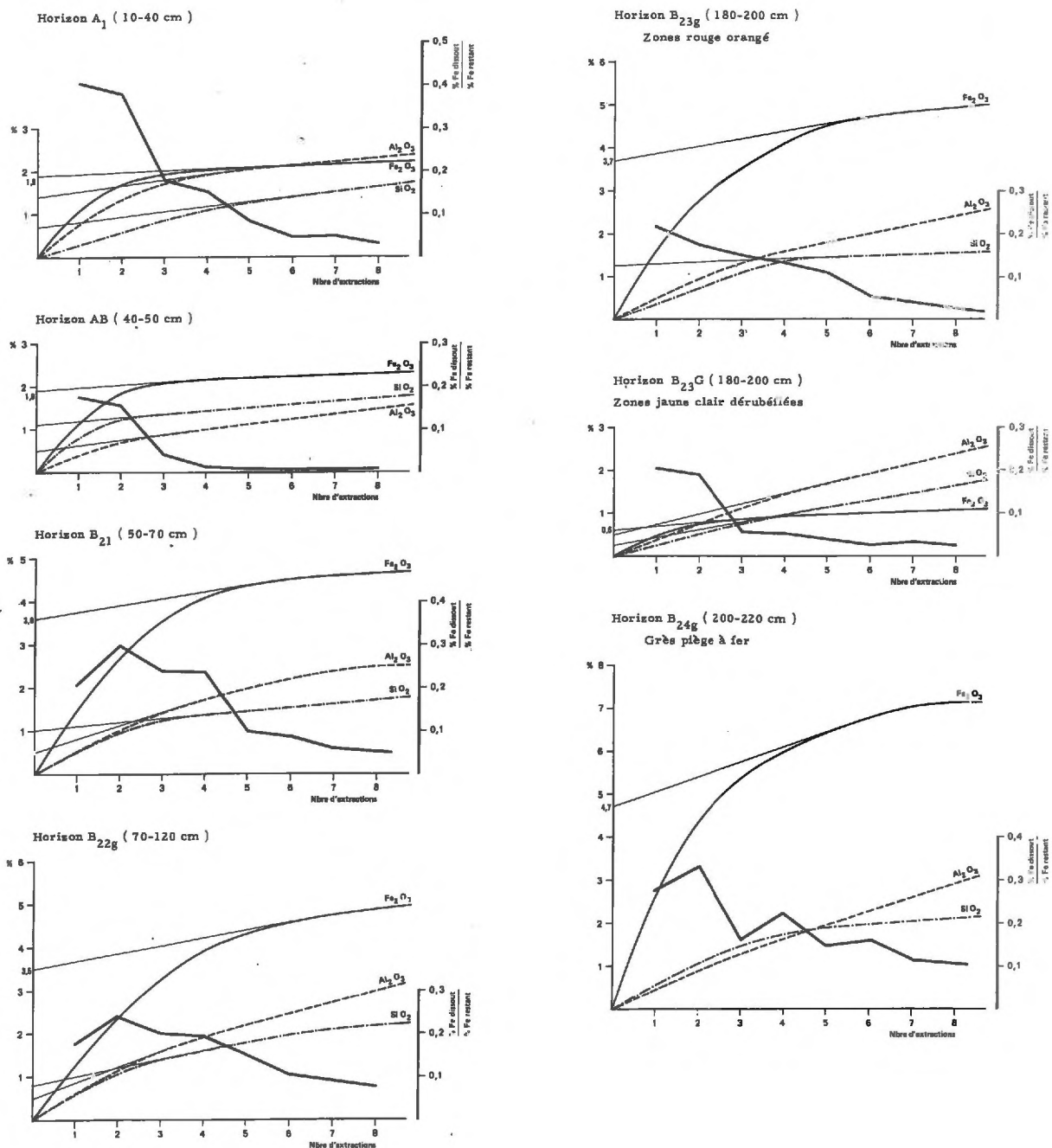
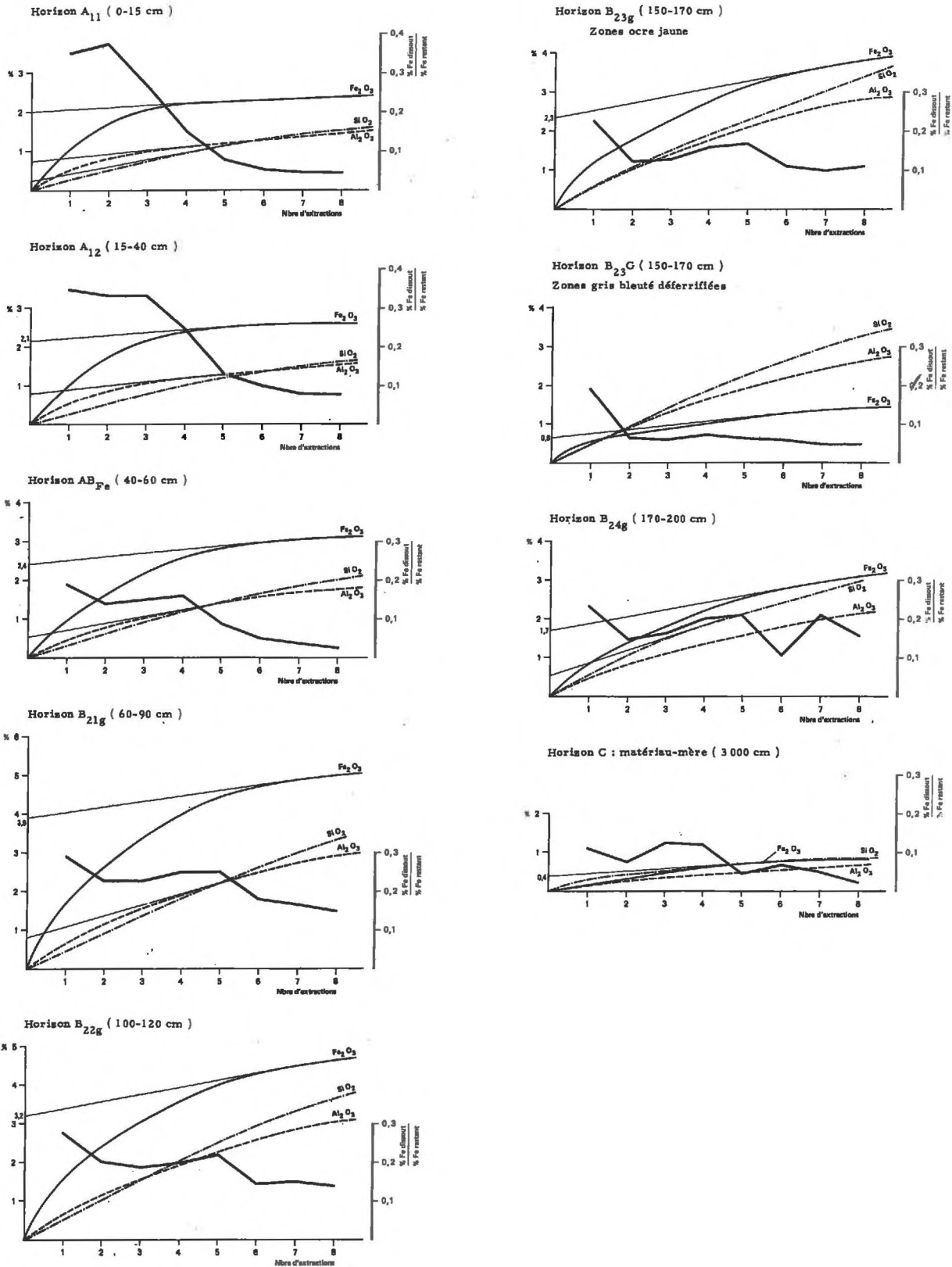


Fig. 6 - 4

**Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALÉN)
DES SOLS DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS**

**b - Exemple de sol jaune :
profil Bonnevaux Vi 10**



En ce qui concerne les teneurs en aluminium total, il y a opposition assez nette entre les 2 derniers stades évolutifs.

- Pour le stade 4, nous observons un maintien de la tendance qui s'était dégagée au stade 3 précédent, c'est à dire que les teneurs en Al total des horizons de surface restent voisines de celles existant dans la fraction fine du matériau-mère, alors que ces teneurs augmentent fortement dans les horizons B. De même, les rapports $\frac{\text{Al total}}{\text{Argile}}$ varient de façon comparable.

- Pour le stade 5, la tendance à l'homogénéisation de ces rapports devient de plus en plus nette lorsqu'on passe du sol en cours de dérubi-fac-tion au sol jaune. Ces rapports tendent à se stabiliser autour de valeurs plus basses que celles observées dans les stades précédents. Ceci montre que des pertes importantes en aluminium sont possibles au cours des phénomènes d'argilisation; elles se produisent entre le stade 4 et le stade 5 et même essentiellement au cours du stade 5 lui-même.

Pour ce qui est des extractions d'Al libre (Tamm + Deb) ou d'Al facilement extractible (cf. fig. 6.2 à 6.4), les résultats obtenus reflètent une certaine disparité voire quelques aspects contradictoires dans leur relation avec le développement des profils, quand nous raisonnons à partir des valeurs absolues des extractions effectuées. Au contraire, les résultats paraissent cohérents si nous raisonnons à partir de ces valeurs rapportées aux teneurs en aluminium total et à l'argile.

Ainsi les rapports $\frac{\text{Aluminium libre}}{\text{Al total}}$ et $\frac{\text{Aluminium fac. extract.}}{\text{Al total}}$ sont nettement plus élevés dans les horizons de surface ou dans le sommet des horizons B qu'au sein des horizons B en voie d'altération. Cette tendance peu nette dans le stade 4 s'affirme dans le stade 5. Or, il n'existe pratiquement plus de minéraux primaires altérables au sein des horizons de surface, cette libération d'aluminium ne peut donc provenir que de la dégradation des minéraux secondaires phylliteux.

C'est ce que viennent confirmer les valeurs des rapports $\frac{\text{Al libre}}{\text{Argile}}$ ou $\frac{\text{Al fac. extract.}}{\text{Argile}}$ où l'opposition entre stade 4 et stade 5 est encore plus nette. Les fortes valeurs de ces rapports qui coïncident toujours avec les horizons de surface et le sommet des horizons B sont un indice supplémentaire de la dégradation possible des réseaux argileux au sein de ces derniers stades évolutifs.

243. Evolution de la silice.

Le tableau 6.8 donne les résultats des principales extractions effectuées pour les différents sols étudiés. Comme pour les stades précédents, notons toujours un enrichissement très net en silice totale par rapport à la fraction fine du matériau-mère.

Mais si, pour le stade 4, l'enrichissement en silice totale reste toujours du même ordre de grandeur ($\text{Si O}_2 \times 2$ par rapport au matériau mère) que celui observé dans les stades précédents, dans les stades N° 5, cet enrichissement est beaucoup moins marqué. Il se produirait donc des pertes relatives en silice entre les 2 stades 4 et 5.

Ces pertes semblent se manifester à l'heure actuelle essentiellement à partir des horizons de surface ou du sommet des horizons B, seules portions d'horizons des sols villafranchiens où existent des valeurs appréciables de silice facilement extractible. (cf. fig. 6.2 , 6.3 , 6.4) D'après l'évolution des formes de ces courbes, nous pensons que ces pertes débutent au stade 4 ; elles se poursuivent de manière active au stade 5 pendant la période de dérubiéfaction et de dégradation; enfin elles se stabilisent dans les sols jaunes, puisque dans ces termes nous n'observons pratiquement plus de silice extractible ni dans les horizons de surface ni au sein des horizons B.

Tabl. 6 - 8

**ÉVOLUTION DE LA SILICE DANS LES SOLS
DES TRES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES
ET DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS
(exprimés en Si O₂ pour cent de terre fine)**

PROFILS	Types d'Horizons	Teneur en argile %	SiO ₂ total %	SiO ₂ non quartz %	SiO ₂ fac. ext. Ség. %
<u>STADE n° 4 : Louze (Bièvre-Valloire) : Vi 4</u>					
	Ao A1	8,0	90,2	19,3	1
	A ₂	10,3	89,2	20,3	0
	AB	12,5	88,4	19,5	0
	B ₁	8,7	82,2	18,7	0
	B _{21t}	25,5	65,4	5,2	0
	B _{22t}	27,8	71,7	44,0	0
	C	0,9	42,8	13,8	0,3
<u>STADE n° 5 : Sol en cours de dérubiéfaction (Bonnevaux) : Vi 8</u>					
	A ₁ A ₂	7,5	79,8	17,1	0,7
	AB	42,9	89,2	9,2	1,1
	B _{21t}	50,8	67	20,4	1
	B _{22g^t}	59,4	61	11,5	0,8
	B _{23g^t}	51,0	62,3	46,7	1,25
	B _{23G^t}	44,3	66,7	31,7	0,25
	C	1,0	65	50	0,25
<u>STADE n° 5 : Sol jaune Vi 10</u>					
	A ₁₁	16,9	82,2	-	0,25
	A ₁₂	16,0	83,7	-	0
	AB Fe	24,5	81,1	-	0
	B _{21g}	40,7	70,9	-	0
	B _{22g}	45,5	67,7	-	0
	B _{23g}	45,4	67,7	-	0
	B _{23G}	37,0	55,9	-	0
	B _{24g}	30,9	74,98	-	0,5
	C	1,2	66,1	51	0,25

Ainsi, ces derniers termes évolutifs qui voient s'amorcer et se développer les phases de dégradation et de dérubiéfaction paraissent bien correspondre à des phases actives en ce qui concerne les pertes en silice au sein de la fraction terre fine. Ces pertes semblent être de 2 types :

- au sein des horizons de surface, elles se produisent plutôt aux dépens des fractions quartzieuses; nous retrouvons ici au plan analytique les observations faites en micromorphologie (descente importante des fractions limons quartzieux depuis les horizons de surface jusqu'aux horizons B);
- au sein des horizons B, elles se produiraient peut être davantage aux dépens des fractions "argile" elles-mêmes (mais cela est peu net au vu des résultats présentés ici).

3 - CONCLUSIONS CONCERNANT CETTE PHASE ULTIME D'EVOLUTION.

Les sols des niveaux villafranchiens représentent les stades ultimes d'évolution des matériaux fluvio-glaciaires rhodaniens. Sur le plan pédogénétique, ils marquent une orientation évolutive assez nettement différente de celle observée dans les stades précédents : c'est la phase de dérubiéfaction et de dégradation des sols rouges conduisant finalement aux sols jaunes.

- Sur le plan du développement général des profils, ces stades d'évolution sont avant tout caractérisés :

- . par une individualisation beaucoup moins marquée des horizons de surface par rapport aux 4 stades précédents;
 - . par un approfondissement considérable des horizons B qui atteignent, voire dépassent 20 mètres d'épaisseur, et qui prennent une allure bariolée typique.
- C'est au plan physico-chimique que se manifestent les traits les plus spécifiques de cette phase d'évolution avec intervention de processus de dégradation hydromorphe et de dégradation acide qui affectent essentiellement les horizons de surface et la partie sommitale des horizons B.

Les processus d'hydromorphie interviennent dans la phase dérubiéfiante à la suite de la fermeture complète de la porosité consécutive au développement des phénomènes d'argilisation dans ces portions d'horizons. Les processus d'acidification et de désaturation progressent nettement dès que nous passons des sols en cours de dérubiéfaction aux sols entièrement jaunes.

L'ensemble de ces processus a pour conséquence :

- a) - Une destruction progressivement croissante des horizons de surface. L'affinement et la transformation en limons des fractions "graviers et sables" quartzieux sont de plus en plus nets, et s'accompagnent de la migration et de la pénétration de ces fractions au sein des horizons B eux-mêmes.

b) - Des phénomènes de déferrification des argiles et d'individualisation du fer qui traduisent la dissociation croissante des liaisons fer-argile. Il y a diminution corrélative des teneurs en fer au sein de la fraction terre fine et concentration du fer libéré sous formes d'amas et de concrétions ferrugineux localisés autour des graviers siliceux.

c) - Enfin, des phénomènes de dispersion et de migration des argiles ainsi déferrifiées qui deviennent de plus en plus spectaculaires.

Au niveau minéralogique, le fait le plus important de ces stades ultimes d'évolution réside dans le développement des argiles kaoliniques à partir des minéraux primaires feldspathiques au sein de la masse des horizons B. Mais, les processus de transformation aux dépens des minéraux argileux de type 2/1 subsistent dans les parties supérieures des profils; leur intensité est d'ailleurs croissante lorsqu'on passe des sols en cours de dérubiéfaction aux sols jaunes et en même temps lorsqu'on remonte de la base au sommet des profils.

Chapitre 7

SYNTHESE DES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES ET ENCHAINEMENT DES PHENOMENES AU COURS DU TEMPS

Grâce à l'analyse détaillée des principaux stades évolutifs de la séquence sur cailloutis fluvio-glaciaires rhodaniens, nous disposons maintenant d'un ensemble de données qui permettent de jalonner la progression des phénomènes d'évolution pédologique. Ainsi, a pu être établie l'existence de relations et de filiations entre les principaux constituants des sols qui traduisent des organisations caractéristiques propres à chacun de ces stades évolutifs.

Pour parvenir à une bonne compréhension de l'histoire des sols et afin d'arriver à un niveau d'explication cohérent de leur mode de formation, nous nous proposons de mettre en évidence l'enchaînement des phénomènes d'évolution les plus importants. Pour ce faire, nous essayerons tout d'abord de dresser une sorte de bilan général des diverses transformations observées à partir des données fournies par les analyses morphologiques et micromorphologiques.

Nous envisagerons successivement l'évolution du squelette, puis celle de la matrice.

1 - EVOLUTION DU SQUELETTE : Place des phénomènes de dissolution, d'altération et de fragmentation.

Compte-tenu de la place qu'occupe initialement le squelette (squelette grossier caillouteux et minéraux primaires constitutifs) dans les sols des terrasses rhodaniennes, il est clair que l'évolution de ces éléments est spécialement importante et qu'elle commande de manière fondamentale les transformations qui peuvent s'y produire.

11. EVOLUTION DES ELEMENTS GROSSIERS CAILLOUTEUX.

Grâce à la présence simultanée au sein des matériaux alluviaux rhodaniens de galets calcaires, cristallins et siliceux présentant de très grandes différences de susceptibilité à l'altération, nous pouvons utiliser ces éléments comme "traceurs" pour suivre la progression des phénomènes d'altération proprement dite et pour étudier leurs variations d'intensité et même de nature.

Une représentation schématique de l'évolution des galets calcaires et des galets cristallins est proposée dans la figure 7.1 qui regroupe en fait 2 types d'informations différentes :

- d'une part des observations simples concernant chaque stade évolutif pris isolément,
- d'autre part une synthèse tirée des données précédentes et reportée dans un diagramme complémentaire ayant valeur interprétative et s'efforçant de relier les stades les uns aux autres.

La comparaison des données concernant chaque stade apporte ainsi un certain nombre d'éléments intéressants, non seulement pour les processus d'altération en général, mais encore pour le développement des profils et la dynamique de formation des sols.

Phénomènes de dissolution des galets calcaires et des fractions carbonatées.

La dissolution des éléments carbonatés apparaît comme un phénomène assez brutal, cantonné dans les parties basales des sols, qui coïncide presque toujours avec la profondeur maximale de développement des profils (à l'exception des phases de démarrage du processus).

Pourtant, dans les stades de déclenchement des processus d'évolution existe une différence nette et bien perceptible entre la dissolution des carbonates présents dans la fraction terre fine et la dissolution des éléments calcaires plus grossiers (galets de type blocs ou cailloux). Cette différence de comportement des deux composantes calcaires diminue au fur et à mesure que les sols se développent et que leur épaisseur augmente.

Phénomènes d'arénisation des galets cristallins.

D'un autre côté, il existe toujours un décalage très net entre la profondeur de dissolution des galets calcaires et la profondeur d'arénisation des galets cristallins au sein d'un même stade évolutif : déjà bien perceptible au cours de la phase de déclenchement de l'évolution, les différences dans les vitesses de progression des 2 processus s'accroissent encore dans les stades ultérieurs.

L'altération des galets cristallins correspond à un phénomène lent et ménagé, comprenant plusieurs degrés d'intensité : schématiquement, nous avons ainsi pu différencier une zone à galets cristallins intacts,

une zone à galets préfragilisés ou en voie de désagrégation, une zone à galets complètement désagrégés. Comme nous pouvons le voir sur la figure 7.1, ces distinctions présentent une répartition spatiale qui n'est pas le fait du hasard mais qui est ordonnée, à la fois verticalement (différence d'intensité de la base au sommet des profils pour un même stade évolutif) et latéralement (variations d'intensité observées lorsqu'on passe d'un stade donné à un autre stade plus évolué).

Phénomènes de fragmentation des galets siliceux.

La figure 7.1 fait également apparaître un autre type de phénomène bien localisé dans les parties supérieures des profils de sols, qui ne se manifeste qu'au delà d'un certain seuil de "vieillesse" (stade d'évolution n° 3). La composante du squelette présente alors un caractère siliceux largement dominant. Nous pouvons donc penser que, pour ces éléments, aux processus d'altération proprement dite se substituent des phénomènes à caractère beaucoup plus mécanique de fragmentation dont la dynamique de progression répond à des critères qui dépendent peu de la durée d'évolution.

12. PLACE DE L'EVOLUTION DES GALETS DANS LA DYNAMIQUE DE FORMATION DES SOLS.

L'évolution des galets, telle qu'elle vient d'être schématisée est naturellement en liaison avec la dynamique de formation des sols des terrasses, puisqu'elle la commande plus ou moins directement. En effet, cette double zonation des phénomènes de dissolution et d'arénisation, à la fois verticale et latérale, est en fait l'expression au sein des différents profils d'un processus d'évolution présentant des durées d'application plus ou moins grandes en liaison avec des climats qui ont eux-mêmes pu varier. De sorte que, à partir des résultats précédents et en interprétant cette répartition caractéristique, il devient possible, dans une certaine mesure, de retrouver la succession et le déroulement logique de quelques-unes des phases principales de la formation des sols; en particulier, le rôle qu'ont été amenés à jouer les divers types d'éléments grossiers caillouteux peut être précisé.

Rôle des calcaires et des granites.

Dans une première phase, nous assistons à une solubilisation des carbonates qui débute par la dissolution des sables calcaires présents dans la fraction terre fine, se poursuit par la décalcarisation des galets de grès calcaires et se termine par la dissolution complète des calcaires purs. Cette phase se traduit par la création d'un double système de porosité : porosité intra-cailloutis apparaissant au sein des grès sans variation de volume du matériau originel et aboutissant à la création d'une structure-relai qui sert par la suite de structure-piège à différents produits résiduels, mais surtout porosité inter-cailloutis avec création d'une structure de vides qui se substitue aux calcaires dissouts. Ce type de porosité s'entretient de façon continue par auto-progression à la base des profils; son importance est fondamentale sur le plan dynamique, puisque cette porosité secondaire est la cause directe des phénomènes de soutirage, contribuant à l'approfondissement progressif des sols des terrasses rhodaniennes.

La deuxième phase, à caractère plus agressif correspond à la désagrégation des galets granitiques déjà préfragilisés au sein du matériau-mère. C'est une phase transitoire qui prépare une troisième phase dont elle est d'ailleurs plus ou moins corrélative, au cours de laquelle se produit une première argilification, à partir des minéraux les plus facilement altérables (feldspaths calco-sodiques et biotites) issus de cette première désagrégation.

Ces 3 premières phases existent déjà dans le stade d'évolution n° 1, mais s'expriment pleinement au stade 2 où leur intensité progresse d'ailleurs verticalement de bas en haut du profil. Mais, on les retrouve également dans chacun des stades évolutifs ultérieurs; et elles sont alors concentrées dans la partie médiane des profils avec quelques nuances d'expression, compte-tenu des quantités d'argiles présentes provenant des niveaux supérieurs. Ces argiles peuvent elles-mêmes jouer un rôle non négligeable dans la fragilisation mécanique des éléments cristallins par pénétration et par remplissage dans les fissures, ce qui favorise ensuite les phénomènes d'éclatement à la suite des possibilités de gonflement et retrait.

Faisant suite à des périodes de préparation à l'altération proprement dite, l'altération des galets granitiques s'achève par une 4ème phase qui correspond à la destruction totale des structures primaires par éclatement, désagrégation complète et intégration de la masse des galets au sein du fond matriciel. C'est la phase d'argilisation maximum avec production massive d'oxyde de fer et d'argile à partir de l'ensemble des minéraux feldspathiques et micacés constitutifs. Elle commence au stade 2 et s'exprime pleinement au cours du stade 3; on ne la retrouve ensuite dans les stades ultérieurs que dans la partie médiane ou inférieure des horizons B.

Rôle des éléments grossiers siliceux.

Parallèlement à cette production d'argile à partir des galets calcaires et cristallins, les éléments siliceux subissent eux-mêmes un certain nombre de transformations plus ou moins importantes. On assiste d'abord à un remplissage progressif de la porosité secondaire des grès par des argiles ferriques et du fer (stade 2 et stade 3), puis à des phénomènes de vidanges différentielles de ces galets qui débutent par l'expulsion de l'argile emprisonnée au sein des horizons de surface (stade 4, puis stade 5) et qui se poursuivent par la sortie du fer.

Ces éléments siliceux sont, par ailleurs, l'objet dans ces mêmes horizons de surface, de phénomènes de fragmentation mécanique par éclatement à la suite des alternances de gel et de dégel.

Mais, le rôle le plus important joué par l'ensemble de ces éléments siliceux est tout à fait passif. Ces éléments forment, en effet, pour la masse du matériau en voie d'altération, une trame ou armature lui assurant et lui maintenant un certain volume et une certaine rigidité : ils constituent en grand une véritable structure d'accueil ou structure-piège pour les produits argileux issus des transformations décrites précédemment à partir des calcaires et des granites.

13. CONSEQUENCES ET CONCLUSIONS.

L'ensemble des observations que nous venons de résumer montre bien l'importance de l'évolution des éléments grossiers caillouteux et en particulier de leur altération qui commande, en grande partie, les transformations et la dynamique globale des sols rhodaniens. Nous avons pu mettre en évidence la capacité de certains de ces éléments (calcaires, granites) à fournir des argiles ou des produits ferrugineux (notion de matériau donneur - pl.X et XI), alors que d'autres sont capables d'accumuler et de mettre en réserves ces mêmes produits (notion de structures-relais granites, grès, calcaires, et de structures-pièges silex et autres éléments siliceux - pl.XII).

La notion globale de stade d'évolution qui s'applique à un type de matériau recouvre, en réalité, une entité "complexe" pouvant comprendre plusieurs états d'altération qui se superposent dans les profils de sols à des niveaux différents (séquence verticale d'altération). Ainsi, le passage d'un stade d'évolution à un autre (séquence latérale ou séquence d'évolution en fonction de la durée) ne se fait pas toujours de manière simple, et il est possible de retrouver à l'intérieur de stades successifs des phases d'altération identiques ou au moins comparables.

Quoiqu'il en soit, nous pouvons envisager l'existence d'une véritable continuité dans la poursuite de ces phénomènes. C'est d'ailleurs ce que nous avons essayé de schématiser dans le croquis interprétatif qui compose la figure 7.1 où est représentée la progression en fonction du temps des 3 phénomènes qui semblent jouer des rôles essentiels dans l'évolution des sols des terrasses rhodaniennes :

- front de dissolution complète des calcaires;
- front de désagrégation complète des cristallins,
- front de fragmentation des éléments siliceux (quartzite, quartz, silex).

L'allure même des courbes représentatives amène à penser que ces 3 phénomènes obéissent à des lois quelques peu différentes au cours de l'évolution des sols. C'est ainsi que les phénomènes de dissolution dont les vitesses de propagation subissent d'importantes variations, semblent davantage soumis aux possibilités de fluctuations climatiques (variations de pente des courbes), alors que l'arénisation paraît un phénomène beaucoup plus continu (droite) en relation directe avec la durée d'évolution; enfin, les phénomènes de fragmentation (droite parallèle à la surface) semblent relativement indépendants du facteur temps et davantage en liaison avec les variations microclimatiques subies par le milieu (zone gelée, alternance de gel et de dégel).

2 - EVOLUTION DE LA MATRICE: Les diverses facettes de l'organisation plasmique.

Au travers de l'évolution des éléments grossiers, nous avons pu expliciter les grandes lignes de progression des phénomènes d'altération et de fragmentation. Or, ces phénomènes d'altération, qui sont directement responsables de la genèse du plasma et de son importance rela-

tive par rapport au squelette, commandent eux-mêmes l'organisation plasmique, en liaison avec les processus d'illuviation (mouvements verticaux) et avec les processus de réorganisation (mouvements internes de pression et de gonflement).

Par suite, en suivant le développement et les transformations de l'organisation plasmique considérée non seulement en elle-même mais aussi dans ses rapports avec le squelette, nous pouvons nous faire une idée de l'importance relative de ces divers types de phénomènes : illuviation, auto-transformation ou réorganisation, et altération dans la différenciation et dans l'évolution générale des sols des terrasses rhodaniennes.

La figure 7.2 propose une représentation schématique des observations réalisées en ce sens sur l'ensemble des lames minces de sols. Cette figure est conçue dans le même esprit que la figure précédente (fig. 7.1). Elle correspond à une synthèse des observations; le schéma qui l'accompagne présente un caractère plus interprétatif.

21. GENESE, EVOLUTION ET TRANSFORMATION PLASMIQUE.

Les données d'observations sont représentées pour chacun des stades évolutifs, considérés de façon isolée. Les variations des rapports "plasma - squelette" sont figurées par une couleur de base. Des surcharges ou des nuances dans la teinte de base sont utilisées pour exprimer les détails importants concernant soit la constitution même du squelette soit le type d'assemblage ou d'organisation plasmique dominante (cf. légende de la figure). Enfin, un système simple de hachures a été employé pour représenter le développement et l'abondance relative de chacun des deux types de plasma : altéro-plasma et plasma d'illuviation.

Ainsi, dans le stade d'évolution n° 1, le plasma possède une importance relativement minime par rapport au squelette, il s'agit d'un plasma d'altération encore peu abondant provenant à la fois de la dissolution des galets calcaires et d'un début d'argilisation des amphiboles et des feldspaths calco-sodiques. Les phénomènes de migrations d'argile par lessivage existent déjà dans l'horizon B où ils sont surtout bien exprimés dans les parties basales de l'horizon B (B_{22} et B_3), ce qui traduit déjà la tendance naturelle à l'approfondissement des sols ($A'_2 - BC$). Cette tendance va d'ailleurs encore se développer dans tous les autres stades évolutifs, où l'on retrouve la présence constante de cet horizon ($A'_2 - BC$) à la base des profils.

C'est dans les stades 2 et 3 que l'importance du plasma augmente largement, en même temps que nous voyons apparaître une différenciation nette entre les horizons appauvris de surface où le squelette reste dominant et entre les horizons enrichis en argile où le plasma devient largement prépondérant. Au sein des horizons B eux-mêmes, nous avons été amenés à distinguer à la suite des diverses observations morphologiques :

- le sommet de l'horizon B (B_{21}), où les phénomènes d'altéro-plasmation jouent un rôle dominant,
- le milieu de l'horizon (B_{22}) où altéro-plasmation et lessivage jouent des rôles homologues,

- enfin, la base de ces mêmes horizons (B_{23} et B_3) où les phénomènes de lessivage acquièrent de plus en plus d'importance.

L'organisation plasmique qu'on pouvait considérer comme optimale au cours du stade n° 2 n'est d'ailleurs que transitoire. En effet, les phénomènes de contrainte qui apparaissent corrélativement à l'augmentation de la masse argileuse vont contribuer à sa propre destruction, laquelle s'exprime déjà largement dans le stade n° 3 où les phénomènes de pression et de gonflement sont responsables d'un brassage intense de la masse plasmique.

Dans ces deux stades, nous assistons également à de profondes destructions des structures primaires qui avaient été relativement préservées dans le stade n° 1. Ceci aboutit à leur fragmentation et à leur éclatement, avec une intégration des éléments ainsi désagrégés au sein de la masse plasmique elle-même.

Au sein du stade n° 4, nous atteignons l'optimum de différenciation entre les horizons A et A_2B d'une part, et les horizons B d'autre part. Les horizons de surface s'appauvrissent encore plus en plasma argileux à la suite des phénomènes de lessivage primaire et à cause des phénomènes de vidanges intervenant à partir des éléments grossiers siliceux. Nous assistons au sein du squelette au développement des fractions "graviers quartzeux" avec tendance nette à l'affinement et au passage vers les fractions sableuses grossières.

Les horizons B sont enrichis au maximum en plasma argileux et se colmatent de façon définitive. Le sommet de ces horizons (B_1) conserve encore les traces perturbées des organisations anciennes de lessivage, mais nous voyons apparaître des phénomènes de déferrification des argiles et de désorientation plasmique, qui sont l'amorce d'un lessivage "secondaire" (cf. JAMAGNE M. - 1969-1973) avec début de disjonction entre la dynamique du fer et de l'argile. Dans les parties médianes de l'horizon B (B_{22} , B_{23} , B_{24}) se développent des phénomènes d'altéro-plasmation fonctionnels, à côté de phénomènes de lessivage encore très actifs et également très fonctionnels. Il faut atteindre les parties basales (B_3) de cet horizon B pour retrouver les secteurs où domine nettement une dynamique de lessivage ce qui confirme que ces vieux sols sont bien en cours d'approfondissement et de transformation actuellement.

Enfin, le stade n° 5 traduit l'apparition de processus pédogénétiques nouveaux qui se manifestent surtout dans les parties supérieures des profils. Nous observons ainsi des migrations importantes des fractions "limons quartzeux" des horizons B, des possibilités de néoformations argileuses au sein des éléments en voie d'altération, et enfin des profondes réorganisations plasmiques en rapport avec l'apparition d'un comportement différentiel du fer et des argiles : le fer réduit peut subir ainsi d'importants phénomènes de solubilisation, entraînant une déferrification partielle des argiles et leur désorientation complète; dans le même temps, nous observons de nombreuses formes d'individualisations et de concrétionnements ferriques. Au sein des horizons B eux-mêmes, les phénomènes d'illuviation secondaire et d'hydromorphie peuvent se poursuivre jusqu'à des profondeurs voisines de 3 à 5 mètres. Et, dans les sols incomplètement dérubiés, nous voyons apparaître des véritables structures relictées en cours de destruction. Enfin, dans les niveaux encore plus profonds des profils, nous retrouvons la même succession d'organisations plasmiques que celle déjà décrite pour le stade 4 précédent.

22. PLACE DE L'EVOLUTION DE LA MATRICE DANS LA DYNAMIQUE DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES.

Les variations enregistrées dans les arrangements plasma-squelette et au sein des organisations plasmiques lorsqu'on passe d'un stade à un autre, témoignent d'un gradient d'évolution croissant. Ces organisations caractéristiques s'acquièrent progressivement à la suite de la production de plasma consécutive aux phénomènes d'altération. Ces organisations ne sont donc pas figées; elles se transforment peu à peu ou se réorganisent et peuvent même aller jusqu'à se détruire au fur et à mesure de la genèse et de la redistribution du plasma.

Aussi, partant de ces faits d'observation complexes que nous venons de résumer et si nous raisonnons maintenant en termes de dynamique, il apparaît clairement que nous retrouvons au sein des différents stades évolutifs de "véritables niveaux caractéristiques", qui semblent bien jouer lors de la formation des sols de terrasses des rôles tout à fait fondamentaux. Comme dans le cas précédent, où les éléments grossiers nous ont servi de traceurs pour l'étude des phénomènes d'altération, nous observons aussi une zonation qui est ordonnée à la fois verticalement et latéralement. Dans le schéma interprétatif de la figure 7.2, nous avons représenté les principales zones qui ont été différenciées dans l'ensemble des stades étudiés, afin de suivre leur progression en fonction du temps, parallèlement à l'évolution des sols. Successivement et de haut en bas, nous rencontrons donc :

a) - Une zone d'appauvrissement ou de "départ" qui n'apparaît qu'à partir du stade 3 et qui intéresse des épaisseurs de plus en plus grandes. Elle est caractérisée par des départs de plasma qui se traduisent par un appauvrissement de plus en plus marqué en plasma argileux, avec enrichissement corrélatif du squelette résiduel. Dans les stades ultimes d'évolution, ces phénomènes de départ atteignent même les phases les plus fines du squelette (fraction limons quartzeux).

b) - Une zone de "transit" commune à tous les stades observés mais proportionnellement plus importante dans les stades initiaux, où elle joue un rôle particulièrement important pour le démarrage des processus et l'orientation générale de la pédogénèse.

Dans les premiers termes nous mettons ainsi en évidence un type de transfert d'argile à caractère purement mécanique, intervenant très tôt dans la genèse des sols et fonctionnant directement à partir des produits issus de l'altération en place des minéraux primaires. Ce lessivage est synchrone de l'altération; il s'alimente aux dépens des argiles formées directement sur place et procède aussi par reprises successives des matériaux ayant déjà migrés. Il s'agit d'un "transit continu" correspondant à un transport ménagé d'argile sur d'assez faibles distances.

A partir du stade 3 et dans les stades ultérieurs, cette zone prend un caractère plus complexe parce que viennent s'y ajouter des mouvements correspondant aux migrations et accumulations d'argile en provenance des horizons supérieurs.

Enfin, dans les derniers stades, on voit apparaître une autre forme de transit des masses plasmiques, qui se localise le plus souvent dans la partie sommitale des horizons B (B_1) : elle est à associer à une autre forme de lessivage bien connue dans les formations limoneuses et appelée illuviation "secondaire" (JAMAGNE M. - 1974). Dans notre cas, il s'agit d'une remobilisation des argiles après leur déferrification et leur dégradation et qui tend à faire fonctionner ces horizons comme nouvelle structure de départ.

c) - Une zone de redistribution et de réorganisation optimale d'argile, qui occupe dans tous les sols de la séquence rhodanienne une position charnière à l'intérieur des profils, parce que s'y accumulent les argiles provenant des niveaux précédemment décrits et les argiles formées sur place par altération des minéraux primaires (altéro-plasmation). Cette zone est caractérisée par des phénomènes importants de pédoturbation résultant des effets combinés des contraintes internes dues aux mouvements de gonflements et de retrait successifs et des déplacements du squelette par suite de la dissociation des minéraux altérables et par suite de la dispersion des éléments résistants résiduels. La convergence de masses plasmiques importantes crée et entretient dans ces secteurs des conditions exceptionnellement favorables au colmatage s'exprimant parfaitement à partir du stade 3. Ces conditions contribuent à conférer à ces niveaux leur aspect caractéristique de réorganisation et de redistribution consécutives aux phénomènes de brassage, de remaniement et de destruction partielle des structures plasmiques précédemment acquises.

d) - Une zone de réorganisation interne plus faible avec redistribution modérée de la matrice argileuse lui succède plus bas dans les profils. Elle se développe au stade d'évolution 3, à partir duquel elle prend une ampleur de plus en plus considérable. C'est une zone de transition, présentant des caractères intermédiaires entre ceux de la zone précédente et ceux de la zone située plus profondément. Les caractères de réorganisation y sont moins nets, ceux de redistribution par mouvements d'illuviation ou de transit sont proportionnellement plus importants et s'accroissent d'ailleurs avec la profondeur.

e) - Une zone de migrations argileuses qualifiées de massives, parce que dans ces secteurs, la plus grande partie du plasma se trouve sous formes de cutanes ou revêtements argileux et argilo-ferrugineux. Ces dépôts d'argiles bien orientées, toujours associés aux oxydes de fer, sont localisés sur les parois des vides qu'elles tendent à remplir et à modifier de façon plus ou moins complète. L'importance de ces revêtements, tant en épaisseur propre sur les parois qu'en masse totale d'argile présente au sein même de ces niveaux, croît avec le degré d'évolution des sols. L'ampleur des déplacements subis varie également dans le même sens et devient ainsi très importante dans les stades ultimes, où ces niveaux tendent à occuper toute la partie inférieure des profils (1/3 de la hauteur totale de développement des profils). En outre, pour les premiers termes évolutifs et dans la partie supérieure de cette zone pour les autres termes, les migrations argileuses sont souvent accompagnées d'éléments issus de la dissociation du squelette (fragments de quartz). Mais, dans la partie inférieure ces migrations sont constituées de revêtements argileux simples et épais (meilleure orientation liée à des déplacements sur de plus grandes distances). Ces migrations argileuses empruntent à la fois les porosités originales du matériau et celles résultant des phénomènes de dissolution des éléments calcaires. Nous avons donc bien affaire ici à un véritable remplissage des porosités.

f) - Enfin, à la base des différents stades évolutifs, on passe à une zone à migrations argileuses plus localisées, Les revêtements argileux y sont peu épais et discontinus; ils alternent ou se superposent avec des concentrations pelliculaires de calcite bien développées sur la face inférieure des galets. Le remplissage des porosités est tout à fait incomplet, car il est en cours actuellement. En outre, il y a pratiquement simultanément entre ces phénomènes de remplissage progressif par l'argile et les phénomènes de dissolution des éléments calcaires.

Ces phénomènes de dissolution sont responsables de la formation des vides et créent des conditions de soutirage qui sont responsables pour une large part de la dynamique de formation des sols des terrasses rhodaniennes. En effet, du fait de sa situation à la base des profils et de sa très forte porosité, c'est bien le niveau par lequel passent toutes les pertes qui accompagnent l'évolution des sols, qu'elles se produisent sous formes figurées (argiles) ou en solution (différents cations).

3 - CONCLUSIONS.

Ce tour d'horizon de l'ensemble des transformations concernant la séquence étudiée a permis de déterminer la part respective des principaux phénomènes qui ont participé à la formation des sols des terrasses rhodaniennes.

Sur le plan de la dynamique, cette étude a montré la progression et la bonne continuité des phénomènes au cours de l'évolution des sols, bien que l'intensité des processus et parfois leur nature aient pu varier d'un stade à un autre (au cours du temps).

Mais, elle a fait ressortir aussi qu'il y avait une assez bonne concordance entre les enseignements tirés des transformations des éléments grossiers et ceux que nous avons pu déduire de l'évolution des transformations plasmiques. En fait, ces phénomènes sont étroitement imbriqués et souvent même fortement interdépendants.

D'abord sur le plan de leur répartition et de leur progression en fonction du temps, les limites fondamentales que nous avons dégagé concernant les phénomènes de dissolution des éléments calcaires, de désagrégation des galets cristallins et de fragmentation mécanique des éléments siliceux se superposent assez bien avec les trois grands groupes de phénomènes responsables des organisations plasmiques. Ainsi, nous pouvons dire que la zone de fragmentation se calque assez bien sur la zone "d'appauvrissement" en plasma argileux. De même, il y a une relation étroite entre la zone d'altération maximum des éléments cristallins et la zone de réorganisation optimale d'argile; enfin le front de dissolution des éléments calcaires marque la limite de base pour les migrations argileuses et en constitue le véritable "moteur" (dynamique de soutirage).

Dans le détail, d'autres nuances apparaissent évidemment et nous les avons dégagées au cours de l'étude des transformations de ces organisations. La plus importante sur le plan des processus paraît bien être la mise en évidence d'une zone de "transit" permettant de définir une forme particulière de lessivage qui débute en même temps que les premiers symptômes d'altération. Ce lessivage synchrone de l'altération correspond à un transfert continu et ménagé d'argile. Ce transfert s'étend en fait à l'ensemble des sols de terrasses et commande la dynamique globale de différenciation des profils.

3ème PARTIE

**ESSAIS DE QUANTIFICATION
DES PHÉNOMÈNES D'ÉVOLUTION**

I N T R O D U C T I O N

Au cours de leur genèse et de leur développement, les sols des terrasses rhodaniennes sont l'objet d'une série de transformations successives, dont nous avons pu dégager les aspects essentiels.

A partir de ces données qualitatives, il est maintenant possible de concevoir et de définir un "modèle de calcul", basé sur les bilans, qui permette de quantifier les phénomènes et de rendre compte des traits majeurs de l'évolution étudiée.

Méthode d'investigation utilisée.

Etant donnée la nature caillouteuse du matériau originel, les bilans doivent nécessairement prendre en compte la masse globale des matériaux, et par suite intégrer aussi bien la fraction "grossière caillouteuse" que la fraction "terre fine", à tous les niveaux des profils de sols.

Pour cela, nous avons procédé sur le terrain à une série de mesures et de comptages analogues à ceux déjà décrits pour les matériaux originels (cf. p.26 et p.30). Ce type de comptages concentrés sur la fraction "cailloux" (éléments de 2 à 5 cm) a surtout été pratiqué pour les horizons C des profils étudiés. Pour les sols eux-mêmes, nous avons utilisé une méthode de comptage pétrographique direct sur le sol en place (front de coupe), de manière à éviter toute perturbation, qui risquait de fausser considérablement les résultats, compte-tenu de l'état de fragilisation atteint par les galets granitiques.

Ces comptages ponctuels ont été considérés comme des sondages, au sens statistique du terme, et étendus à la masse globale des éléments caillouteux. Ce qui permet de se faire une idée de la composition pétrographique d'ensemble des éléments grossiers et de l'évolution de cette composition au cours de l'altération et de la pédogénèse.

a) - Choix effectués.

Par suite de la complexité du matériau originel dans sa composition pétrographique et granulométrique, il ne s'agissait pas d'explorer tous les types de situations.

Nous avons volontairement choisi de nous placer dans des cas aussi simples que possible permettant de tester au mieux la gradation des phénomènes d'altération en fonction de leur durée. Pour cela, il fallait se rapprocher au maximum des conditions où ce facteur altération avait des chances de jouer le rôle de variable unique.

A cet effet, exploitant les références de cartographie pédologique, nous avons concentré nos mesures et nos calculs à l'intérieur des sites-tests, dont les choix ont été explicités dans la première partie. Il s'agit de situations bien représentatives des évolutions pédologiques quaternaires, qui restent à l'intérieur d'un même bassin d'alimentation de façon que :

- la composition pétrographique originelle du matériau-mère conserve un caractère comparable et ne subisse que des variations de détail d'un stade évolutif à un autre;
- les variations climatiques latitudinales soient les plus réduites possible pour n'appréhender que des changements climatiques liés au temps (changement d'intensité climatique quaternaire).

b) - Résultats.

Les résultats bruts de ces pesées et de ces comptages sont présentés de façon synthétique dans la figure 8.1 ci-jointe. Ils sont regroupés sous la rubrique "résultats en vraies grandeurs" et sont exprimés en pour cent de poids; ils permettent de suivre l'évolution des diverses composantes des fractions "grossières" et des fractions "terre fine", pour chacun des principaux stades évolutifs et pour les différents horizons qui s'y différencient.

c) - Plan d'étude.

Nous nous proposons tout d'abord de faire la part des phénomènes de transformations granulométriques (chap. 8); puis nous aborderons les transferts géochimiques et les phénomènes d'altération (chap. 9).

Chapitre 8

TENTATIVES DE QUANTIFICATION DE L'EVOLUTION GRANULOMETRIQUE

- Transformations et redistributions -

En ce qui concerne les phénomènes de transformations granulométriques, dans un premier temps, nous donnerons un aperçu des traits généraux des transferts de masse (8.A); dans un second temps, nous tenterons une évaluation quantitative de ces transferts (8.B).

A - TRAITS GENERAUX DES TRANSFERTS DE MASSE .

En prenant pour références les teneurs en éléments grossiers et en terre fine existant dans la roche-mère, pour chaque stade évolutif nous pouvons suivre l'évolution des composantes principales depuis la base des profils jusqu'aux horizons de surface.

11. EVOLUTION DES ELEMENTS GROSSIERS CAILLOUTEUX.

Dans le chapitre 7 précédent, nous avons pu montrer que les éléments grossiers caillouteux évoluaient de façon différente selon leur nature pétrographique. Ceci se traduit par une évolution spécifique de la teneur des 3 types d'éléments présents, qui transparaît bien dans le tableau 8.1 et la figure 8.2 ci-après.

- Quantitativement, la diminution de la masse des calcaires présents est brutale et très nette dès le stade 1. Pour les éléments granitiques, les variations observées sont beaucoup plus progressives et différent suivant les horizons (toujours plus fortes en A qu'en B).

En se référant aux teneurs en éléments grossiers existants dans les matériaux originels, nous observons dans les sols étudiés, une diminution des taux d'éléments grossiers totaux, aussi bien en A qu'en B (cf. tableau 8.1; pour ces éléments grossiers totaux, tous les rapports A/C et B/C sont inférieurs à 1).

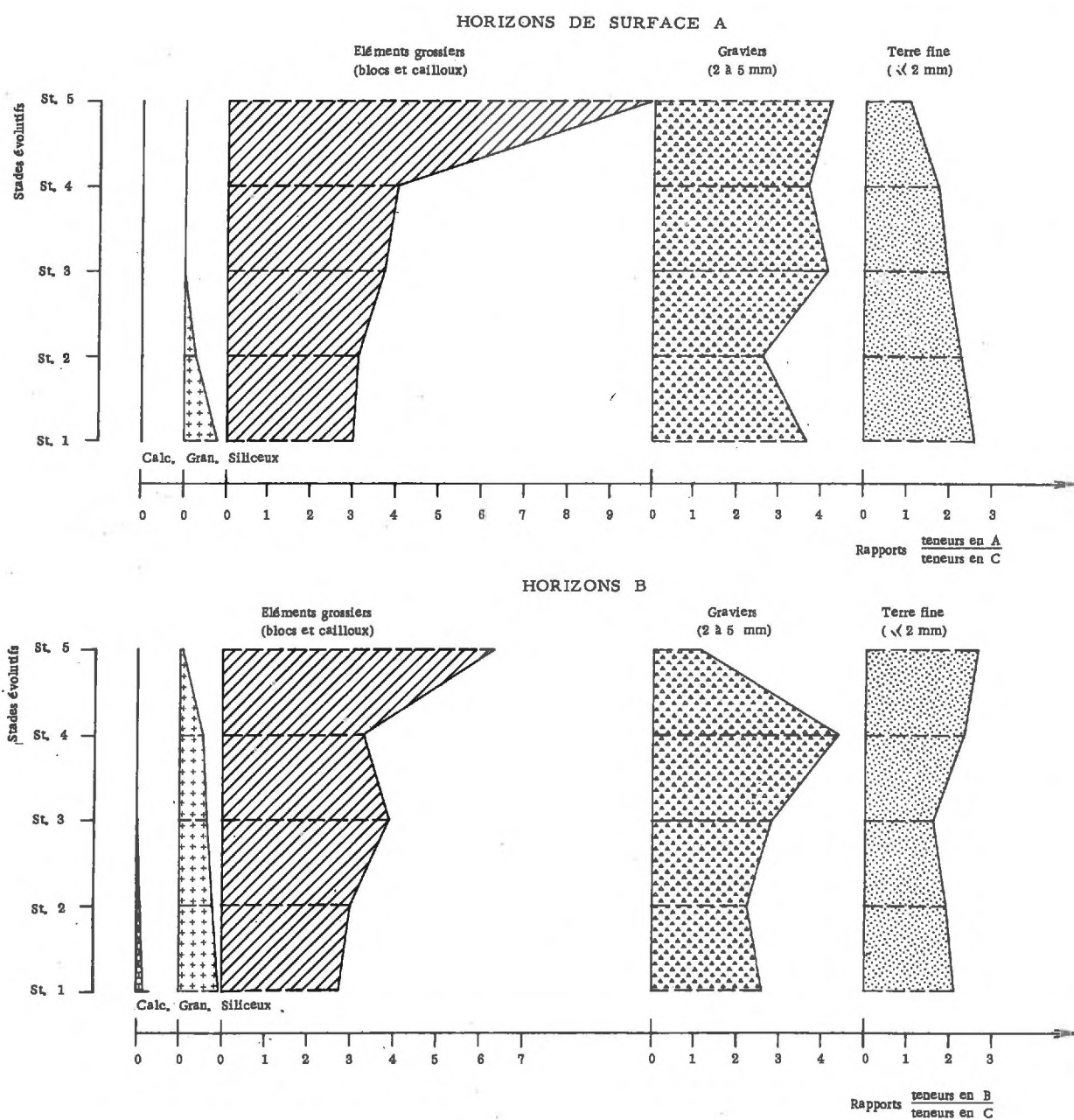
Tabl. 8 - 1

VARIATIONS DES TENEURS MOYENNES EN ÉLÉMENTS GROSSIERS
ET EN TERRE FINE DES HORIZONS A ET B
PAR RAPPORT AU MATÉRIAU ORIGINEL (C)

		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	
Rapport des teneurs par type d'horizon	Galets calcaires	A/C	0	0	0	0	
		B/C	0,16	0	0	0	
	Galets de granites	A/C	0,72	0,22	0	0	
		B/C	0,97	0,76	Base B 0,59	Milieu B 0,59	Milieu B 0,12
	Galets siliceux	A/C	3,0	3,1	3,74	3,87	9,9
		B/C	2,8	2,95	(A ₂) 4,62 3,87	(A ₂) 3,25 3,25	(B ₁) 4,7 (B ₂) 6,5
	Masse totale d'éléments grossiers en A/C		0,66	0,80	0,82	0,85	0,99
	Masse totale d'éléments grossiers en B/C		0,77	0,85	0,90	0,71	0,61
Masse de graviers en A/C		3,6	2,6	4,1	3,7		
Masse de graviers en A ₂ /C		-	-	1,5	4,25	4,25	
Masse de graviers en B/C		2,6	2,25	2,8	4,3	1	
Terre fine		A/C	2,6	2,28	2	1,83	1,05
		A ₂ /C	-	-	0,91	2,62	
		B ₁ /C	-	-	-	-	3,35
		B ₂ /C	2,07	1,93	1,57	2,34	2,54

Fig. 8 - 2

**ÉVOLUTION DES CONSTITUANTS GROSSIERS ET DE LA FRACTION FINE
AU SEIN DE LA PHASE RÉSIDUELLE
DANS LES DIFFÉRENTS STADES ÉVOLUTIFS
(variations des teneurs des horizons A et B par rapport au matériau original C)**



- Dans les horizons A, cette diminution est maximum dans les premiers stades d'évolution et s'estompe ensuite progressivement pour s'annuler dans les stades 5.

- Dans les horizons B, ce sont les stades 2 et 3 pour lesquels les teneurs en éléments grossiers se rapprochent le plus de celles des horizons C. Dans le stade 1 comme dans les stades ultimes n° 5, ces teneurs diminuent fortement par rapport à celles des matériaux originels.

- Au plan pétrographique, cette évolution différentielle des éléments grossiers est fondamentale car elle s'accompagne d'une transformation progressive de la composition des cailloutis eux-mêmes qui aboutit (cf. figure 8.2) :

. d'une part à une concentration relative des éléments siliceux résistants aux phénomènes d'altération physique et chimique;

. d'autre part à une diminution puis à une disparition des éléments caillouteux non stables (calcaires puis granites).

- Au plan du fonctionnement des sols, cette diminution de masse des éléments grossiers au sein des sols des terrasses peut s'interpréter par une dissolution pure et simple mais aussi par des transferts de masse au profit des éléments plus fins, soit "graviers" soit "terre fine". C'est l'importance de ces transferts que nous pouvons maintenant essayer de suivre de façon schématique au travers de l'évolution de la fraction "graveleuse" puis de la fraction "terre fine".

12. EVOLUTION DE LA FRACTION GRAVELEUSE.

L'étude de la fraction graveleuse (éléments compris entre 2 et 5 mm) permet de suivre l'état de fragmentation et de désagrégation atteint par les galets granitiques et fournit ainsi une assez bonne image de l'état d'altération de ces éléments.

Dans les divers stades d'évolution différenciés, nous assistons à une augmentation assez généralisée de la teneur en graviers par rapport aux horizons C : cette concentration "relative" est nette aussi bien dans les horizons de surface (coefficient de concentration des graviers compris entre 2,6 et 4,2) que dans les horizons B (coefficient variant de 1 à 4,3).

121. Evolution des graviers dans les horizons de surface.

Dans les horizons de surface, les variations de concentration en graviers permettent de distinguer deux ensembles.

. Premier ensemble englobant les 2 premiers stades évolutifs. Au cours du passage du stade 1 au stade 2, nous assistons à une diminution assez nette de la teneur relative en graviers par rapport aux horizons C. Ceci indique que le stock initial de graviers est en voie d'appauvrissement progressif faute de renouvellement. En effet, les phénomènes de désagrégation et de fragmentation des galets granitiques qui pourraient tendre à produire de nouveaux éléments graveleux sont faibles ou nuls, car la

fragilisation des galets est encore incomplète. D'un autre côté, par contre, les observations et comptages microscopiques ont montré qu'au sein des graviers eux-mêmes, il existe une proportion importante de feldspaths (environ 40 % pour 60 % de quartz ou quartzites) qui sont, soit en cours de fragmentation en sables et en limons, soit en voie de dissolution partielle. Ces observations convergentes expliquent assez bien la diminution de la teneur globale en graviers dans ces stades évolutifs.

- Deuxième ensemble allant des stades 3 jusqu'au stade 5, dans lesquels les deux types de phénomènes que nous venons d'évoquer ont des vitesses qui s'inversent, car les granites sont parvenus à un état de fragilisation suffisamment poussé pour qu'ils se retrouvent pratiquement tous à l'état de graviers. En conséquence, à partir du stade 3, nous observons une nette remontée de la teneur en graviers, associée à cette désagrégation massive des galets granitiques. Si dans les stades ultérieurs existe une relative stabilisation des teneurs en graviers, il faut en rechercher la raison dans la composition minéralogique de ces graviers : la composante feldspathique a été totalement détruite soit par fragmentation, soit par dissolution dès le stade 3; seuls subsistent au sein de cette fraction graveleuse les éléments "de type quartzéux" qui peuvent d'ailleurs provenir d'autres sources que les granites.

122. Evolution des graviers dans les horizons B.

Dans les horizons B, il y a augmentation progressive de la masse de graviers résiduels depuis le stade 1 (graviers = 2,6 C) jusqu'au stade 4 (graviers = 4,3 C). Ce qui s'explique par l'arénisation d'une masse croissante de cailloux granitiques, phénomène dont la vitesse reste toujours supérieure à celle de disparition des graviers par fragmentation simple ou par dissolution.

La chute brutale de la teneur en graviers constatée dans les horizons B des stades villafranchiens demande une explication un peu plus longue, d'autant qu'elle reflète une disjonction majeure entre les horizons de surface A et les horizons B. Pour essayer de comprendre ce phénomène, nous sommes obligés de nous référer à la morphologie des profils et aux types de prélèvements réalisés. Dans cette portion d'horizon B (sommet ou milieu d'horizon B des stades villafranchiens), les seuls galets cristallins qui sont encore présents sont de taille supérieure à 10, voire 20 cm. Les prélèvements n'ont pas été effectués dans ces situations qui constituent des cas particuliers, non ou peu représentatifs de la masse globale de ces horizons. Les autres éléments cristallins (granites de dimension inférieure à 10 cm) ont pratiquement entièrement disparu par fragmentation, arénisation ou argilisation in situ. Ils ont subi une homogénéisation et une incorporation plus ou moins complète au sein du résidu d'altération fin.

Dans ces conditions, la diminution brutale de la teneur en graviers enregistrée au sein de ces horizons B semble vouloir indiquer :

- a) - soit que la fraction graviers quartzéux a subi une fragmentation assez complète en sables et en limons (elle a ainsi contribué à l'augmentation de la fraction fine);

b) - soit que cette fraction a subi une certaine solubilisation (il y aurait alors début de dissolution de la silice "quartz" au sein de cette fraction graveleuse).

Cette deuxième hypothèse n'est pas vraisemblable, si nous nous référons aux horizons de surface des mêmes sols, où la fraction graveleuse se maintient, au contraire, à des niveaux de concentration particulièrement élevés : ceci porte à exclure des processus importants de dissolution aux dépens de cette fraction graveleuse. Nous sommes alors conduit à penser qu'au sein de ces horizons de surface, où les granites ont tous été détruits, ce sont d'autres sources qui interviennent pour reconstituer le stock graveleux. Les observations effectuées sur lames minces ont montré que les éléments siliceux et en particulier les silex eux-mêmes sont dans un état de fragilisation suffisamment poussé (augmentation de la porosité) pour qu'un simple effet mécanique puisse entraîner leur désagrégation partielle; à cet égard, les phénomènes de gel et de dégel ont certainement dû jouer un rôle non négligeable en surface de ces vieux profils. Ces phénomènes ont cumulé leurs actions pendant la succession de l'ensemble des glaciations quaternaires, alors qu'au contraire, en profondeur dans les horizons B cet effet n'a pu se faire sentir.

123. Conclusions concernant la fraction graveleuse.

L'ensemble de ces données concernant l'évolution de la fraction graveleuse suggère un certain nombre de conclusions relatives aux phénomènes de transformations granulométriques.

a) - La production la plus massive d'éléments graveleux coïncide bien sur le terrain avec les stades d'évolution n° 3 et n° 4 dans lesquels on voit s'individualiser puis se développer des horizons caractéristiques "à graviers", intermédiaires entre les horizons de surface A et les horizons B. Ces horizons "à graviers" apparaissent donc comme des formes résiduelles d'altération des galets granitiques et quartzeux, formes que les phénomènes mécaniques d'éclatement par le gel ont contribué à accentuer si bien qu'elles occupent dans les profils une localisation privilégiée à des profondeurs comprises entre 40 et 80 cm.

L'importance des phénomènes de fractionnement retentit donc directement sur la morphologie des profils de sols des terrasses rhodaniennes.

b) - Au plan du fonctionnement des sols, ces phénomènes de fragmentation paraissent intervenir très tôt, mais il y a lieu de distinguer plusieurs paliers :

- . les phénomènes qui apparaissent dès le stade 1 mettent en jeu des éléments granitiques déjà fragilisés au sein même des matériaux-mères. Ce stock est rapidement épuisé et le phénomène s'arrête;
- . interviennent ensuite les phénomènes de désagrégation propres à la pédogenèse in situ : leur maximum de développement se situe au stade 3 et se manifeste essentiellement aux dépens des galets granitiques avec des intensités croissantes de bas en haut des profils. Ces phénomènes se poursuivent jusqu'à disparition complète du stock initial de galets granitiques;

. c'est dans un troisième temps, que nous pouvons mettre en évidence des phénomènes de fractionnement mécanique intervenant aux dépens des galets siliceux (surtout silex et quartz). Mais, ils sont limités aux horizons de surface des stades villafranchiens et là encore l'action du froid semble avoir joué un rôle important permettant au phénomène de se manifester.

13. EVOLUTION DE LA FRACTION "TERRE FINE".

131. Evolution quantitative de la masse de terre fine et des principales composantes élémentaires.

L'évolution quantitative de la masse de terre fine est bien évidemment l'inverse de celle déjà décrite pour les éléments grossiers, puisque nous raisonnons ici en pour cent de matériau global. Ces données sont retranscrites dans le tableau 8.2 et schématisées dans la figure 8.3 .

Soulignons qu'on observe dans les sols une accumulation de terre fine par rapport aux teneurs existant dans les matériaux originaux C. Dans les horizons A, cet effet de concentration de terre fine est maximum (x 2,6) pour les stades évolutifs initiaux : il décroît progressivement jusqu'aux stades 4 et on retrouve finalement aux stades 5 des teneurs en terre fine globale voisines de celles observées dans la roche-mère originelle (x 1,05).

Dans les horizons B, les variations de masse de terre fine reflètent toujours une concentration, mais les amplitudes sont moindres, puisque les coefficients observés sont voisins de 2 pour la majorité des termes évolutifs, à l'exception des horizons B du stade 3, pour qui ce coefficient ne dépasse pas 1,5 (cf. figure n° 8.2).

132. Variations des composantes élémentaires principales de la terre fine (sables, limons, argile). Interprétations.

Les variations des composantes de la terre fine permettent de suivre la progression des phénomènes d'altération physique et chimique et dans une certaine mesure, de préciser l'importance respective des 2 phénomènes. De manière générale, l'amplitude des variations constatées pour chacune des composantes est très inégale (cf. tableau 8.2 et fig. 8.3). Si pour les sables, nous observons des chiffres comparables à ceux déjà mentionnés pour la terre fine, dans le cas des limons et de l'argile au contraire, les variations sont d'un ordre de grandeur totalement différent (1 à 10 ou de 1 à 20).

Dans le cas des sables, l'effet-concentration par rapport au matériau originel déjà signalé pour la terre fine globale s'observe encore dans les premiers termes de la séquence (stade 1 et 2), mais il est toujours limité (compris entre 1,1 et 1,9 pour les horizons A, comme pour les horizons B). Dans les autres termes, la tendance s'inverse et il n'y a plus concentration de sable. Nous pouvons dire que, lors du début de l'évolution des sols rhodaniens la production de sable par désagrégation et arénisation compense toujours largement les pertes; en revanche, à partir des stades 3, ce sont les pertes qui deviennent prépondérantes. L'effet argilisation et altération par voie chimique tend à pren-

dre le pas sur les phénomènes d'altération physique, comme nous le confir-
ment les observations faites sur les fractions plus fines.

Pour les limons, les concentrations observées dès les stades
initiaux 1 et 2 (x 3 ou x 5 par rapport au matériau C) prennent leur am-
pleur maximum au stade 3, particulièrement dans les horizons de surface A
où elles peuvent atteindre 18 fois les teneurs des matériaux originels.
Pour les premiers termes, ce sont surtout les calcaires qui sont responsa-
bles de la production de limons, pour les stades 3 ce sont les granites
et plus particulièrement la fraction "feldspath" qui participe de manière
plus importante à la fabrication intense de ces limons (séricitisation
complète de la plus grosse partie des feldspaths).

Dans les termes ultérieurs, on observe une nouvelle chute des
teneurs en limons et on retrouve finalement dans les horizons B et surtout
dans les horizons A des sols villafranchiens, des teneurs en limons assez

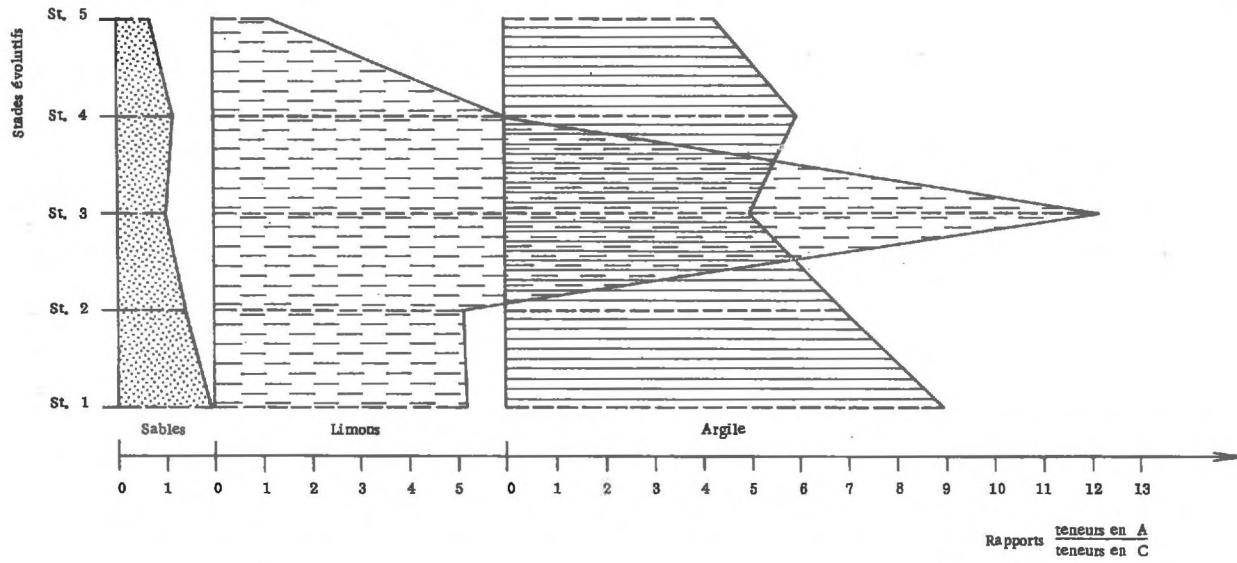
Tabl. 8 - 2

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION FINE ET DE SES COMPOSANTES
VARIATIONS DES TENEURS DES HORIZONS A ET B
PAR RAPPORT AU MATÉRIAU ORIGINEL (C)**

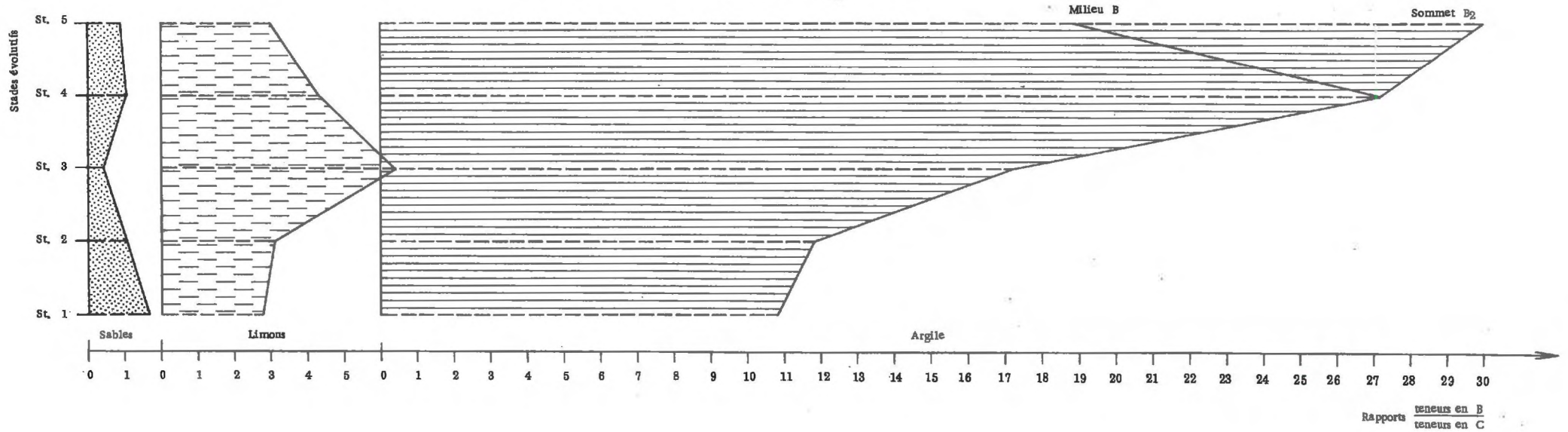
		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Terre fine globale	A/C	2,6	2,28	2	1,83	
	A ₂ /C	-	-	0,91	2,62	1,05
	B ₁ /C	-	-	-	-	3,35
	B ₂ /C	2,07	1,93	1,57	2,34	2,54
Fraction sables	A/C	1,89	1,43	0,95	1,2	
	A ₂ /C	-	-	0,32	1,89	0,7
	B ₁ /C	-	-	-	-	1,45
	B ₂ /C	1,63	1,1	0,43	1,05	0,96
Fraction limons	A/C	5,2	5,1	18,2	5,05	
	A ₂ /C	-	-	8,0	6,55	1,2
	B ₁ /C	-	-	-	-	2,4
	B ₂ /C	2,8	3,1	6,4	4,3	3
Fraction argile	A/C	9	6,85	4,9	6	
	A ₂ /C	-	-	4,6	7	4,3
	B ₁ /C	-	-	-	-	31,6
	B ₂ /C	10,8	11,1	17,6	28,2	19

ÉVOLUTION DES COMPOSANTES DE LA TERRE FINE DANS LES HORIZONS A ET B
PAR RAPPORT AU MATÉRIAU ORIGINAL C

HORIZONS DE SURFACE



HORIZONS B₂



comparables à celles observées dans les matériaux originels. Ceci est la conséquence d'importants phénomènes de migrations de limons entraînant des pertes énormes en cet élément; nous avons déjà insisté sur ce phénomène lors de la description des lames minces de sols. Les informations qualitatives se trouvent ici confirmées par les données quantitatives.

Dans le cas de l'argile, on assiste à un phénomène tout à fait homologue de celui décrit pour les limons. Mais l'effet concentration d'argile est beaucoup plus fort dans l'horizon B que dans l'horizon A, car les processus d'entraînement mécanique de l'argile et d'appauvrissement viennent se cumuler avec l'effet de production d'argile par argilisation. Ces phénomènes de concentration d'argile au niveau de l'horizon B qui débutent de manière nette dans les stades 3 se poursuivent de manière assez constante jusqu'au stade 5 avec une coupure à partir du stade 4.

Dans les stades initiaux 1 et 2, l'argile produite correspond pour la plus grosse partie aux phénomènes de dissolution des carbonates (galets calcaires et carbonates de la terre fine). Dans les termes ultérieurs, l'argile provient des phénomènes d'argilisation à partir des feldspaths et des ferro-magnésiens issus de la fragmentation des granites. Cette phase de fragilisation des matériaux granitiques qui débute au stade 1 se poursuit jusqu'au stade 2. Au-delà de ce stade, ces phénomènes physiques sont relayés par des processus chimiques qui sont générateurs de la forte production d'argile enregistrée au sein des horizons B. La coupure entre les horizons B des stades 4 et 5 serait révélatrice de changement d'agressivité dans les processus d'altération chimique (les pertes pouvant être plus fortes au stade villafranchien).

133. Conclusions.

L'évolution de la terre fine (ou fraction inférieure à 2 mm) peut se schématiser comme suit :

- Décalcification complète dès les premiers stades d'évolution par dissolution des carbonates essentiellement concentrés à l'origine dans la fraction sableuse.
- Par rapport aux matériaux originels, production importante et généralisée de terre fine dans l'ensemble des stades évolutifs observés aussi bien dans les horizons A que dans les horizons B,
 - . d'abord par effet de concentration (accumulation résiduelle à partir de la terre fine initiale et par dissolution des éléments grossiers calcaires);
 - . aussi par effet de concentration à partir des éléments grossiers granitiques (arénisation progressive des galets granitiques).
- En fait, cette évolution globale de la fraction fine représente une série de processus complexes, car pour un stade évolutif donné, la teneur observée pour un élément de taille granulométrique donné est la résultante de deux actions antagonistes :
 - . augmentation des teneurs à la suite de la production de cet élément par désagrégation des fractions plus grossières;

- . diminution des teneurs consécutive à la destruction de cet élément granulométrique; elle peut se traduire soit par des pertes réelles hors du profil, soit par une transformation en éléments de taille plus fine.

B - EVALUATION QUANTITATIVE DES TRANSFERTS DE MATIERE .

En comparant les teneurs respectives en éléments grossiers, en graviers et en terre fine dans les matériaux mère originels et dans les différents horizons des sols rhodaniens, il a été possible de mettre l'accent sur la résultante finale des phénomènes de transformation, notamment en ce qui concerne la diminution de certaines fractions et l'enrichissement en certaines autres.

Au cours de cette évolution pédogénétique, nous avons pu constater que certains éléments (galets calcaires, puis galets granitiques) étaient amenés à disparaître progressivement. Le problème se pose maintenant de déterminer si les variations mises en évidence au niveau des autres fractions sont bien des variations réelles ou si elles ne sont que des "variations apparentes" consécutives à la disparition de ces éléments calcaires (dissolution) ou à la fragmentation des éléments granitiques (désagrégation). Autrement dit, il s'agit de vérifier le sens et la signification des variations observées en se référant à un bilan quantitatif, aussi précis que possible.

Choix d'un invariant

A cet effet, il a tout d'abord fallu faire le choix d'un constituant du matériau qui puisse servir d'invariant de référence, c'est à dire qui se conserve dans les conditions où s'est effectuée l'altération. Compte-tenu du caractère très grossier du matériau alluvial initial, il était logique de prendre un invariant au sein des fractions grossières, malgré les difficultés de mesures que cela pouvait entraîner par la suite (pesées et comptages de grosses quantités de matériaux). Partant de ces considérations, nous avons été amenés à choisir comme invariante les fractions grossières (> 2 mm) à composante siliceuse (quartzites + quartz + silex). Ce choix se justifiait par le fait que ces éléments étaient bien représentés (60 %) au sein des différents stades évolutifs, que leur stabilité se maintenait longtemps au cours de l'évolution, enfin il faut souligner aussi que nous pouvions l'utiliser à différents niveaux (granulométrique et aussi chimique).

Pour le raisonnement granulométrique que nous nous proposons de faire l'invariant "quartzite" n'est pas à considérer en tant que composé chimique (SiO_2) mais en tant que fractions siliceuses grossières contenant ce constituant et présentes au sein du système évolutif étudié.

4 - RAISONNEMENT ISOQUARTZITE ET EVOLUTION REELLE DES ELEMENTS GROSSIERS
CAILLOUTEUX ET GRAVELEUX.

Dans le tableau 8.1 présenté plus haut, nous avons essayé de suivre l'évolution des éléments grossiers, caillouteux et graveleux au sein des horizons A et B par rapport aux horizons C en se référant aux teneurs mesurées au sein de ces horizons; il est possible maintenant de refaire les mêmes types de calculs en raisonnant à teneur constante en quartzite de façon à s'approcher du bilan réel ou absolu de l'évolution. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 8.3 et dans la figure 8.4 .

Tabl. 8 - 3

VARIATIONS DES TENEURS EN ÉLÉMENTS CAILLOUTEUX ET GRAVELEUX
RÉSIDUELS (A QUARTZITE CONSTANT) DANS LES HORIZONS A ET B
PAR RAPPORT AU MATÉRIAU ORIGINEL (C)

		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Galets de calcaires	A/C	0	0	0	0	0
	B/C	0,06	0	0	0	0
Galets de granites	A/C	0,24	0,07	0	0	0
	B/C	0,35	0,25	0,15 base B	0,17 milieu B	0,02 milieu B
Masse de graviers	A/C	1,2	0,86	1,1	0,95	0,43
	A ₂ /C	-	-	0,32	1,30	-
	B ₁ /C	-	-	-	-	0,29
	B ₂ /C	0,93	0,76	0,72 base B	0,95 milieu B	0,15 sommet 0,08 milieu

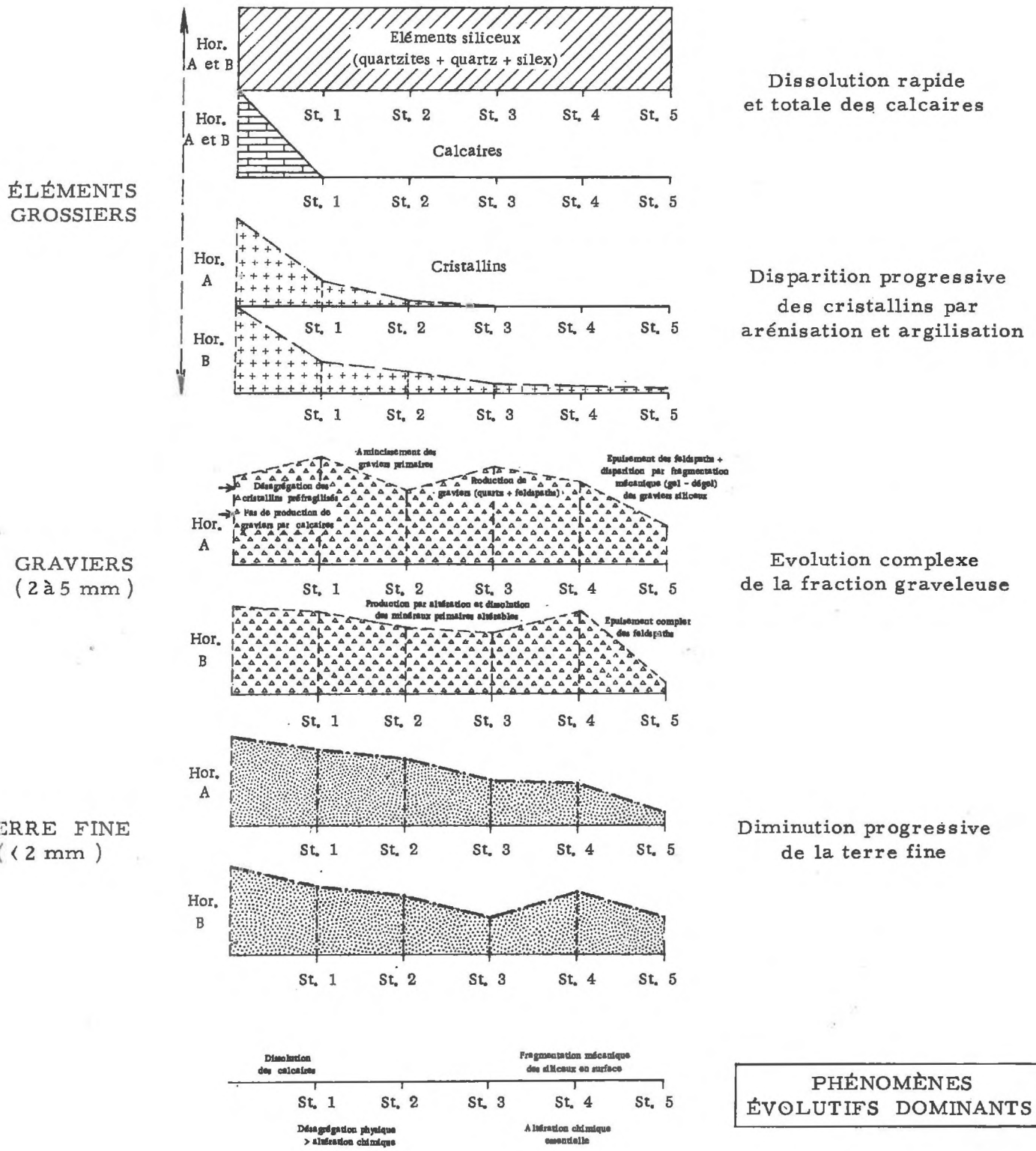
. Pour les éléments grossiers du type galets calcaires et granitiques, l'évolution va bien dans le même sens que celle déjà mentionnée dans les paragraphes précédents. Ces chiffres nous fournissent, en outre, une idée de la vitesse réelle de disparition de ces matériaux au sein des éléments grossiers.

. Dans le cas des fractions graveleuses, l'évolution des composantes en proportion isoquartzite permet d'apprécier l'importance relative des pertes et des gains selon les horizons par rapport au matériau originel pour les différents stades évolutifs.

Globalement, si l'on fait exception du stade 5 qui révèle de fortes diminutions du stock par rapport aux teneurs initiales, nous pouvons mentionner une relative stabilité des fractions graveleuses; ce qui veut

Fig. 8 - 4

**ÉVOLUTION SCHEMATIQUE DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS
DANS LES DIFFÉRENTS TERMES DE LA SÉQUENCE RHODANIENNE
(raisonnement isoquartzite avec référence à la roche - mère)**



dire que les gains équilibrent à peu près les pertes, ceci étant plus régulièrement vérifié dans les horizons de surface A que dans les horizons B, où une tendance vers les pertes, légère mais systématique, peut être mentionnée.

Pour les premiers stades évolutifs (1, 2 et 3), les phénomènes de désagrégation des galets granitiques apparaissent bien comme responsables du renouvellement du stock de graviers : il est facile de comprendre que ces phénomènes sont plus intenses dans les horizons de surface A que dans les horizons B. De même, nous pouvons comprendre que des oscillations puissent exister entre chacun des stades évolutifs. Nous n'y reviendrons pas, car elles ont déjà longuement été évoquées plus haut (cf.chap.8A.par.2).

En revanche, pour les stades évolutifs plus anciens que les stades 3, il est nécessaire de faire appel à d'autres explications pour comprendre l'évolution du stock graveleux. Ainsi, nous assistons à une augmentation des fractions graveleuses entre le stade 3 et le stade 4, alors que le stock initial des granites, source essentielle d'éléments graveleux, est totalement épuisé.

Par ailleurs, pour les stades 5, nous pouvions penser que l'évolution des fractions graveleuses serait plus limitée, puisque les fractions sont à composante uniquement quartzeuse et quartzitique. Le fait qu'existe une diminution assez nette de ces fractions prouve qu'une proportion non négligeable de ces éléments disparaît en se fragmentant en éléments plus fins. D'un autre côté, un second phénomène apparaît; nous observons entre les horizons A et les horizons B des distorsions très fortes de comportements. Or, ces dernières ne peuvent s'expliquer par des différences dans les pertes, car celles-ci étant toujours plus fortes en A qu'en B conduiraient à l'effet inverse de celui constaté. Pour donner une explication à cet ensemble de faits, apparemment divergents, on revient donc à la solution qui avait déjà été proposée plus haut (paragraphe 2) et qui fait intervenir les phénomènes de fragmentation par le gel des éléments grossiers siliceux, en particulier les quartz et les silex.

Ces processus pouvant se produire uniquement dans les horizons de surface s'annulent dès les horizons B, ce qui explique la différence de comportement entre A et B.

Enfin, la diminution progressive des teneurs en terre fine qui transparaît bien dans la figure 8.4 traduit en fait la résultante globale de l'ensemble des transformations précédentes. Elle met clairement en évidence l'existence d'importantes pertes de matière en relation avec les phénomènes évolutifs dominants dans les sols des terrasses rhodaniennes. Nous allons maintenant considérer ce problème avec un peu plus de détail.

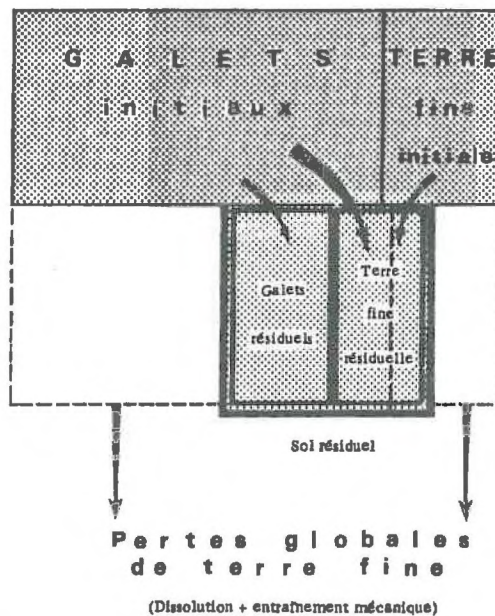
5 - BILAN DE LA PRODUCTION DE TERRE FINE.

51. METHODE ET BUT RECHERCHE. MODELE UTILISE.

Nous sommes partis du modèle représenté dans la figure n° 8.5 ci-après qui schématise les principales transformations décrites dans les chapitres précédents. Nous voyons que les 2 composantes essentielles du matériau initial participent chacune pour leur part à la constitution de la fraction fine résiduelle. Il s'agit donc de calculer l'ampleur des pertes qui se produisent au cours de ces transformations (dissolution des calcaires et désagrégation des cristallins), afin de suivre comment évolue dans l'absolu la fraction terre fine au cours de la progression des processus de pédogénèse.

Fig. 8 - 5

MODÈLE SIMPLIFIÉ D'ÉVOLUTION
UTILISÉ POUR LE CALCUL DES PERTES



a) - Principes et bases de calculs.

Matériau initial : Pour 100 de matériau initial, nous connaissons les teneurs respectives en éléments grossiers et en terre fine.

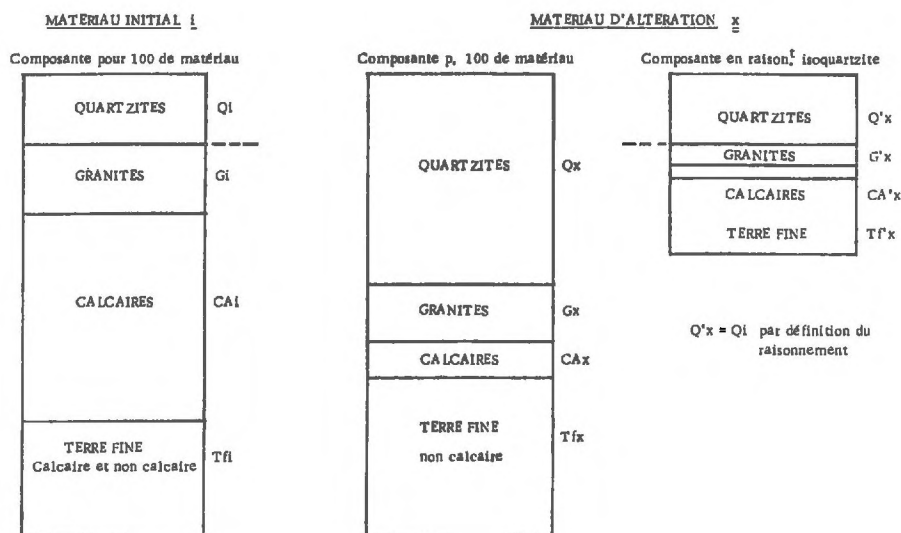
- Pour les éléments grossiers, nous avons déterminé par comptage le poids de chacun des composants pétrographiques principaux, soit :

Q_i = poids de quartzites dans 100 de matériau mère initial
 G_i = poids de granite dans 100 de matériau mère initial
 CA_i = poids de calcaires dans 100 de matériau mère initial

- Pour la terre fine (Tfi), nous connaissons également la proportion respective de sables (Si), Limon (Li) et d'argile (Agi).

Matériau d'altération : Pour chaque horizon x des stades évolutifs principaux, nous avons aussi mesuré les teneurs Qx en quartzites, Gx en granites, CAx en calcaires et enfin les teneurs Tfx en terre fine ainsi que les différentes fractions constitutives de cette terre fine. De ces données de terrain, nous pouvons facilement déduire par le calcul les teneurs Q'x, G'x, CA'x et Tf'x de chacun des éléments rapportés à une teneur en quartzite égale à celle existant dans la roche-mère initiale, c'est à dire telle que Q'x = Qi . Les résultats de ces calculs en "raisonnement isoquartzite" sont rassemblés dans la figure 8.1 déjà citée.

b) - Types de calculs effectués : ils sont schématisés ci-dessous.



D'après le modèle présenté plus haut, nous pouvons écrire la relation générale qui suit :

$$\begin{aligned} \text{Terre fine dans horizon } x &= \text{Terre fine initiale} \\ &+ \text{Terre fine fabriquée} \\ &- \text{Pertes dans horizon } x \end{aligned}$$

$\begin{aligned} \text{Terre fine dans horizon } x &= \text{Terre fine initiale} \\ &+ \text{Terre fine issue des granites} \\ &+ \text{Terre fine issue des calcaires} \\ &- \text{Pertes dans horizon } x \end{aligned} \quad (I)$
--

*

Si nous appelons respectivement α_x et δ_x le coefficient de désagrégation des granites et le coefficient δ_x de dissolution des calcaires entre l'horizon x et le matériau initial i, grâce aux comptages effectués, nous pouvons calculer ces 2 coefficients. Nous avons en effet :

$$\alpha_x = \frac{Gi - G'x}{Gi} \quad \text{et} \quad \delta_x = \frac{CAi - CA'x}{CAi}$$

* Ceci suppose, en lère approximation que chaque horizon fonctionne de façon indépendante c'est à dire qu'il n'y a ni apports extérieurs ni apports des horizons supérieurs.

Il vient alors :

- Terre fine issue des granites = $K_1 \cdot \text{granites disparus} = K_1 \cdot \alpha_x \cdot G_i$
 K_1 étant le coefficient de transformation des granites en terre fine entre le matériau i et l'horizon x
- T. fine issue des calcaires = $K_2 \cdot \text{calcaires dissous} = K_2 \cdot \delta_x \cdot CA_i$
 K_2 étant le coefficient de transformation des calcaires en terre fine entre les mêmes matériaux.

La relation (I) peut alors s'écrire :

$$Tf'_x = Tfi + K_1 \cdot \alpha_x \cdot G_i + K_2 \cdot \delta_x \cdot CA_i - \text{Pertes de terre fine dans } x \quad (II)$$

et nous pouvons donc évaluer les pertes absolues en terre fine d'après la relation :

$$\begin{aligned} \text{Pertes absolues de terre fine (en poids)} &= T. \text{ fine initiale} + T. \text{ fine fabriquée} \\ &\quad - T. \text{ fine résiduelle dans hz. } x \\ &= Tf_i + K_1 \cdot \alpha_x \cdot G_i + K_2 \cdot \delta_x \cdot CA_i - Tf'_x \end{aligned}$$

Mais, au lieu de raisonner en poids ou en valeurs absolues, il est plus commode d'utiliser un coefficient de pertes en terre fine correspondant aux pertes relatives en terre fine transformables en pour cent; ceci permet des comparaisons plus commodes entre les différents stades évolutifs et permet aussi de se référer à la roche-mère sous-jacente. Ce coefficient β_{tfx} se définit ainsi comme le coefficient de pertes ou de gains de matière entre le matériau i et l'horizon x par transfert en solution et par transfert solide (entraînement vertical ou latéral de particules lors de la formation du sol) et nous pouvons écrire :

$$\beta_{tfx} = \frac{\text{Pertes absolues en terre fine}}{T. \text{ fine initiale} + T. \text{ fine fabriquée}}$$

La relation II peut alors s'écrire :

$$Tf'_x = Tfi + K_1 \cdot \alpha_x \cdot G_i + K_2 \cdot \delta_x \cdot CA_i (1 - \beta_{tfx}) \quad (III)$$

Pour déterminer β_{tfx} sans ambiguïté, il faudrait connaître K_1 et K_2 . Or, par définition K_1 et K_2 sont tous 2 compris entre les bornes 0 et 1. Par suite, nous pouvons déjà déterminer une première fourchette des pertes ou des gains c'est à dire les pertes maximum ou minimum possibles en affectant à ces 2 coefficients leurs valeurs extrêmes (hypothèse haute et hypothèse basse). Enfin, nous pouvons également faire un troisième type d'hypothèse dans lequel nous essayons d'évaluer les valeurs plus probables de K_1 et K_2 , en tenant compte de la composition réelle des granites et des calcaires présents dans le matériau initial; ce qui nous amène à calculer les pertes ou gains moyens envisageables. Ces types de calculs et les approximations effectuées sont détaillés dans l'exemple qui suit.

52. DEVELOPPEMENT DES CALCULS SUR UN EXEMPLE : CAS DU STADE 1.

C'est le stade d'évolution n° 1 qui nous servira d'exemple.

521. Bases de calculs.

Les compositions pétrographiques des éléments grossiers et les compositions élémentaires de la terre fine pour chaque horizon sont données dans les tableaux 8.4.

Tabl. 8 - 4

PRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
CAS DU STADE N° 1

a) - Résultats bruts

	% Eléments grossiers caillouteux				% Terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sable %	limon %	argile %
Mat. mère	82,5	14,8	14,0	53,7	3,5	14	14,4	2,6	0,5
Horizon B	63,8	41,2	13,6	9,0	0	36,2	23,5	7,25	5,4
Horizon A	54,6	44,5	10,1	0	0	45,4	27,3	13,6	4,5

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fraction de terre fine		
					sables	limons	argile
Mat. mère	14,8	14,0	53,7	17,5	14,4	2,6	0,5
Horizon B	14,8	4,9	3,2	13,0	8,4	2,6	1,94
Horizon A	14,8	3,4	0	15,1	9,1	4,5	1,5

522. Calculs des transferts de terre fine.

a) - Cas de l'horizon A.

A partir des données précédentes, l'équation (III) devient :

$$13 = (17,5 + K_1 \cdot \alpha_A \cdot 14 + K_2 \cdot \delta_A \cdot 53,7) (1 - \beta_{tfA})$$

or : $\alpha_A = \frac{14 - 3,4}{14} = 0,76$ et $\delta_A = \frac{53,7}{53,7} = 1$ d'ou il vient :

$$13 = (17,5 + K_1 \cdot 10,64 + K_2 \cdot 53,7) (1 - \beta \text{tf}_A)$$

Comme K_1 et K_2 sont compris entre zéro et un par définition, l'équation n'a de solution que pour $\beta \text{tf}_A \neq 0$. On met ainsi en évidence des pertes de terre fine dans l'horizon A des stades n° 1. Nous pouvons essayer de cerner ces pertes à l'intérieur des fourchettes suivantes :

- Première hypothèse : pertes minimales possibles de terre fine

$K_1 = 0$ } dans cette hypothèse, ni les granites, ni les calcaires ne
 $K_2 = 0$ } participeraient à la fabrication de terre fine

C'est une hypothèse évidemment absurde, mais que nous faisons ici pour se fixer la base minimum de pertes. L'équation donne alors :

$\beta \text{tf}_A = 0,25$ au minimum, c'est à dire que 25 % de la terre fine initiale serait perdue en A lors de la formation du sol.

- Deuxième hypothèse : pertes maximum possibles de terre fine

$K_1 = 1$ Les granites participent entièrement à la fabrication de la terre fine sans perte en solution.

$K_2 \neq 0,30$ Les calcaires participent pour 30 % à la fabrication de la terre fine. Ce chiffre a été retenu en tenant compte des taux maximum moyens obtenus pour les résidus de décarbonatation des divers types de calcaires présents au sein du matériau alluvial.

On obtient alors : $\beta \text{tf}_A = 0,72$ au maximum, c'est à dire que 72 % de la terre fine globale (terre fine initiale + terre fine produite) se perd en A lors de la formation du sol.

- Troisième hypothèse : pertes moyennes de terre fine envisageables

Entre les deux hypothèses précédentes qui fixent une fourchette inférieure et une fourchette supérieure des pertes de terre fine, on peut raisonnablement faire une hypothèse plus probable pour les coefficients de transformation en terre fine des granites et des calcaires.

Par exemple, pour les granites du type Pelvoux, on peut avec F. SEDDOH (1972) admettre au maximum des pertes voisines de 80 % pour les plagioclases lors de la phase d'arénisation; et, en se basant sur une teneur moyenne en plagioclases de l'ordre de 30 %, d'après les comptages effectués sur quelques lames minces, on obtiendrait des pertes globales possibles en solution de l'ordre de $0,80 \times 0,3 = 0,24$ soit 24 %. Par suite, cela donnerait un coefficient moyen K_1 de transformation des granites en arène voisin de 0,75 d'où $K_1 = 0,75$.

. Pour les calcaires également, si l'on tient compte des valeurs moyennes obtenues pour les résidus de décarbonatation des calcaires présents dans les matériaux alluviaux rhodaniens, nous situons le plus souvent en dessous ou autour de 5 à 10 % ; donc en prenant 10 % , nous choisissons la valeur la plus élevée d'où

$$\delta A = 0,10$$

Avec ces hypothèses, l'équation (III) devient :

$$13,5 = (17,5 + 0,75 \cdot 10,64 + 53,7 \cdot 0,10) (1 - \beta_{tf_A})$$

$\beta_{tf_A} = 0,58$ coefficient moyen de pertes pour la terre fine de A. Les pertes moyennes envisageables pour la terre fine de l'horizon A sont donc de 58 % .

b) - Cas de l'horizon B.

Dans le cas de cet horizon B, les valeurs de α_B et δ_B deviennent :

$$\alpha_B = 0,65 \quad \text{et} \quad \delta_B = 0,95$$

et en portant les valeurs de G_B et CA_B dans l'équation (II), nous obtenons :

$$15,1 = (17,5 + K_1 \cdot 9,1 + K_2 \cdot 51) (1 - \beta_{tf_B})$$

Comme K_1 et K_2 sont toujours compris entre zéro et un, cette équation ne peut avoir de solutions que pour $\beta_{tf_B} \neq 0$, c'est à dire que nous mettons encore en évidence des pertes de terre fine au sein de l'horizon B des stades 1. De la même façon que précédemment, nous pouvons essayer de chiffrer des pertes minimales, maximales et moyennes en conservant les mêmes éléments d'hypothèses. D'où il vient :

- Pertes minimales possibles de terre fine en B des sols würmiens = 14 %
- Pertes maximales possibles de terre fine en B des sols würmiens = 65 %
- Pertes moyennes envisageables pour la terre fine dans l'horizon B des sols würmiens = 48 %

523. Calculs des transferts au niveau des composantes élémentaires de la terre fine.

a) - Cas des sables.

De même que pour la terre fine globale, nous pouvons écrire pour les fractions sableuses une équation homologue de l'équation (II) qui est du type :

$$\text{sable dans Hz, } x = (\text{sabl. initiaux} + \text{sabl. issus des granites} + \text{sabl. issus des calcaires}) (1 - \beta_s)$$

$$\text{ou : } S'x = (S_i + K_1 \cdot \delta_x \cdot G_i + K_2 \cdot \delta_x \cdot CA_i) (1 - \beta_s)$$

β_s étant le coefficient de perte ou gain en sable entre le matériau x et matériau i

. Pour l'horizon A, en se référant aux tableaux précédents (p.192) cette équation devient :

$$9,1 = (14,4 + K_{1s} \cdot 0,76 \cdot 14 + K_{2s} \cdot 1 \cdot 53,7) (1 - \beta_s)$$

Compte-tenu des fourchettes de valeurs possibles pour K_1 et K_2 , nous sommes obligés d'admettre pour β_s des valeurs différentes de zéro et on met donc en évidence des pertes de sables.

Les pertes moyennes envisageables peuvent alors se calculer en faisant un certain nombre d'hypothèses plausibles pour les valeurs de K_1 et de K_2 , compte-tenu de notre connaissance de la contribution des granites et des calcaires présents dans les matériaux initiaux.

Pour les granites du type Pelvoux qui sont largement répandus dans nos matériaux, d'après nos résultats et ceux de F. SEDDOH cités plus haut, nous pouvons estimer que leur résidu total se situe en moyenne autour de 70 à 80 % après arénisation. Nous pouvons également admettre en première approximation que seuls le résidu quartzeux se transforme réellement en sable; par suite il vient comme coefficient de transformation des granites en sable $(K_1)_s = 0,35$.

Pour les calcaires, l'éventail de variations dans les teneurs en résidus totaux est bien plus considérable. Mais il semble peu vraisemblable que les calcaires les plus tendres et qui sont également ceux qui ont le plus fort résidu (types calcaires marneux ou marno-calcaires), puissent résister longtemps aux phénomènes de transports alluviaux. De fait, les calcaires que l'on observe au sein des matériaux-mères sont bien plus souvent des calcaires durs ou des calcaires siliceux à grains très fins et à taux de résidus assez faibles, situés généralement autour de 5 %. Sur ce résidu total, nous pouvons estimer qu'en moyenne seul 1,5 % correspondant à la fraction quartzeuse peut donner des sables; ce qui donne un coefficient moyen de transformation des calcaires préalpins en sables de $(K_2)_s = 0,015$.

Dans l'équation ci-dessus, en partant des diverses valeurs, nous obtenons alors pour l'horizon A un coefficient de pertes en sables :

$\beta_s = 0,52$. Ce qui revient à dire que 52 % des sables totaux se perdent en moyenne au sein de l'horizon A du stade I.

. Pour l'horizon B, en faisant un calcul du même type, nous obtenons : $\beta_s = 0,54$. Les pertes moyennes en sables totaux au sein de l'horizon B se situent donc autour de 54 %.

b) - Cas des limons.

Nous avons encore une relation générale du type :

Limon dans Hor. x = (limons initiaux + limons issus des granites + limons issus des calcaires) $(1 - \beta_e)$

$$\text{ou encore : } L' = (Li + K_{1e} \cdot \alpha_x \cdot Gi + K_{2e} \cdot \delta_x \cdot CAi) (1 - \beta_e)$$

β_e étant le coefficient de pertes ou gains en limon entre le matériau x et le matériau i

. Pour l'horizon A, on peut dire :

$$4,5 = 2,6 + (K_1)_\ell \cdot 10,64 + (K_2)_\ell \cdot 53,7 \quad (1 - \beta_\ell)$$

Nous voyons immédiatement que suivant les valeurs de K_1 et K_2 , l'équation peut avoir une solution sans que β soit différent de zéro, c'est à dire que les pertes en limons ne sont pas nécessaires à envisager.

Pour rechercher une valeur moyenne des transferts possibles (gains ou pertes éventuels), nous pouvons essayer de rechercher une valeur moyenne des coefficients $(K_1)_\ell$ et $(K_2)_\ell$

Pour les granites, sur les 70 % de résidus moyens, nous pouvons admettre que 10 % de résidus qui sont du type micas blancs (muscovite), quartz fin ou feldspaths peu altérables donnent des limons, ce qui donne pour le coefficient :

$$(K_1)_\ell = 0,10$$

Pour les calcaires, sur les 5 % de résidus totaux, nous pouvons considérer que 1 % du résidu se situe dans la fraction "limons". Ce qui donne pour le coefficient K_2 une valeur de : $(K_2)_\ell = 0,01$

Dans l'équation ci-dessus, on arrive alors à : $\beta_\ell = - 0,08$

Le coefficient β_ℓ étant négatif, cela indique qu'il n'y a pas de pertes, mais un gain de 8 % en limons totaux dans l'horizon A du stade 1.

. Pour l'horizon B, l'équation (II) s'écrit :

$$2,6 = (2,6 + 0,10 \cdot 9,1 + 0,01 \cdot 53,7) (1 - \beta_\ell)$$

d'où $\beta_\ell = 0,36$. Il y a donc des pertes en limons envisageables au niveau de l'horizon B du stade 1 soit 36 % de pertes en limons totaux. Nous observons donc une disjonction entre les horizons A et les horizons B de ce premier stade en ce qui concerne le comportement des limons vis à vis des transferts possibles.

c) - Cas de l'argile.

On a encore une relation du type :

Argile dans Hor. x = (argile initiale + argile issue des granites + argile issue des calcaires) $(1 - \beta_{arg.})$

$(\beta_{arg.})$ étant le coefficient de pertes ou gains en argile entre le matériau initial i et l'horizon x

$$A'_x = (A_i + K_{1arg.} \cdot \alpha_x \cdot G_i + K_{2arg.} \cdot \delta_x \cdot CA_i) (1 - \beta_{arg.})$$

En portant dans cette équation les valeurs connues ou calculées, on obtient :

. Pour l'horizon A :

$$1,50 = (0,5 + K_1 \text{ arg. } 0,76 \cdot 14 + K_2 \text{ arg. } 1 \cdot 53,7) (1 - \beta_{arg.})$$

$$1,50 = (0,5 + K_1 \text{ arg. } 10,64 + K_2 \text{ arg. } 53,7) (1 - \beta_{arg.})$$

Nous voyons que, suivant les valeurs de K_1 et K_2 , il est possible d'envisager une solution pour laquelle $\beta_{arg.}$ soit nulle, c'est à dire qu'on ne peut dire à priori s'il y a ou non pertes d'argile en A.

Nous pouvons essayer d'évaluer les transferts moyens d'argile en donnant à K_1 arg. et K_2 arg. des valeurs compatibles avec les caractéristiques des matériaux mères.

Pour les granites de type Pelvoux, en se basant sur les teneurs moyennes en feldspaths et en ferro-magnésiens et sur les pertes moyennes déjà citées plus haut, lors de l'arénisation, nous pouvons estimer que sur 70 % de résidus totaux moyens, 25 % se transforme en résidus silicatés argileux; ce qui donne un coefficient moyen de transformation des granites en argile K_1 arg. = 0,25.

Pour la moyenne des calcaires, il est raisonnable de penser que sur les 5 % de résidus totaux moyens, la moitié soit 2,5 % donne un résidu silicaté à dominante argileuse, ce qui conduit pour le coefficient moyen de transformation des calcaires en argile : K_2 arg. = 0,025

On obtient alors : $\beta_{arg.} = 0,66$

Les pertes moyennes envisageables en argile dans l'horizon A du stade 1 s'élèveraient à 66 % de l'argile totale.

Pour l'horizon B, nous obtenons à partir des éléments concernant cet horizon : $\beta_{arg.} = 0,53$. Les pertes moyennes envisageables en argile dans l'horizon B du stade 1 s'élèveraient ainsi à 53 % de l'argile totale.

524. Récapitulation des résultats des transferts pour le stade n° 1 (würm).
Transferts de terre fine globale (en p.cent de terre fine totale).

Tabl. 8 - 4 (suite)

PRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
CAS DU STADE N° 1

- Transferts de terre fine globale (en p. cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A	- 25	- 72	- 58
Horizon B	- 14	- 65	- 48

- Transferts moyens envisageables par fractions granulométriques

	Sables	Limons	Argile
Horizon A	- 52	+ 8	- 66
Horizon B	- 54	- 36	- 53

Tabl. 8 - 5

**TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 2**

a) - Résultats bruts

	% Eléments grossiers caillouteux				% Terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sable %	limon %	argile %
Mat. mère	86,5	21,6	13,0	51,9	3,5	10	10,7	2,1	0,7
Horizon B	73,9	64,0	9,9	0	0	26,1	11,7	6,5	7,8
Horizon A	69,1	66,2	2,9	0	0	30,9	15,4	10,8	4,8

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fraction de terre fine		
					sables	limons	argile
Mat. mère	21,6	13,0	51,9	13,5	10,7	2,1	0,7
Horizon B	21,6	3,3	0	8,8	3,95	2,2	2,6
Horizon A	21,6	0,95	0	10,1	5,0	3,5	1,6

c) - Transferts de terre fine globale (en p. cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A	- 25	- 76	- 63
Horizon B	- 35	- 78	- 66

d) - Transferts moyens envisageables par fractions granulométriques

	Sables	Limons	Argile
Horizon A	- 68	- 9	- 68
Horizon B	- 73	- 38	- 41

TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 3

a) - Résultats bruts

	% Eléments grossiers caillouteux				% Terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sable %	limon %	argile %
Mat. mère	84,7	18,6	6,8	59,3	4	11,3	13,8	0,75	0,75
Horizon B (base)	76,0	72,0	4,0	0	0	24,0	6,0	4,8	13,2
Horizon A ₂	86,0	86	0	0	0	14,0	4,5	6,0	3,5
Horizon A	69,6	69,6	0	0	0	30,4	13,1	13,7	3,7

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fraction de terre fine		
					sablés	limons	argile
Mat. mère	18,6	6,8	59,3	15,3	13,8	0,75	0,75
Horizon B (base)	18,6	1,0	0	6,2	1,55	1,25	3,4
Horizon A ₂	18,6	0	0	4,0	1,3	1,7	1,0
Horizon A	18,6	0	0	8,1	3,5	3,6	1,0

c) - Transferts de terre fine globale (en p. cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A	- 47	- 81	- 69
Horizon A ₂	- 74	- 90	- 85
Horizon B	- 59	- 85	- 75

d) - Transferts moyens envisageables par fractions granulométriques

	sables	limon	argile
Horizon A	- 79	+ 78	- 74
Horizon A ₂	- 93	- 16	- 75
Horizon B	- 91	- 35	- 8

Tabl. 8 - 7

**TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 4 A COMPOSANTE RHODANIENNE TYPIQUE**

a) - Résultats bruts

	% Eléments grossiers caillouteux				% Terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sable %	limon %	argile %
Mat. mère	85	18,7	6,8	59,5	2,5	12,5	12,7	1,8	0,5
Milieu B	64,9	60,9	4	0	0	35,1	13,3	7,7	14,1
A ₂	60,6	60,6	0	0	0	39,4	24,0	11,8	3,5
A naturel	72,5	72,5	0	0	0	27,5	15,4	9,1	3,0
A cultivé irrigué	89	89	0	0	0	11,0	6,6	3,3	1,1

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fraction de terre fine		
					sables	limons	argile
Mat. mère	18,7	6,8	59,5	15,0	12,7	1,8	0,5
Milieu B	18,7	1,2	0	10,8	4,1	2,4	4,3
A ₂	18,7	0	0	12,2	7,5	3,6	1,1
A naturel	18,7	0	0	7,1	4,0	2,3	0,8
A cultivé irrigué	18,7	0	0	2,3	1,4	0,7	0,2

c) - Transferts de terre fine globale (en pour cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A cultivé	- 85	- 94	- 91
Horizon B naturel	- 50	- 80	- 73
Horizon A ₂	- 19	- 69	- 53
Horizon B	- 28	- 72	- 57

d) - Transferts moyens envisageables par fraction granulométrique

	Sables	Limons	Argile
Horizon A cultivé	- 91	- 77	- 95
Horizon A naturel	- 75	- 25	- 78
Horizon A ₂	- 53	+ 17	- 76
Horizon B	- 73	- 19	+ 25

Tabl. 8 - 8

**TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 4 A COMPOSANTE SILICEUSE (cas de Louze)**

a) - Résultats bruts

	% d'éléments grossiers caillouteux				% de terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sables %	limons %	argile %
Mat. mère	94	42,3	14,1	37,6	2	4	4,5	1,2	0,3
B ₂ sommet peu argilifié	86	86	0	0	0	14	5,6	4,9	3,5
AB à graviers	91	91	0	0	0	9	5,4	2,7	0,9
A ₁	59	59	0	0	0	41	23	13,5	4,5

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fraction de terre fine		
					sables	limons	argile
Mat. mère	42,3	14,1	37,6	6	4,5	1,2	0,3
B ₂ sommet	42,3	0	0	6,9	2,75	2,45	1,7
AB à graviers	42,3	0	0	4,7	2,5	1,25	0,4
A ₁	42,3	0	0	29,4	16,5	9,7	3,2

c) - Transferts de terre fine globale (en pour cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A	+ 390	- 6	+ 66
Horizon AB	- 21	- 85	- 73
Horizon B ₂	+ 15	- 78	- 61

d) - Transferts moyens envisageables par fractions granulométriques

	sables	limons	argile
Horizon A	+ 67	+ 226	- 35
Horizon AB	- 75	- 59	- 92
Horizon B ₂	- 72	- 20	- 66

Tabl. 8 - 9

TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 5 (secteur amont : vieilles surfaces plio - villafranchiennes)

a) - Résultats bruts

	% Eléments grossiers caillouteux				% Terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sables %	limon %	argile %
Mat. mère	81,5	8,1	24,5	48,9	4	14,5	12	5,5	1
B ₂ milieu	53	50	3	0	0	47	11,5	16,5	19
B ₂ sommet	46	56	0	0	0	54	15,1	16,0	22,7
B ₁ B ₂	38	38	0	0	0	62	17,4	13,0	31,6
A ₂ AB	80,5	80,5	0	0	0	19,5	8,8	6,4	4,3

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fractions de terre fine		
					sables	limons	argile
Mat. mère	8,1	24,5	48,9	18,5	12	5,5	1
B ₂ milieu	8,1	0,5	0	7,7	1,9	2,7	3,1
B ₂ sommet	8,1	0	0	7,8	2,2	2,3	3,3
B ₁ B ₂	8,1	0	0	13,2	3,7	2,8	6,7
A ₂ AB	8,1	0	0	2	0,9	0,6	0,4

c) - Transferts de terre fine globale (en pour cent de terre fine totale)

	Transferts possibles		Transferts moyens envisageables
	minimum	maximum	
Horizon A ₂ AB	- 89	- 96	- 95
B ₁ B ₂	- 29	- 77	- 68
B ₂ som met	- 58	- 86	- 81
B ₂ milieu	- 58	- 86	- 81

d) - Transferts moyens envisageables par fraction granulométrique

	sables	limons	argile
Horizon A ₂ AB	- 96	- 93	- 95
B ₁ B ₂	- 82	- 67	- 20
B ₂ sommet	- 90	- 73	- 60
B ₂ milieu	- 90	- 68	- 62

Tabl. 8 - 10

TRANSFERTS GLOBAUX DE TERRE FINE
STADE N° 5 (secteur aval : bordures de plateau et sommet de pente)

a) - Résultats bruts

	% d'éléments grossiers caillouteux				% de terre fine				
	Teneur globale %	% par classes pétrographiques			Teneur globale		Teneur par fraction		
		siliceux %	granites %	calcaires %	calc. %	non calc. %	sables %	limons %	argile %
Mat. mère	82,5	8,25	24,75	49,5	3,5	14,5	15,7	0,9	0,9
Horizon B bariolé	72,3	70	3	0	0	27,7	6,9	5,5	15,2
Ap colluvial	62	62	0	0	0	38	15,2	13,3	9,5

b) - Résultats isoquartzite

	cx. siliceux	cx. granites	cx. calcaires	Terre fine globale	Fractions sables	de terre limons	fine argile
Mat. mère	8,25	24,75	49,5	17,5	15,7	0,9	0,9
Horizon B bariolé	8,25	0,4	0	3,3	0,8	0,6	1,8
Ap colluvial	8,25	0	0	5,0	2,0	1,8	1,2

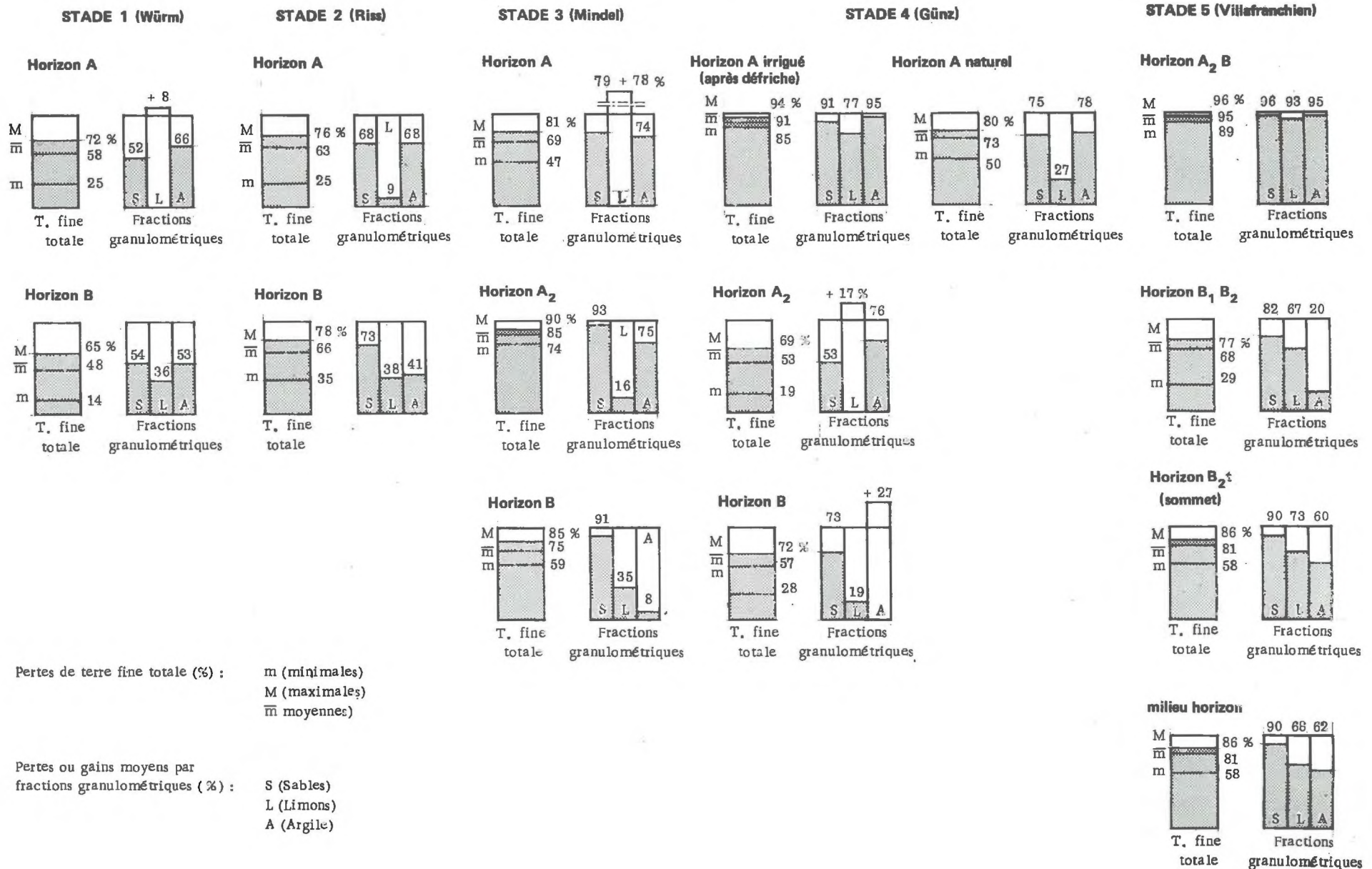
c) - Transferts de terre fine globale (en pour cent de terre fine totale)

	Transferts minimum	possibles maximum	Transferts moyens envisageables
Horizon Ap	- 71	- 91	- 86
Horizon B ₂	- 81	- 94	- 91

d) - Transferts moyens envisageables par fractions granulométriques

	sables	limon	argile
Horizon Ap	- 92	- 53	- 35
Horizon B ₂	- 97	- 84	- 78

PRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES PERTES DE TERRE FINE LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS
DES TERRASSES RHODANIENNES (d'après raisonnement isoquartzite)



53. APPLICATION GENERALE A L'ENSEMBLE DES SOLS DE LA SEQUENCE ETUDIEE.

Partant de cet exemple du stade 1 que nous venons de détailler et sans redonner l'ensemble des calculs, les tableaux regroupés dans les pages précédentes présentent les données et les résultats intéressant les autres stades évolutifs étudiés (tabl. 8.5 à 8.10). Chaque tableau comprend :

- a - Les résultats bruts des mesures et des caractérisations obtenues sur le terrain (cf. fig. 8.1) -
- b - Les résultats calculés en raisonnement isoquartzite -
- c - Un aperçu des transferts (pertes ou gains) qui peuvent se produire au niveau de la terre fine globale. Trois résultats sont indiqués qui représentent les transferts minimum, maximum et moyen calculés sur la base des hypothèses explicitées ci-dessus.
- d - Les transferts moyens envisageables pour chacune des principales fractions composantes de la terre fine : sables, limons et argiles.

Ces données sont synthétisées dans la figure n° 8.6 .

6 - CONCLUSIONS D'ENSEMBLE CONCERNANT LES PERTES ET LES TRANSFERTS DE TERRE FINE.

A partir des résultats précédents, nous pouvons tirer un certain nombre d'enseignements qui peuvent avoir valeur générale. Il y a tout d'abord lieu d'insister sur le rôle important de la composition pétrographique originelle de la roche-mère, car; à type d'altération égale, elle oriente de façon fondamentale le sens de certains transferts au sein de la terre fine.

Mais, dans un premier temps, nous raisonnerons pour les matériaux à "composante rhodanienne" moyenne. Nous essayerons ensuite de voir comment peuvent évoluer les transferts de terre fine, lorsque les conditions de milieu changent (composition originelle des matériaux, position géomorphologique, action anthropique).

61. EVOLUTION DE LA TERRE FINE DANS LES SOLS DEVELOPPES SUR MATERIAU A COMPOSANTE RHODANIEENNE MOYENNE.

Sur un plan général, les résultats des calculs précédents montrent :

- a - L'existence de pertes importantes pour l'ensemble de la fraction "terre fine" au cours du fonctionnement des sols. C'est un phénomène capital dans la dynamique de fonctionnement de ces sols en fonction du temps et notamment, l'approfondissement considérable des profils au fur et à mesure que progressent les phénomènes d'altération rubéfiante.
- b - Qu'une quantification même approximative de ces pertes est possible. Malgré le caractère relatif de ces calculs, leur valeur comparative reste indéniable. Ce qui permet de suivre la progression des processus d'altération dans le type de matériau étudié.

Fig. 8 - 7

ÉVOLUTION DES PERTES OU GAINS MOYENS
PAR FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES ET PAR HORIZONS

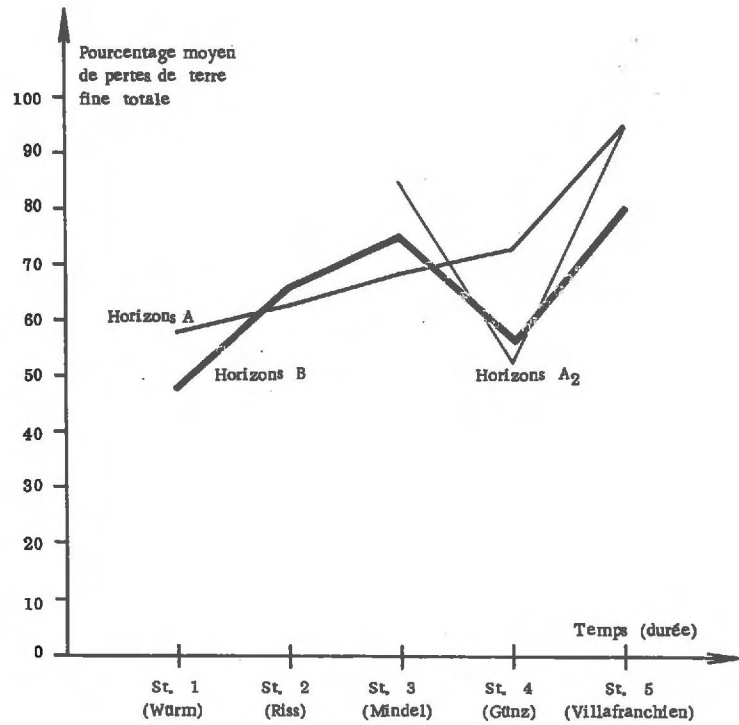
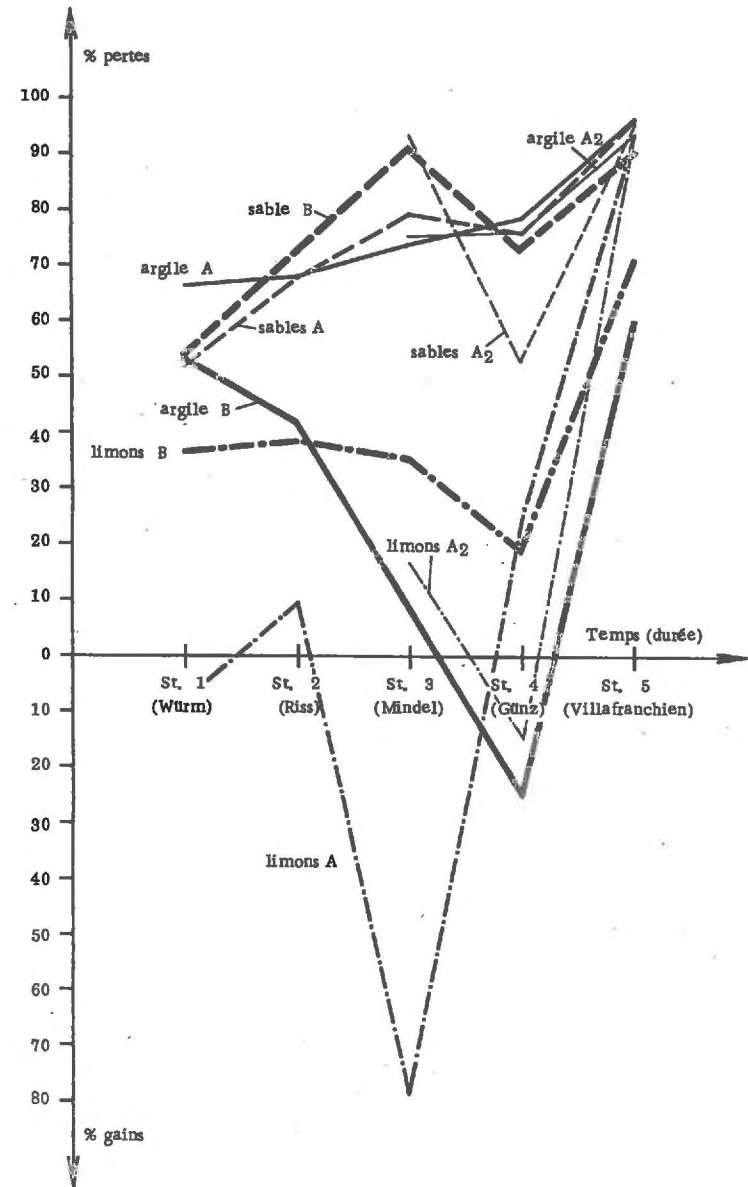


Fig. 8 - 8

ÉVOLUTION DES PERTES MOYENNES DE TERRE FINE TOTALE
(d'après raisonnement isoquartzite)



c - Qu'au plan des transferts possibles, des différences de comportements - très marquées peuvent être mises en évidence entre les principales composantes de la terre fine : sables, limons et argile.

611. Analyse des pertes en terre fine globale.

Les figures 8.6 et 8.7 rassemblent de manière synthétique les résultats des divers calculs effectués. Elles montrent bien que les pertes de terre fine existent et sont importantes. Elles augmentent de façon considérable depuis le stade 1 (pertes moyennes égales à 50-60 % de la terre fine totale) jusqu'au stade 5, où elles peuvent atteindre et même dépasser 90 % de la terre fine globale. Ces pertes vont dans le même sens pour les horizons A et pour les horizons B.

- Dans le détail, on voit que les pertes des horizons de surface A augmentent régulièrement du stade 1 au stade 5, avec une légère stabilisation entre les stades mindéliens et gunziens.

- Au niveau des horizons A₂, qui s'individualisent justement à partir du stade 3, les pertes se situent tout de suite à un niveau très élevé, alors qu'elles se stabilisent et même diminuent au stade 4, car dans la terre fine ne subsistent plus alors que des fractions résiduelles à composante siliceuse résistant assez bien aux conditions d'altération qui ont pu régner à ces périodes. Par contre, les pertes repartent au stade 5; ce qui suppose au moins l'intervention d'actions mécaniques aux dépens de ces fractions à caractère uniquement siliceux. Nous verrons plus loin, si ces pertes ont simplement une origine mécanique du type fractionnement ou désagrégation ou si elles s'accompagnent également de pertes au plan chimique (pertes en SiO₂ par exemple).

- Pour les pertes dans les horizons B, nous notons la même évolution globale que dans les horizons de surface; mais une diminution apparaît entre le stade 3 et le stade 4 qui s'explique par le colmatage de ces horizons. Nous assistons à un redémarrage des pertes au stade 5, qui mettent nécessairement en oeuvre un changement d'agressivité dans le type d'altération, puisqu'elles supposent l'intervention de processus de dégradation acide des argiles dans ces horizons colmatés.

Il serait intéressant de pouvoir comparer l'ampleur relative des pertes en A par rapport à celles de B. Mais ce type d'interprétation se heurte au mode de raisonnement et de calculs choisis. En effet, nous avons supposé pour faciliter les calculs que les horizons fonctionnaient de façon indépendante les uns des autres. Ce qui ne change d'ailleurs en rien le bilan global des pertes au niveau de l'ensemble du sol. Mais, dans ces conditions, il est bien évident que les pertes de l'horizon B sont systématiquement sous-estimées, puisqu'il faudrait leur ajouter les pertes provenant de l'horizon A. En première approximation, nous pouvons penser que ces pertes sont le résultat d'une action à dynamique verticale. Ce qui est raisonnable et certainement le cas (compte-tenu de la très forte perméabilité originelle du matériau caillouteux) pour les trois premiers stades évolutifs. Cela devient beaucoup moins évident pour les deux premiers stades évolutifs pour qui une dynamique d'entraînement latéral paraît certaine, les horizons de surface surmontant alors des horizons B colmatés et pratiquement imperméables.

612. Analyse des pertes par composantes élémentaires de la terre fine.

Le niveau et l'évolution des "pertes" sont très différents pour les sables, les limons et l'argile. La figure 8.8 résume schématiquement les variations observées. Nous pouvons dire que :

a) - Les pertes des fractions sableuses sont toujours plus importantes que celles des autres fractions. Elles restent assez comparables au sein des horizons de surface et des horizons B.

Ces pertes vont en augmentant régulièrement depuis le stade 1 jusqu'au stade 3, à partir duquel on observe soit un palier (horizon A), soit une diminution de leur importance (horizon B). Il ne s'agit pas de pertes réelles, mais il serait préférable de parler de transferts ou de transformations des fractions sableuses vers les fractions plus fines, soit limons, soit argile.

b) - Les pertes en limons sont bien moindres et assez différentes selon les horizons.

Dans les horizons de surface, les pertes sont pratiquement nulles ou très faibles jusqu'au stade 4 et nous observons même un net enrichissement en cette fraction limoneuse dans le stade 3. Ce n'est que dans le stade 5 que les pertes en limons prennent réellement une importance. Ceci coïncide assez bien avec les observations morphologiques de terrain et les descriptions micromorphologiques effectuées sur les lames minces, et sur lesquelles nous avons déjà insisté plus haut.

Dans les horizons B, les pertes en fractions limoneuses sont généralement plus fortes qu'en surface et l'évolution est grossièrement parallèle à celle qui vient d'être décrite. Le niveau de ces pertes restant toujours largement inférieur à celles des sables.

c) - Pour les pertes en argile, il y a lieu de distinguer bien nettement deux ensembles (horizons A et B).

En surface, les pertes d'argile sont importantes et du même ordre de grandeur que celles des fractions sableuses. Elles suivent d'ailleurs une progression similaire et assez continue du stade 1 (65 % de pertes par rapport à l'argile totale) jusqu'au stade 5 (95 % de pertes par rapport à l'argile totale).

Dans les horizons B, les pertes en argile suivent une évolution inverse : elles diminuent régulièrement du stade 1 (50 % de pertes par rapport à l'argile totale) jusqu'au stade 4 (27 % de gains par rapport à l'argile totale). Il faut attendre les stades ultimes villafranchiens pour voir réapparaître des pertes importantes d'argile (60 % de pertes par rapport à l'argile totale).

62. EVOLUTION DE LA TERRE FINE DANS QUELQUES CAS PARTICULIERS.

621. Influence de la composante originelle : matériau à composante plus siliceuse.

On peut se demander quelle influence peut avoir une variation de la composition pétrographique du matériau originel sur l'évolution des transferts de terre fine. C'est ce que nous avons essayé de tester en étudiant l'exemple du stade 4 du plateau de Louze, où le matériau originel voit sa composition passer de 18 - 20 % d'éléments siliceux (comme dans les matériaux à composante rhodanienne) à plus de 42 % d'éléments siliceux (cf. tableau 8.8).

Dans ces conditions, nous pouvons nous rendre compte qu'au sein des horizons B, les pertes globales de terre fine évoluent peu et restent à peu près du même ordre de grandeur (aussi bien dans le sommet que dans le milieu des horizons B).

En revanche, dans les horizons de surface, nous observons une évolution totalement différente puisque les pertes de terre fine sont remplacées par des gains assez considérables. Si nous raisonnons en chiffre moyen, nous notons que ce sont les fractions limons et sables, pouvant provenir de la fragmentation des éléments siliceux excédentaires, qui contribuent pour une large part à cette accumulation résiduelle.

Là encore, si nous essayons de relier ces résultats aux observations de terrain, nous remarquons que, sur ce niveau morphologique du plateau de Louze, nous observons des placages peu épais et discontinus de sables limoneux quartzeux, dont la reprise éolienne paraît indéniable (aspects ronds mats des grains de sables) mais dont l'origine est plus discutée. Nous pouvons penser que les résidus siliceux provenant de l'altération en surface des sols eux-mêmes constituent pour une large part la source probable d'alimentation de ces "couvertures" sablo-limoneuses.

Mais l'intérêt de cet exemple réside surtout dans la mise en évidence du rôle capital de la composition originelle du matériau sur l'évolution même des transferts de terre fine. Nous avons vu qu'une variation même faible conduit à changer radicalement le sens du transfert (pertes remplacées par des gains), lorsque la composition du matériau originel devient simplement un peu plus riche en composants siliceux réputés plus stables.

Inversement, il est clair que si la composante des matériaux originels prend un caractère plus calcaire, les pertes vont augmenter de façon considérable par rapport à celles que nous avons pu mettre en évidence dans les calculs précédents.

622. Rôle possible de la situation morphologique.

Dans les calculs effectués ci-dessus, nous nous sommes efforcés de nous placer dans des situations aussi identiques que possible et aussi exemptes que possible de sources de pollutions, afin de ne pas compliquer le calcul des bilans. Pour cela, nous sommes restés dans des situations mor-

phologiques simples et représentatives (topographie plane, milieu de terrasse, loin des apports de piémont et loin des bordures de terrasses).

On peut se demander quelle serait l'influence d'un changement important de position morphologique sur l'évolution des transferts de terre fine. Pour essayer de tester ce genre d'effet, nous avons étudié sommairement l'exemple d'un stade villafranchien situé en bordure de plateau, où nous pouvions penser à priori que les possibilités d'exportations par drainage latéral sont nettement supérieures.

Les résultats obtenus montrent que (cf. tableau 8.10) :

- dans l'ensemble, les pertes ne sont pas fondamentalement différentes de celles observées en situations de plateau;
- s'il y a un effet, et il est minime, c'est plutôt au niveau de l'horizon B : les pertes en argile peuvent devenir légèrement supérieures;
- au sein de l'horizon de surface, nous constatons que l' "augmentation possible des pertes" par drainage latéral est largement compensé par les apports latéraux colluviaux.

623. Influence des actions anthropiques (ex. : défrichement, irrigation)

En zone de terrasses, lorsqu'on circule dans les secteurs cultivés, on est souvent étonné par la densité de la couverture caillouteuse superficielle. La question se pose de savoir dans quelle mesure les actions de l'homme du type : défrichement, mises en cultures par labour et défoncement, pratique des irrigations, ont contribué à jouer un rôle direct sur les transferts de terre fine dans les horizons de surface c'est à dire sur 30 cm.

C'est pour essayer de vérifier ces observations que nous avons effectué des mesures comparées sur un niveau ancien de terrasse (stade 4 de la terrasse de Trappistines de Montélimar) :

- en secteur cultivé et irrigué, mis en culture par défoncement depuis environ 15 à 20 ans,
- en secteur témoin naturel (garrigue de chênes verts).

Les résultats des mesures et les calculs montrent que (cf. tabl. 8.7, comparaison de l'horizon A naturel et de l'horizon A cultivé et irrigué) :

- les pertes de terre fine globale sont considérablement accrues dans les secteurs cultivés et irrigués, puisqu'elles sont de 25 % supérieures à celles qu'on observe en secteur naturel boisé;
- l'augmentation de ces pertes joue sur toutes les fractions granulométriques de la terre fine; mais c'est pour la fraction limoneuse que les répercussions sont les plus spectaculaires puisque les pertes en limons sont environ multipliées par trois, alors que les autres pertes en sables et en argile augmentent d'environ 20 % .

Fig. 8 - 11

**LES TRANSFERTS DE MASSE AU SEIN DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
D'APRÈS L'ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS GROSSIERS ET DE LA FRACTION FINE**

		PRINCIPAUX STADES ÉVOLUTIFS				
		STADE 1	STADE 2	STADE 3	STADE 4	STADE 5
ELEMENTS GROSSIERS	Cailloutis	Dissolution des calcaires complète en A, seulement partielle en B		Dissolution totale de l'ensemble des éléments calcaires dans les horizons A et les horizons B		
		Fragilisation des galets granitiques		Disparition progressive des galets granitiques par arénisation d'abord dans les horizons A puis dans les horizons B à des profondeurs croissantes		Epuisement total des granites jusqu'au sommet du B
		<u>Concentration des galets siliceux (quartzites + quartz + silex)</u>				
	en A	x 3 C	x 3,1 C	x 3,7 C	x 3,9 C	x 9,9 C
	en B	x 2,8 C	x 2,9 C	x 3,9 C	x 3,2 C	x 6,5 C
Graviers		Dans les horizons de surface A, <u>concentration généralisée des fractions graveleuses</u>				
		Passage d'une composante feldspathique et quartzitique à une composante essentiellement quartzitique				
		phase de désagrégation et de fragmentation progressive des graviers feldspathiques				
	en A	x 3,6 C	x 2,6 C	x 4,1 C	x 3,7 C	x 4,2 C
		Dans les horizons B, <u>concentration progressive des fractions graveleuses</u>				
		par arénisation des granites, puis après épuisement complet de la composante feldspathique			Diminution brutale des teneurs en graviers	
	en B	x 2,6 C	2,2 C	x 2,8 C	x 4,2 C	x 1 C
TERRE FINE		<u>Production de terre fine aux dépens des éléments grossiers</u>				
		D'abord à partir des éléments calcaires avec contribution faible des granites (bilan de production de terre fine plus fort en A qu'en B)		Puis essentiellement à partir des granites (bilan de production de terre fine plus fort en B qu'en A du fait : - de l'importance croissante des transferts de A vers B - de l'épuisement progressif des sources de terre fine en A - de l'argilisation in situ dans le B		
		<u>Production de limons et d'argile par dissolution des galets calcaires</u>		<u>Evolution majeure aux dépens des fractions "sables" et "limons" issus de l'arénisation des granites avec argilisation corrélative de ces fractions</u>		
		Légère augmentation du stock de sables				
	en A	limon C x 5,2 argile C x 9	en A	limon C x 5,1 argile C x 6,8	. Production massive de limons plus ou moins séricitisés à partir des fractions graveleuses et sableuses feldspathiques en A : limon C x 18,2	. Phase terminale de l'épuisement des granites . En A diminution de la fraction limon avec production d'argile qui se transfère en B
	en B	limon C x 2,8 argile C x 10,8	en B	limon C x 3,1 argile C x 11,1	. Forte diminution du stock de sables . <u>Argilisation nette à partir des ferro-magnésiens avec transfert important de A vers B</u> en B : argile C x 17,6	. Diminution faible du stock de sables, diminution plus nette de la fraction limoneuse, malgré l'épuisement de la quasi-totalité des altérables jusqu'au sommet du B (<u>dissolution possible de silice ?</u>) . Poursuite de l'argilisation en B, avec <u>néoformation possible</u> au sommet de l'horizon sommet B : argile C x 31
		Début d'argilisation des ferromagnésiens		. <u>Argilisation massive de toutes les fractions à composante feldspathique et ferro-magnésienne</u> en B : argile C x 28,2		

Remarque : C représente la teneur de l'élément considéré dans le matériau originel C. Par exemple, dans l'horizon A du Stade n° 1, on a 3 fois la teneur existant à l'origine dans la roche-mère

63. LES PRINCIPAUX TRANSFERTS DE MASSE CONDUISANT A LA PHASE RESIDUELLE ACTUELLE. Sens et significations.

Malgré l'ampleur des pertes de matière, les transformations subies par les matériaux et les sols conduisent finalement à l'individualisation progressive d'une phase résiduelle. C'est elle qui constitue les différents sols observés actuellement et il est donc important de la connaître. Mais, la composition de cette phase résiduelle représente en fait la résultante d'un ensemble de transferts complexes, dont il est utile de dresser un bilan synthétique (tableau 8.11).

631. Bilan des transformations observées.

a) - Certains de ces transferts relèvent d'actions chimiques ménagées comme la simple dissolution des carbonates; c'est alors un phénomène assez rapide que nous avons pu suivre et analyser au travers de la disparition des galets ou éléments calcaires. Dans ce cas, le résidu de décarbonatation contribue directement à augmenter la teneur de la fraction "terre fine".

b) - D'autres transferts, comme ceux qui se produisent pour les galets granitiques dépendent d'actions à caractère physique, du type fragmentation et désagrégation. Ceux-là sont plus progressifs et on a essayé de les suivre d'un peu plus près : ils sont générateurs de produits dont la taille et la granulométrie vont en décroissant, au fur et à mesure que progresse l'intensité de l'évolution pédologique. Les passages sont alors du type : cailloutis ou galets → graviers et gravillons → terre fine.

- Pour les fractions granitiques les plus grossières, c'est à dire les blocs et les galets, il se produit une transformation à sens unique, correspondant à une soustraction pure et simple de matière et aboutissant finalement à leur disparition complète depuis les horizons de surface jusqu'au sommet des horizons B.

- Pour les fractions graveleuse et fine, les phénomènes se compliquent quelque peu, puisque les transformations sont possibles dans les deux sens : sens correspondant à une addition de matière provenant des éléments de taille supérieure (galets), sens correspondant à une soustraction ou perte de matière et intéressant essentiellement les composantes les plus grossières comme les graviers et les sables.

De même, la résultante qui se situe au niveau de la terre fine n'est que le reflet instantané d'un équilibre entre ces deux types de transformations. Et c'est, un peu paradoxalement, pour les fractions les plus fines, du type "argile" par exemple, où l'on pourrait croire que les pertes sont plus importantes, que la résultante des transformations est au contraire la plus positive, c'est à dire que les taux d'accroissements relatifs de matière par rapport au matériau originel sont les plus forts. De fait, ce paradoxe s'explique assez bien : en effet, si les éléments grossiers et les éléments fins peuvent tous deux perdre de la matière c'est seulement pour les éléments granulométriquement les plus petits que les transformations se produisent essentiellement dans le sens d'une addition, aussi bien par le jeu des actions mécaniques que par celui des actions chimiques; les vitesses

des seconds sont d'ailleurs d'un ordre de grandeur bien supérieur. Ce n'est que dans le cas où se produit une destruction chimique intense des argiles (du type attaque acide) que les possibilités de pertes peuvent apparaître pour ces fractions fines (stade n° 5).

c) - Parallèlement à la dissolution des galets calcaires et à l'argilisation croissante des galets granitiques, nous assistons à la concentration résiduelle des seuls éléments grossiers résistants à savoir les galets siliceux, de sorte que nous passons bien progressivement aux faciès typiques d'argiles à quartzite existant sur les vieux niveaux de terrasses quaternaires.

632. Transferts de matière et formation des sols.

La connaissance de ces transferts de masse aident aussi à préciser les différents processus qui interviennent dans la formation des sols.

a) - Les phénomènes de désagrégation physique sont largement dominants dans les stades initiaux et atteignent leur intensité maximum aux stades 3 et 4 où l'on observe un net maximum de production de graviers et de limons.

b) - Les phénomènes d'altération chimique débutent très tôt par la dissolution des calcaires, puis progressent lentement. Ils prennent leur véritable ampleur à partir du moment où les processus de fragmentation et de désagrégation se sont eux-mêmes largement manifestés; ils viennent en quelque sorte prendre le relai des processus physiques dans la dynamique de formation des sols.

c) - Les phénomènes de fragmentation mécanique purs se cantonnent dans la partie supérieure des sols les plus vieux. Ils n'apparaissent qu'après l'élimination quasi-totale de la fraction argileuse et affectent essentiellement les fractions quartzieuses et les silex, mais épargnent le plus souvent les faciès quartzitiques.

Ainsi, on retrouve bien, mais en les complétant par des données quantitatives l'essentiel des phénomènes d'évolution qui avaient été déjà largement pressentis lors de l'établissement du bilan morphologique.

Chapitre 9

EVALUATION QUANTITATIVE DES TRANSFERTS GEOCHIMIQUES

Au cours des paragraphes précédents, nous avons pu mettre en évidence d'importants phénomènes de transformation granulométrique intervenant entre les éléments grossiers et la terre fine considérée comme la phase résiduelle d'altération de l'ensemble des matériaux originels. Nous avons pu calculer que des pertes énormes pouvaient se produire au cours de ces phénomènes d'altération et nous nous sommes efforcés de les décrire et de les expliquer de manière schématique.

Lorsque nous nous plaçons, non plus au plan physique mais au plan chimique, la question se pose maintenant de savoir quel peut être le devenir des différents éléments chimiques majeurs (Si, Al, Fe, K, Mg) au cours des phénomènes décrits précédemment. La dynamique de ces éléments considérés soit séparément, soit globalement constituée, en effet, une indication utile sur la nature et sur l'intensité des processus d'altération qui ont présidé à l'évolution générale des matériaux étudiés.

Aussi, essayerons-nous successivement :

- a - de suivre l'évolution globale de ces éléments chimiques dans les stades évolutifs successifs,
- b - d'établir pour chacun d'eux, un essai de bilan des pertes ou des gains réels,
- c - de déduire des résultats précédents les principaux types d'évolution observés.

1 - EVOLUTION COMPAREE DES ELEMENTS CHIMIQUES TOTAUX AU COURS DES PRINCIPAUX STADES D'EVOLUTION (Terre fine).

Pour suivre l'évolution des éléments chimiques totaux au cours de la progression des processus d'évolution, nous pouvons d'abord comparer les teneurs présentes au sein de la terre fine originelle avec celles existant dans la terre fine résiduelle des principaux horizons d'altération. C'est le but des résultats rassemblés ci-après par types d'éléments.

11. EVOLUTION DE LA SILICE TOTALE ET DES SILICATES.

D'après les résultats du tableau 9.1, nous observons un maintien et même un léger enrichissement des teneurs en silice totale dans la terre fine des divers horizons d'altération par rapport à la terre fine du matériau originel. Le phénomène de concentration le plus net se situe dans les horizons de surface des sols du stade 4 ($\text{SiO}_2 \times 2$), alors que dans les horizons B des sols villafranchiens, une certaine tendance au départ de silice se manifeste ($\text{SiO}_2 \times 0,95$),

Tabl. 9 - 1

ÉVOLUTION DE LA SILICE TOTALE
DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en SiO_2 % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneurs en SiO_2 totale de la terre fine dans :	Horizon A	86	82	80 (86 en A_2)	90 (90 en A_2)	83
	Horizon B	81	65	68,5	68,7	63
	Horizon C	58	50	53	43	66
Rapport des teneurs en SiO_2 total	A/C	1,48	1,64	1,50 (1,62 en A_2)	2,09 (2,09 en A_2)	1,26
	B/C	1,39	1,30	1,29	1,60	0,95

Tabl. 9 - 2

ÉVOLUTION DE LA SILICE COMBINÉE (SILICATES SEULEMENT)
DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en SiO_2 % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneurs en silicates de la terre fine dans :	Horizon A	18	17	19 (19 en A_2)	20 (20 en A_2)	13
	Horizon B	20	15	30	40	40
	Horizon C	20	20	20	14	25
Rapport des teneurs en silicates	A/C	0,9	0,85	0,95 (0,95 en A_2)	1,42 (1,42 en A_2)	0,52
	B/C	1	0,75	1,5	2,85	1,6

Pour les silicates (tableau 9.2), dans les horizons de surface, la tendance générale est à la diminution des teneurs, à l'exception du stade 4. Cette diminution peu sensible dans les 3 premiers stades est très nette dans le stade ultime villafranchien. Dans les horizons B, on observe un maintien des teneurs dans les 2 premiers stades évolutifs et une concentration dans les stades ultérieurs surtout bien marquée dans le stade 4 gúnzien.

12. EVOLUTION DE L'ALUMINIUM TOTAL.

Dans les horizons de surface A, les variations des teneurs en Al_2O_3 total sont très faibles par rapport à celles observées dans la terre fine originelle : l'effet concentration est peu net, sauf dans le stade 3 et le stade 5.

Dans les horizons B, en revanche, les variations observées sont beaucoup plus nettes et nous assistons à une augmentation progressive des teneurs en Al_2O_3 depuis le stade 1 jusqu'au stade 3, à partir duquel les teneurs en Al_2O_3 plafonnent autour de valeurs correspondant à une concentration de 3,5 à 4,9 par rapport à celles de la terre fine originelle.

Tabl. 9 - 3

ÉVOLUTION DE L'ALUMINIUM TOTAL DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES (en Al_2O_3 % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneurs en Al_2O_3 de la terre fine dans :	Horizon A	5	6	5 (5,55 en A ₂)	4,5 (6,0 en A ₂)	8
	Horizon B	7,89	13,3	14,6	20	17
	Horizon C	5	5	3	5	5
=====						
Rapport des teneurs en Al_2O_3	A/C	1	1,2	1,66 (1,85 en A ₂)	0,9 (1,2 en A ₂)	1,6
	B/C	1,58	2,66	4,87	4	3,4

13. EVOLUTION DU FER TOTAL.

Tabl. 9 - 4

ÉVOLUTION DU FER TOTAL
DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Fe_2O_3 % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneurs en Fe_2O_3 de la terre fine dans :	Horizon A	2,3	2,7	2,9 (2,0 en A_2)	1,9 (1,0 en A_2)	1,5
	Horizon B	3,2	5,6	6,3	5,8	5,85
	Horizon C	1,5	1,7	1,4	1,9	1,7
Rapport des teneurs en Fe_2O_3	A/C	1,53	1,58	2,07 (1,42 en A_2)	1,0 (0,52 en A_2)	0,88
	B/C	2,13	3,29	4,50	3,05	3,44

Nous assistons à une augmentation progressive des teneurs en Fe_2O_3 total au fur et à mesure de la progression des phénomènes d'altération. Cet effet de concentration relative du fer est peu marqué dans les horizons de surface, où il atteint au maximum 2. Dans les horizons A_2 qui apparaissent à partir du stade 3, l'effet inverse se manifeste, c'est à dire qu'on enregistre des teneurs en fer inférieures à celles observées dans la terre fine originelle. L'effet concentration est par contre beaucoup plus net dans les horizons B : le maximum observé se situe au stade 3 ou stade mindélien (coefficient voisin de 4,5).

14. EVOLUTION DU MAGNESIUM TOTAL.

Tabl. 9 - 5

ÉVOLUTION DU MAGNÉSIUM TOTAL
DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Mg O % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneurs en MgO de la fraction fine dans :	Horizon A	0,35	0,35	0,28	0,20 (0,30 en A_2)	0,20
	Horizon B	0,50	0,85	0,32	0,28	0,17
	Horizon C	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Rapport des teneurs en MgO total	A/C	0,38	0,38	0,31	0,22 (0,33 en A_2)	0,22
	B/C	0,55	0,94	0,35	0,31	0,19

Le tableau 9.5 reflète une nette diminution des teneurs en MgO dans la terre fine d'altération par rapport à la terre fine originelle. Cette tendance est générale aussi bien pour les horizons A que pour les horizons B, mais la diminution est un peu plus marquée pour les deux derniers stades d'évolution que pour les trois premiers.

15. EVOLUTION DU POTASSIUM TOTAL.

Tabl. 9 - 6

ÉVOLUTION DU POTASSIUM TOTAL
DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en K₂O % de terre fine)

STADES EVOLUTIFS		Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5
Teneur en K ₂ O de la terre fine dans :	Horizon A	1,7	2,0	1,6 (1,4 en A ₂)	1,3 (1,4 en A ₂)	1,0
	Horizon B	1,8	1,6	1,8	2,7	2,3
	Horizon C	1,5	1,2	1,2	1,5	1,6
Rapport des teneurs en K ₂ O total	A/C	1,13	1,66	1,33 (1,16 en A ₂)	0,86 (0,93 en A ₂)	0,62
	B/C	1,2	1,33	1,5	1,8	1,43

Dans les horizons de surface, nous observons un maintien des teneurs en K₂O total dans les premiers termes évolutifs et une diminution d'abord faible au Günz, puis nette au Villafranchien.

Dans les horizons B, la tendance générale est à une augmentation des teneurs en K₂O, qui est surtout nette pour le stade 4 gúnzien.

16. COMPARAISON DES COMPORTEMENTS DES ELEMENTS CHIMIQUES ETUDIES.

De cette première analyse concentrée au niveau de la terre fine, il apparaît qu'une disjonction assez nette existe entre les horizons A et les horizons B : d'abord peu marquée dans les premiers stades évolutifs, elle s'accroît au fur et à mesure que l'évolution progresse.

Sur le plan du comportement général, les divers éléments étudiés révèlent une certaine dynamique que pour la commodité de l'exposé, nous regrouperons autour de 3 ensembles comprenant : le fer et l'aluminium, la silice et le potassium et enfin le magnésium.

Cas du fer et de l'aluminium.

C'est dans les horizons B des sols que l'évolution la plus spectaculaire s'observe pour le fer et l'aluminium, puisque nous mettons en évidence un effet de concentration apparente pour ces éléments. Cet effet paraît bien être la conséquence directe des phénomènes d'altération mis en jeu, car l'évolution progressive que nous observons du stade 1 et au stade 3, peut être mise en relation avec les faits observés au plan physique, morphologique. Au-delà de ces stades, l'effet de concentration relative en Fe_2O_3 et Al_2O_3 se maintient encore à un niveau élevé mais qui cependant est toujours à un niveau inférieur à celui atteint au stade 3.

Dans les horizons de surface, le fer et l'aluminium subissent des évolutions homologues dans les 4 premiers stades d'évolution, à savoir concentration dans les stades 1 à 3, puis maintien ou légère diminution dans le stade 4. Par contre, il y a disjonction nette de comportement au stade villafranchien pour lequel le fer continue de diminuer, alors que l'aluminium subit une nouvelle concentration relative.

Cas de la silice et de K_2O .

Les comportements de la silice totale et de K_2O peuvent être rapprochés notamment pour les trois premiers stades d'évolution, car nous assistons à un effet de concentration relative qui reste du même ordre de grandeur mais qui est beaucoup moins marqué que celui observé précédemment pour les deux cations fer et aluminium. Dans les stades ultérieurs 4 et 5, les comportements de la silice et de K_2O se dissocient très nettement. Au sein des horizons de surface, les teneurs observées en silice révèlent un léger effet de concentration, alors que pour K_2O les teneurs diminuent fortement. Dans les horizons B, c'est le phénomène inverse qui se produit.

Cas du magnésium.

Le comportement du magnésium est complètement différent de ceux que nous venons de décrire pour les 2 ensembles précédents. A l'effet de concentration que nous venons de mentionner de façon assez généralisée, se substitue pour ce cation une tendance très nette à la solubilisation qui se traduit par une diminution des teneurs en magnésium pour l'ensemble des divers horizons dessols.

2 - ESSAI D'ETABLISSEMENT D'UN BILAN REEL POUR QUELQUES ELEMENTS CHIMIQUES.

21. PRESENTATION DE LA METHODE UTILISEE.

211. Exposé du problème. Type de raisonnement employé.

L'analyse qui précède se réfère à la seule fraction terre fine. Elle a permis de mettre en évidence un certain nombre de différences dans la dynamique et le comportement des quelques éléments chimiques étudiés.

Il s'agit maintenant de vérifier la validité et le sens général de ces évolutions lorsque nous ne faisons plus référence à la seule fraction "terre fine", mais lorsque nous raisonnons par rapport à la masse globale du matériau originel, comprenant notamment les divers types d'éléments grossiers qui participent eux-mêmes directement lors de leur propre altération à la libération de quantités appréciables d'éléments chimiques.

Or, dans les chapitres précédents, en choisissant un invariant convenable et adapté au matériau étudié (fractions grossières à composante siliceuse) et en appliquant un raisonnement isoquartzite, nous avons pu suivre la transformation globale du matériau originel en terre fine; nous avons montré qu'elle s'accompagnait de transferts granulométriques importants qui pouvaient avoir pour cause aussi bien des phénomènes de désagrégation physique ou mécanique que des phénomènes chimiques.

En transposant ce type de raisonnement isoquartzite au niveau chimique, nous pouvons essayer de faire la part qui revient à la solubilisation chimique en suivant l'évolution des quelques éléments déjà cités plus haut. Nous nous efforcerons ainsi de dégager pour chacun d'eux le niveau réel des pertes pouvant survenir au cours des phénomènes d'altération.

212. Types de calculs effectués.

Pour un élément chimique donné "e", le calcul des pertes pouvant survenir au niveau d'un horizon "x" sera effectué à partir de la relation générale suivante (IV).

Pertes de l'élément "e" dans l'horizon "x" = Teneurs en élément "e" pouvant être hérité de la roche-mère (4) - Teneur en élément "e" présent actuellement dans la matrice fine d'altération de l'horizon "x". (5)
--

(IV)

Dans le matériau originel des terrasses rhodaniennes, trois types de constituants peuvent servir de sources possibles pour un élément chimique "e" à savoir : terre fine originelle, galets calcaires et galets cristallins, de sorte que dans la relation précédente, la teneur (4) en élément "e" pouvant être héritée de la roche-mère peut s'écrire :

Teneur en élément "e" héritée de la roche-mère (4)	=	Teneurs en élément "e" provenant de la terre fine originelle (1) + Teneurs en "e" issu des galets calcaires dissouts au sein de l'horizon "x" (2) + Teneurs en "e" provenant des galets cristallins entièrement décomposés dans cet horizon "x" (3)
--	---	---

(V)

a) - Pour le calcul de (1), (2), (3), nous avons évidemment utilisé les bases qui ont déjà servi lors de l'établissement du bilan réel de production de terre fine. Comme nous raisonnons toujours en raisonnement "isoquartzite", pour les teneurs de terre fine originelle, les teneurs de galets calcaires et les teneurs de galets cristallins à rapporter à chaque horizon, ce sont les pourcentages déjà calculés précédemment (cf. tableaux 8.4 à 8.10) qui serviront encore de références générales pour les calculs des bilans chimiques élémentaires effectués soit au niveau de l'horizon A, soit au niveau de l'horizon B considéré comme fonctionnant seul.

Néanmoins, pour ces calculs chimiques, un certain nombre de nuances ont du être introduites par rapport aux conventions utilisées précédemment dans la cas du bilan de production de terre fine.

1ère approximation

Il était logique, dans le calcul précédent, de considérer en première approximation, que l'ensemble des galets cristallins comptés comme désagrégés participaient effectivement et pour leur totalité soit à la production de terre fine, soit à la production de graviers. Mais, en ce qui concerne le calcul chimique qui suppose une solubilisation complète, il devient nécessaire de nuancer cette approximation.

Ainsi, nous avons constaté d'après les observations qui ont pu être faites en lames minces de sols, que suivant les stades évolutifs, une plus ou moins grosse partie des fragments graveleux issus de la désagrégation des galets granitiques sont encore non ou incomplètement décomposés (minéraux encore reconnaissables et identifiables, minéraux incomplètement transformés, etc...).

Utilisant ces observations, nous avons évalué le coefficient de décomposition chimique réelle des granites en les adaptant aux différents stades évolutifs.

Ainsi, dans le stade 1 würmien, nous avons estimé, d'après les nombreuses observations faites sur le terrain, que seulement 30 % des galets cristallins comptés comme décomposés participaient effectivement à l'alimentation en élément chimique de la terre fine d'altération (le reliquat reste en réserve et n'est libéré que dans les stades ultérieurs).

Dans le stade 2 rissien, nous pouvons estimer que cette proportion passe à 60 % .

Enfin, à partir des stades 3 ou stade mindélien, dans lesquels tout minéral altérable a pratiquement disparu, nous pouvons escompter que la participation des cristallins à l'alimentation chimique de la matrice d'altération est réellement totale, c'est à dire de 100 % .

2ème approximation

La relation générale explicitée plus haut et qui a servi pour le calcul des pertes chimiques élémentaires est valable pour tout horizon fonctionnant de façon indépendante. Elle est donc essentiellement applicable aux horizons de surface, et en particulier aux horizons dits superficiels.

Pour tous les autres horizons (de type A_2 , B_1 ou B_2), il y a évidemment lieu de rectifier le calcul des pertes, puisque, à celles propres à l'horizon considéré, il convient d'ajouter les pertes survenues dans le ou les horizons immédiatement supérieurs (ceci supposant par ailleurs que la dynamique du profil est à dominante verticale, pour que toutes les pertes des horizons supérieurs se retrouvent effectivement dans les horizons inférieurs).

La relation de calcul des pertes(IV) se complique alors quelque peu et devient du type VI :

Pertes calculées propres à l'horizon B
Pertes en sortie de B = +
Pertes survenues dans les horizons supérieurs

(VI)

Pour le bilan des éléments chimiques, il était important de pouvoir apprécier le rôle et le poids de ces pertes provenant des horizons de surface (ou horizons supérieurs) sur les pertes survenant en sortie des horizons B, autrement dit sur les pertes globales du profil.

Pour pouvoir matériellement effectuer ce calcul et ajuster les chiffres obtenus par le raisonnement isoquartzite aux conditions réelles de développement des profils des sols rhodaniens étudiés, un certain nombre de conventions de calculs ont été retenues qui s'efforcent de prendre en compte les notions de volumes respectifs des horizons considérés.

Ainsi, pour des horizons x_1 et des horizons x_2 ayant des épaisseurs actuelles, égales ou grossièrement homologues, on a convenu d'admettre que les pertes calculées au sein de l'horizon x_1 pour un élément chimique donné participent dans leur intégralité à la constitution du stock de cet élément dans l'horizon x_2 .

Par contre, lorsque les horizons x_1 et x_2 ont des épaisseurs actuelles connues que nous avons pu apprécier sur le terrain comme se situant dans des proportions telles que $\frac{x_1}{x_2} = \frac{1}{K}$, nous avons convenu que les pertes

survenues en x_1 , pour un élément chimique donné ne peuvent participer à l'alimentation de x_2 en ce même élément que dans les limites du rapport des épaisseurs actuelles des horizons, c'est à dire dans les limites de px_1/k .

b) - Pour le calcul relatif aux termes (1), (2) et (3) de la relation (V), il a aussi fallu déterminer, pour les différents constituants du matériau originel (terre fine, éléments grossiers), des teneurs qui puissent servir de référence de composition moyenne concernant les divers éléments chimiques étudiés.

Pour la fraction "terre fine" contenue dans le matériau originel, il a été assez facile de faire des moyennes compte-tenu de la dispersion relativement faible entre les différents résultats des analyses chimiques obtenues. Ce sont ces teneurs moyennes qui ont été utilisées et qui sont retranscrites en détail pour les divers matériaux originels au paragraphe 1 précédent.

En revanche, pour les éléments grossiers (galets calcaires et galets granitiques), la notion de valeur moyenne en constituant chimique élémentaire était assez difficile à dégager compte-tenu d'abord du petit nombre de résultats personnels dont on pouvait disposer à ce niveau et compte-tenu aussi de la grande dispersion observée pour ces résultats d'analyses chimiques totales des galets.

C'est pourquoi, aussi bien pour les granites que pour les calcaires, nous avons préféré utiliser des références de composition chimique totale établies à partir d'un échantillonnage analytique beaucoup plus large. Ces données sont tirées d'ouvrages généraux de géologie et de géochimie (CHILINGAR, BISSEL, FAIRBRIDGE, CAYEUX, PETITJOHN, RINNE, SEDDOH).

Les bases qui ont finalement été retenues pour les calculs sont rassemblées dans le tableau 9.7 .

Tabl. 9 - 7

TENEURS MOYENNES EN CONSTITUANTS CHIMIQUES ÉLÉMENTAIRES
DES GALETS CALCAIRES ET GRANITIQUES
DES ALLUVIONS FLUVIO - GLACIAIRES RHODANIENNES

	SiO ₂ % tot.	SiO ₂ % non quartz	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %
Calcaires	2,5	2	1,5	0,25	0,3 à 0,4	1 à 1,5
Granites	70	25	15	4	5	1,5

22. PRESENTATION DES RESULTATS.

Partant de ces bases et des conventions de calculs que nous venons d'explicitier, nous avons procédé à un essai de bilan chimique pour les éléments suivants : Silice totale et Silice non quartz, Aluminium, Fer, Potassium et Magnésium.

Ces calculs de pertes ont été effectués pour chacun des stades évolutifs principaux et pour les principaux horizons qui s'y individualisent. Les calculs ont été faits en considérant les horizons d'abord séparément, mais aussi en tenant compte de l'influence que peuvent avoir des horizons supérieurs sur les horizons inférieurs.

Les calculs sont présentés sous forme de tableaux en 8 colonnes, la colonne 6 exprimant les résultats des pertes absolues par horizons, la colonne 7 représentant le coefficient de pertes dans le même horizon pour l'élément considéré. L'ensemble des données sont regroupées dans les tableaux 9.8 à 9.13 .

Les courbes des figures 9.1 à 9.6 reprennent ces résultats par type d'élément chimique et donnent une idée plus synthétique des évolutions observées au sein de la séquence étudiée.

Tabl. 9 - 8

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN SILICE TOTALE
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Si O₂ % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	SiO ₂ dans terre fine originelle	SiO ₂ issu des calcaires dissous	SiO ₂ provenant des cristallins décomposés	SiO ₂ provenant des horizons supérieurs	SiO ₂ hérité roche-mère + horizons sup.	SiO ₂ présent dans matrice d'alération de l'horizon	Pertes absolues en SiO ₂ total (5 - 4)	Coefficient de perte en silice totale (6/4)
STADE WURMIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	10,15	1,34	2,45	-	13,95	12,98	- 0,96	- 0,07
Horizon B seul	10,15	1,34	2,10	-	13,59	10,53	- 3,06	- 0,22
Horizon B + pertes A cumulées	10,15	1,34	2,10	0,96	14,55	10,53	- 4,02	- 0,27
STADE RISSIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	6,75	1,30	5,08	-	13,13	8,28	- 4,85	- 0,37
Horizon B	6,75	1,30	4,07	-	12,12	5,72	- 6,40	- 0,52
Horz. B + pertes A pondérées	6,75	1,30	4,07	1,60	13,72	5,72	- 8,0	- 0,58
STADE MNDELIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	8,05	1,48	4,76	-	14,29	6,48	- 7,81	- 0,55
Horizon A ₂ seul	8,05	1,48	4,76	-	14,29	3,44	- 10,85	- 0,76
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	8,05	1,48	4,76	7,81	22,10	3,44	- 18,66	- 0,84
Horizon B seul	8,05	1,48	4,06	-	13,59	4,22	- 9,37	- 0,69
Horz. B + pertes hor. sup. pondérées	8,05	1,48	4,06	3,73	17,32	4,22	- 13,10	- 0,76
STADE GUNZIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	6,45	1,49	4,76	-	12,7	2,07	- 10,63	- 0,84
Horizon A naturel	6,45	1,49	4,76	-	12,7	6,39	- 6,33	- 0,50
Horizon A ₂ seul	6,45	1,49	4,76	-	12,7	10,98	- 1,72	- 0,13
Horz. A ₂ + pertes A pondérées	6,45	1,49	4,76	6,33	19,03	10,98	- 8,05	- 0,42
Horizon B ₂ seul	6,45	1,49	3,92	-	11,86	9,29	- 2,57	- 0,22
Horz. B ₂ + pertes hor. sup. pondérées	6,45	1,49	3,92	0,58	12,74	9,29	- 3,45	- 0,27
STADE VILLAFRANCHIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	12,21	1,22	17,15	-	30,58	1,66	- 28,92	- 0,95
Horizon B ₁ B ₂ seul	12,21	1,22	17,15	-	30,58	8,98	- 21,60	- 0,70
Horizon B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	12,21	1,22	17,15	14,46	45,04	8,98	- 36,06	- 0,80
Horizon B ₂ seul	12,21	1,22	16,80	-	30,23	4,85	- 25,38	- 0,84
Horz. B ₂ + pertes hor. sup. pondérées	12,21	1,22	16,80	2,53	32,77	4,85	- 27,98	- 0,85

Tabl. 9 - 9

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN SILICATES
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Si O₂ % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	Silicates dans terre fine originelle	Silicates issus des calcaires dissouts	Silicates provenant des cristallins décomposés	Silicates provenant des horizons supérieurs	Silicates hérités roche-mère + horizons sup.	Silicates présents dans matrice d'altération de l'horizon	Pertes absolues en Silice non quartz (5 - 4)	Coefficient de pertes en silice non quartz (6/4)
STADE WURMIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	3,50	1,07	0,88	-	5,45	2,72	- 2,73	- 0,50
Horizon B seul	3,50	1,07	0,75	-	5,32	2,60	- 2,72	- 0,51
Horz. B + pertes A cumulées	3,50	1,07	0,75	2,73	8,05	2,60	- 5,45	- 0,68
STADE RUSSIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	2,70	1,04	1,81	-	5,55	1,72	- 3,83	- 0,69
Horizon B seul	2,70	1,04	1,46	-	5,20	1,32	- 3,86	- 0,75
Horz. B + pertes A pondérées	2,70	1,04	1,46	1,26	6,46	1,32	- 5,14	- 0,79
STADE MNÉLIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	4,59	1,19	1,70	-	7,48	1,54	- 5,60	- 0,75
Horizon A ₂ seul	4,59	1,19	1,70	-	7,48	0,76	- 6,70	- 0,90
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	4,59	1,19	1,70	5,60	13,08	0,76	- 12,30	- 0,94
Horizon B seul	4,59	1,19	1,45	-	7,23	1,86	- 5,40	- 0,74
Horz. B + pertes hor. sup. pondérées	4,59	1,19	1,45	2,46	9,69	1,86	- 7,80	- 0,81
STADE GUNZIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	2,25	1,19	1,7	-	5,14	0,46	- 4,68	- 0,91
Horizon A naturel	2,25	1,19	1,7	-	5,14	1,42	- 3,72	- 0,72
Horizon A ₂ seul	2,25	1,19	1,7	-	5,14	2,44	- 2,70	- 0,52
Horz. A ₂ + pertes A pondérées	2,25	1,19	1,7	3,72	8,86	2,44	- 6,42	- 0,73
Horizon B ₂ seul	2,25	1,19	1,4	-	4,84	4,32	- 0,62	- 0,11
Horz. B ₂ + pertes hor. sup. pondérées	2,25	1,19	1,4	0,71	5,55	4,32	- 1,23	- 0,22
STADE VILLAFRANCHIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	7,40	0,98	6,12	-	14,50	0,26	- 14,24	- 0,98
Horizon B ₁ B ₂ seul	7,40	0,98	6,12	-	14,50	2,64	- 11,86	- 0,81
Horz. B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	7,40	0,98	6,12	7,12	21,62	2,64	- 18,98	- 0,88
Horizon B ₂ seul	7,40	0,98	5,25	-	13,63	3,08	- 10,55	- 0,77
Horz. B ₂ + pertes hor. sup. pondérées	7,40	0,98	5,25	1,05	14,68	3,08	- 11,60	- 0,79

Tabl. 9 - 10

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN ALUMINIUM TOTAL
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Al₂O₃ % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	Al ₂ O ₃ dans terre fine originelle	Al ₂ O ₃ issu des calcaires dissouts	Al ₂ O ₃ provenant des cristallins décomposés	Al ₂ O ₃ provenant des horizons supérieurs	Al ₂ O ₃ hérité roche-mère + horizon sup.	Al ₂ O ₃ présent dans matrice d'altération de l'horizon	Pertes absolues en Al ₂ O ₃ (5 - 4)	Coefficient de pertes en Al ₂ O ₃ (6/4)
STADE WURMIEN								
	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,875	0,802	0,532	-	2,209	0,755	- 1,45	- 0,66
Horizon B seul	0,875	0,802	0,454	-	2,131	1,040	- 1,09	- 0,51
Horz. B + pertes A cumulées	0,875	0,802	0,454	1,45	3,575	1,040	- 2,54	- 0,71
STADE RISSIEN								
	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,675	0,778	1,09	-	2,542	0,606	- 1,94	- 0,76
Horizon B seul	0,675	0,778	0,87	-	2,320	1,170	- 1,15	- 0,49
Horz. B + pertes A pondérées	0,675	0,778	0,87	0,64	2,960	1,170	- 1,73	- 0,80
STADE MINDELIEN								
	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,459	0,889	1,02	-	2,368	0,409	- 1,97	- 0,83
Horizon A ₂ seul	0,459	0,889	1,02	-	2,368	0,280	- 2,15	- 0,91
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	0,459	0,889	1,02	2,148	4,516	0,280	- 4,24	- 0,94
Horizon B seul	0,459	0,889	0,87	-	2,218	0,930	- 1,29	- 0,58
Horz. B + pertes horz. sup. pondérées	0,459	0,889	0,87	0,847	3,065	0,930	- 2,13	- 0,70
STADE GUNZIEN								
	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	0,750	0,892	1,02	-	2,662	0,103	- 2,56	- 0,96
Horizon A naturel	0,750	0,892	1,02	-	2,662	0,320	- 2,34	- 0,88
Horizon A ₂ seul	0,750	0,892	1,02	-	2,662	0,732	- 1,93	- 0,72
Horz. A ₂ + pertes ho sup. pondérées	0,750	0,892	1,02	2,342	5,004	0,732	- 4,27	- 0,85
Horizon B ₂ seul	0,750	0,892	0,84	-	2,432	2,160	- 0,32	- 0,13
Horz. B ₂ + pertes ho sup. pondérées	0,750	0,892	0,84	0,469	2,900	2,160	- 0,79	- 0,27
STADE VILLAFRANCHIEN								
	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	0,925	0,733	3,675	-	5,333	0,160	- 5,17	- 0,97
Horizon B ₁ B ₂ seul	0,925	0,733	3,675	-	5,333	1,584	- 3,75	- 0,70
Horz. B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	0,925	0,733	3,675	1,27	7,204	1,584	- 5,62	- 0,78
Horizon B ₂ seul	0,925	0,733	3,60	-	5,260	1,310	- 3,95	- 0,76
Horizon B ₂ + pertes horz. sp. pondérées	0,925	0,733	3,60	0,562	5,76	1,310	- 4,45	- 0,77

Tabl. 9 - 11

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN FER TOTAL
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Fe₂O₃ % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	Fe ₂ O ₃ dans terre fine originelle	Fe ₂ O ₃ issu des calcaires dissouts	Fe ₂ O ₃ provenant des cristallins décomposés	Fe ₂ O ₃ provenant des horizons supérieurs	Fe ₂ O ₃ hérités roche-mère + Horizons sup.	Fe ₂ O ₃ présent dans matrice d'altération de l'horizon	Pertes absolues en Fer (5 - 4)	Coefficient de pertes en Fe ₂ O ₃ (6/4)
STADE WURMIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,282	0,134	0,141	-	0,537	0,347	- 0,19	- 0,35
Horizon B seul	0,282	0,127	0,121	-	0,508	0,416	- 0,09	- 0,18
Horizon B avec pertes de A cumulées	0,282	0,127	0,121	0,19	0,698	0,416	- 0,28	- 0,40
STADE RISSIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,229	0,129	0,290	-	0,648	0,272	- 0,38	- 0,58
Horizon B	0,229	0,129	0,232	-	0,590	0,483	- 0,10	- 0,16
Horizon B + pertes de A pondérées	0,229	0,129	0,232	0,11	0,700	0,492	- 0,21	- 0,30
STADE MINDELIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,214	0,145	0,272	-	0,634	0,235	- 0,40	- 0,63
Horizon A ₂ seul	0,214	0,148	0,272	-	0,634	0,08	- 0,55	- 0,88
Horz. A ₂ + pertes de A cumulées	0,214	0,148	0,272	0,399	1,03	0,03	- 0,95	- 0,92
Horizon B seul	0,214	0,148	0,229	-	0,591	0,291	- 0,20	- 0,34
Horz. B + pertes de A pondérées	0,214	0,148	0,229	0,19	0,781	0,391	- 0,39	- 0,50
STADE GUNZIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	0,285	0,149	0,272	-	0,706	0,044	- 0,66	- 0,94
Horizon A naturel	0,285	0,149	0,272	-	0,706	0,135	- 0,57	- 0,81
Horizon A ₂ seul	0,285	0,149	0,272	-	0,706	0,122	- 0,58	- 0,83
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	0,285	0,149	0,272	0,56	1,270	0,122	- 1,15	- 0,90
Horizon B ₂ seul	0,285	0,149	0,224	-	0,658	0,626	- 0,03	- 0,05
Horz. B ₂ + pertes A pondérées	0,285	0,149	0,224	0,127	0,785	0,626	- 0,16	- 0,20
STADE VILLAFRANCHIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	0,314	0,122	0,98	-	1,416	0,030	- 1,386	- 0,98
Horizon B ₁ B ₂ seul	0,314	0,122	0,98	-	1,416	0,475	- 0,940	- 0,66
Horz. B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	0,314	0,122	0,98	0,47	1,880	0,452	- 1,428	- 0,76
Horizon B ₂ seul	0,314	0,122	0,96	-	1,396	0,447	- 0,950	- 0,68
Horz. B ₂ + pertes horz. sup. pondérées	0,314	0,122	0,96	0,142	1,539	0,447	- 1,092	- 0,71

Tabl. 9 - 12

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN MAGNÉSIUM TOTAL
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en Mg O % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	Mg O dans terre fine originelle	Mg O issu des calcaires dissouts	Mg O provenant des cristallins décomposés	Mg O provenant des pertes des horizons sup.	Mg O hérité roche-mère + horizons sup.	Mg O présent dans matrice d'altération de l'horizon	Pertes absolues en Mg O total (5 - 4)	Coefficient de pertes en Mg O total (6/4)
STADE WURMIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,16	0,64	0,05	-	0,85	0,05	- 0,80	- 0,94
Horizon B seul	0,16	0,64	0,04	-	0,85	0,07	- 0,78	- 0,92
Horz. B + pertes A cumulées	0,16	0,64	0,04	0,80	1,64	0,07	- 1,57	- 0,96
STADE RISSIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,12	0,62	0,12	-	0,88	0,035	- 0,83	- 0,96
Horizon B seul	0,12	0,62	0,09	-	0,84	0,075	- 0,76	- 0,91
Horz. B + pertes A pondérées	0,12	0,62	0,09	0,28	1,115	0,075	- 1,04	- 0,93
STADE MINDELIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,14	0,71	0,10	-	0,95	0,02	- 0,93	- 0,97
Horizon A ₂ seul	0,14	0,71	0,10	-	0,95	0,01	- 0,94	- 0,99
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	0,14	0,71	0,10	0,93	1,88	0,01	- 1,87	- 0,99
Horizon B seul	0,14	0,71	0,09	-	0,94	0,03	- 0,91	- 0,97
Horz. B + pertes ho. sup. pondérées	0,14	0,71	0,09	0,37	1,31	0,03	- 1,28	- 0,98
STADE GUNZIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	0,13	0,71	0,10	-	0,95	0,005	- 0,95	- 0,99
Horizon A naturel	0,13	0,71	0,10	-	0,95	0,014	- 0,94	- 0,98
Horizon A ₂ seul	0,13	0,71	0,10	-	0,95	0,037	- 0,91	- 0,96
Horz. A ₂ + pertes A pondérées	0,13	0,71	0,10	0,94	1,89	0,037	- 1,85	- 0,98
Horizon B ₂ seul	0,13	0,71	0,08	-	0,93	0,054	- 0,88	- 0,94
Horz. B ₂ + pertes ho. sup. pondérées	0,13	0,71	0,08	0,20	1,14	0,054	- 1,08	- 0,95
STADE VILLAFRANCHIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	0,17	0,59	0,37	-	1,12	0,004	- 1,12	- 0,99
Horizon B ₁ B ₂ seul	0,17	0,59	0,37	-	1,12	0,022	- 1,10	- 0,98
Horz. B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	0,17	0,59	0,37	0,55	1,67	0,022	- 1,65	- 0,99
Horizon B ₂ seul	0,17	0,59	0,36	-	1,11	0,022	- 1,09	- 0,98
Horz. B ₂ + pertes ho. sup. pondérées	0,17	0,59	0,36	0,16	1,27	0,022	- 1,25	- 0,98

Tabl. 9 - 13

**BILAN DES PERTES POSSIBLES EN POTASSIUM TOTAL
LORS DE L'ÉVOLUTION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(en K₂O % de la masse globale)**

	1	2	3	3'	4	5	6	7
	K ₂ O dans terre fine originelle	K ₂ O issu des calcaires dissouts	K ₂ O provenant des cristallins décomposés	K ₂ O provenant des pertes des horizons sup.	K ₂ O hérité roche-mère + horizons sup.	K ₂ O présent dans matrice d'altération de l'horizon	Pertes absolues en K ₂ O total (5 - 4)	Coefficient de perte en K ₂ O total (6/4)
STADE WURMIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,26	0,19	0,18	-	0,68	0,37	- 0,26	- 0,41
Horizon B seul	0,26	0,19	0,15	-	0,60	0,23	- 0,37	- 0,61
Horz. B + pertes A cumulées	0,26	0,19	0,15	0,41	1,01	0,23	- 0,78	- 0,77
STADE RISSIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,16	0,18	0,40	-	0,74	0,20	- 0,54	- 0,78
Horizon B seul	0,16	0,18	0,32	-	0,66	0,14	- 0,52	- 0,79
Horz. B + pertes A pondérées	0,16	0,18	0,32	0,18	0,84	0,14	- 0,70	- 0,83
STADE MINDELIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A	0,18	0,21	0,34	-	0,73	0,13	- 0,60	- 0,82
Horizon A ₂ seul	0,18	0,21	0,34	-	0,73	0,06	- 0,67	- 0,92
Horz. A ₂ + pertes A cumulées	0,18	0,21	0,34	0,60	1,33	0,06	- 0,73	- 0,55
Horizon B seul	0,18	0,21	0,29	-	0,68	0,11	- 0,57	- 0,84
Horz. B + pertes ho. sup. pondérées	0,18	0,21	0,29	0,15	0,83	0,11	- 0,72	- 0,87
STADE GUNZIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A cultivé	0,23	0,21	0,34	-	0,77	0,03	- 0,74	- 0,96
Horizon A naturel	0,23	0,21	0,34	-	0,77	0,09	- 0,68	- 0,88
Horizon A ₂ seul	0,23	0,21	0,34	-	0,77	0,17	- 0,60	- 0,78
Horz. A ₂ + pertes A pondérées	0,23	0,21	0,34	0,68	1,45	0,17	- 1,28	- 0,88
Horizon B ₂ seul	0,23	0,21	0,28	-	0,71	0,29	- 0,42	- 0,59
Horz. B ₂ + pertes ho. sup. pondérées	0,23	0,21	0,28	0,14	0,86	0,29	- 0,57	- 0,66
STADE VILAFRANCHIEN	1	2	3	3'	4	5	6	7
Horizon A ₂ B	0,30	0,17	1,23	-	1,69	0,02	- 1,67	- 0,99
Horizon B ₁ B ₂ seul	0,30	0,17	1,23	-	1,69	0,18	- 1,50	- 0,89
Horz. B ₁ B ₂ + pertes A pondérées	0,30	0,17	1,23	0,88	2,53	0,18	- 2,35	- 0,93
Horizon B ₂ seul	0,30	0,17	1,20	-	1,67	0,18	- 1,49	- 0,89
Horz. B ₂ + pertes horz. sup. pondérées	0,30	0,17	1,20	0,24	1,91	0,18	- 1,73	- 0,90

Fig. 9 - 1

**ÉVOLUTION DES PERTES EN SILICE TOTALE
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en Si O₂ pour cent de la masse globale du sol)**

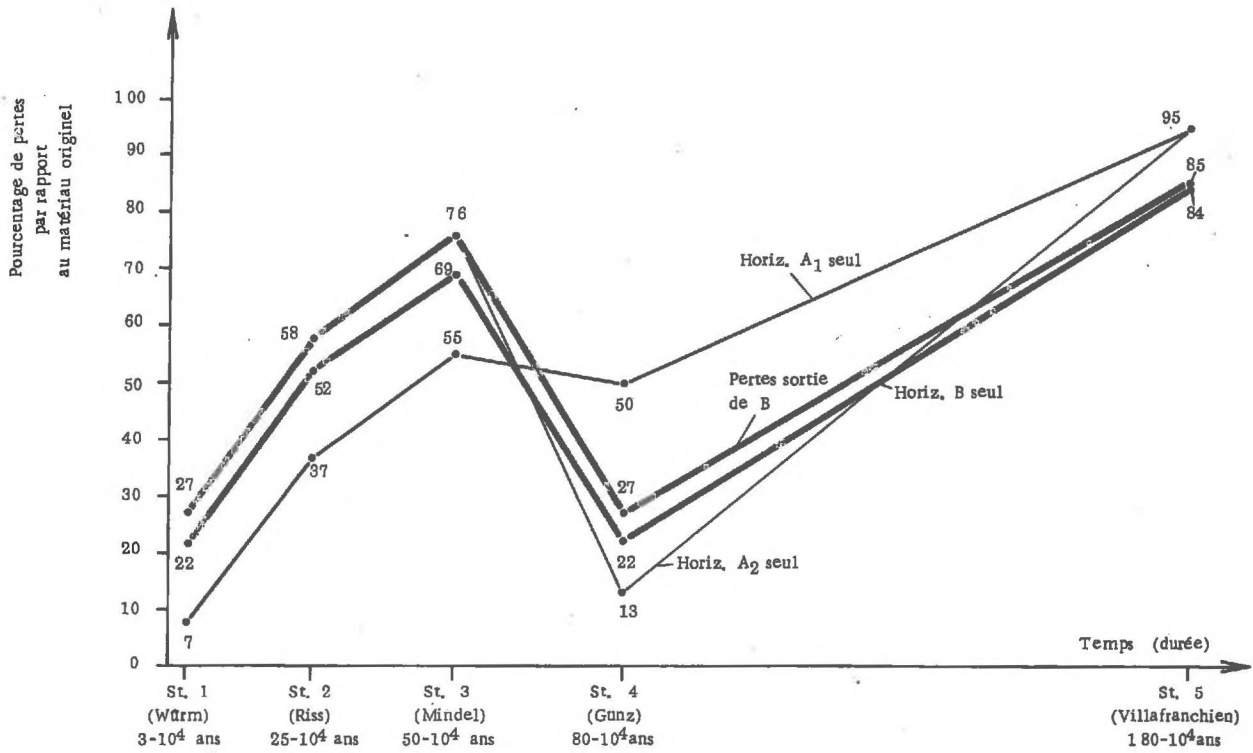


Fig. 9 - 2

**ÉVOLUTION DES PERTES EN SILICATES
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en Si O₂ pour cent de la masse globale du sol)**

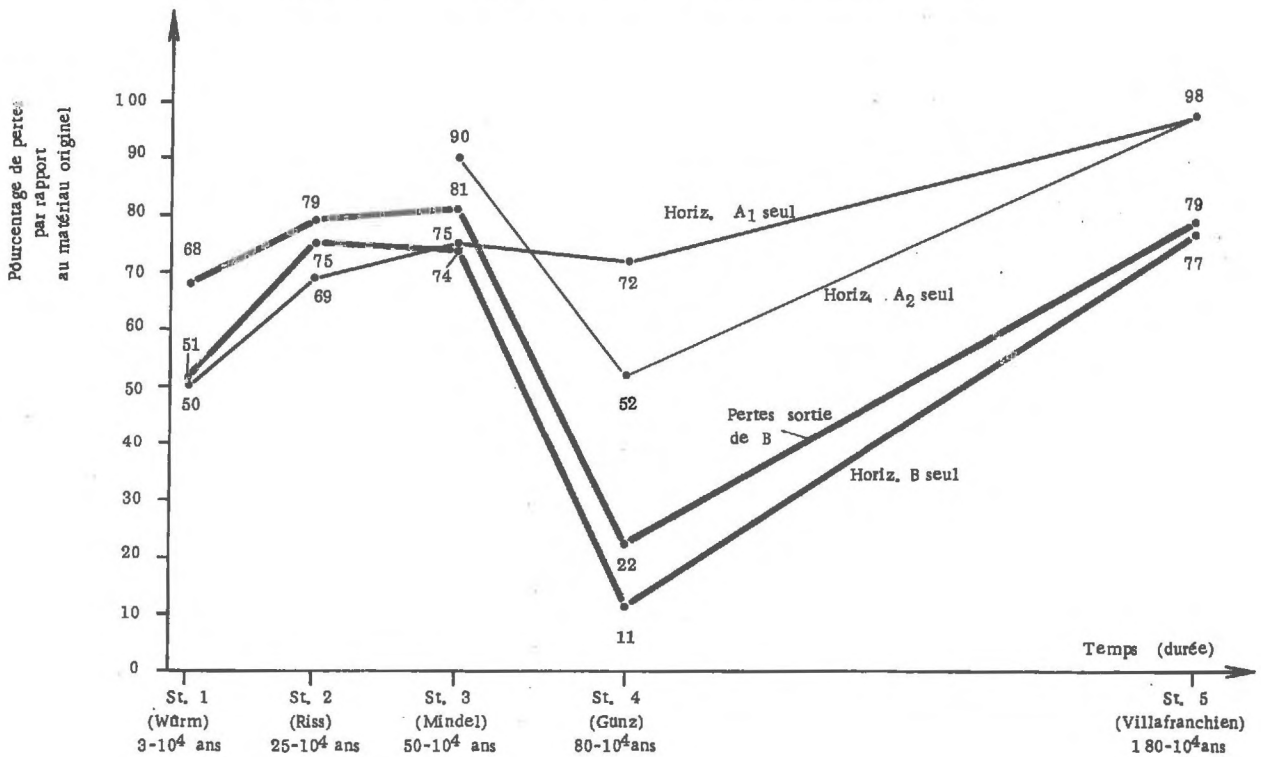


Fig. 9 - 3

**ÉVOLUTION DES PERTES EN ALUMINIUM
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en Al_2O_3 pour cent de la masse globale du sol)**

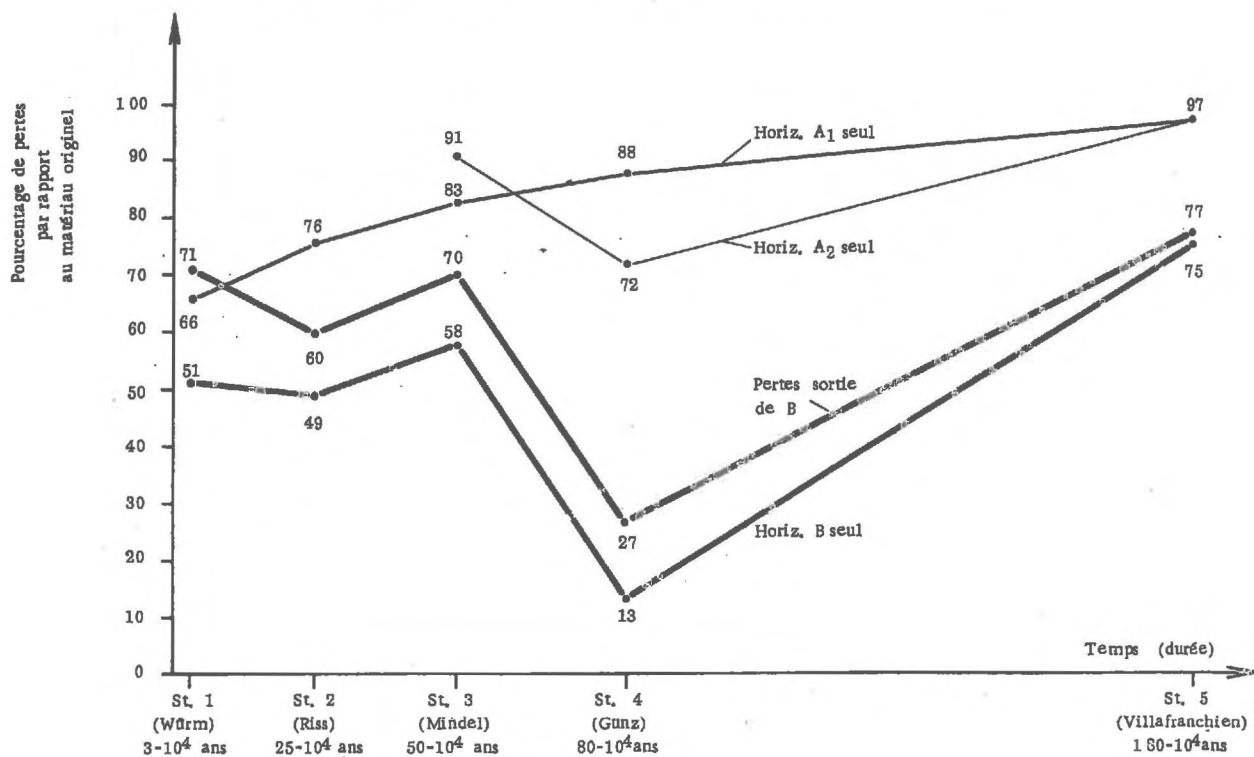


Fig. 9 - 4

**ÉVOLUTION DES PERTES EN FER
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en Fe_2O_3 pour cent de la masse globale du sol)**

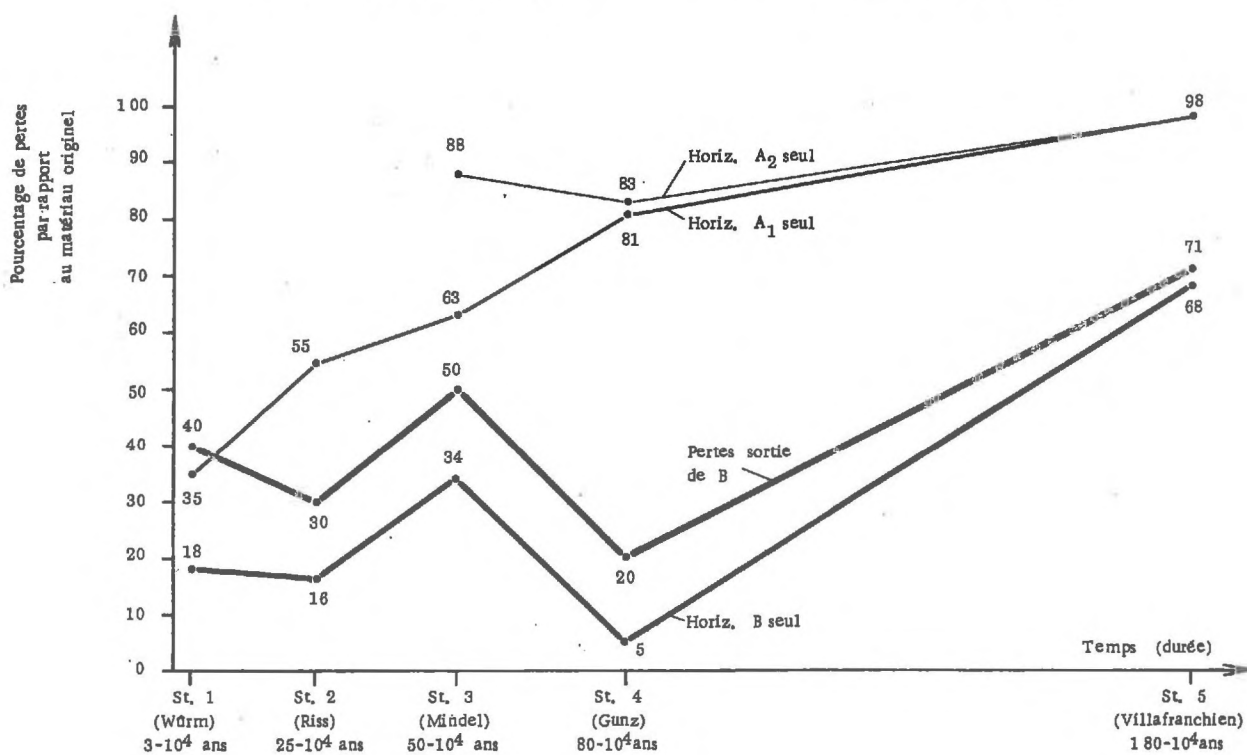


Fig. 9 - 5

**ÉVOLUTION DES PERTES EN MAGNÉSIUM
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en Mg O pour cent de la masse globale du sol)**

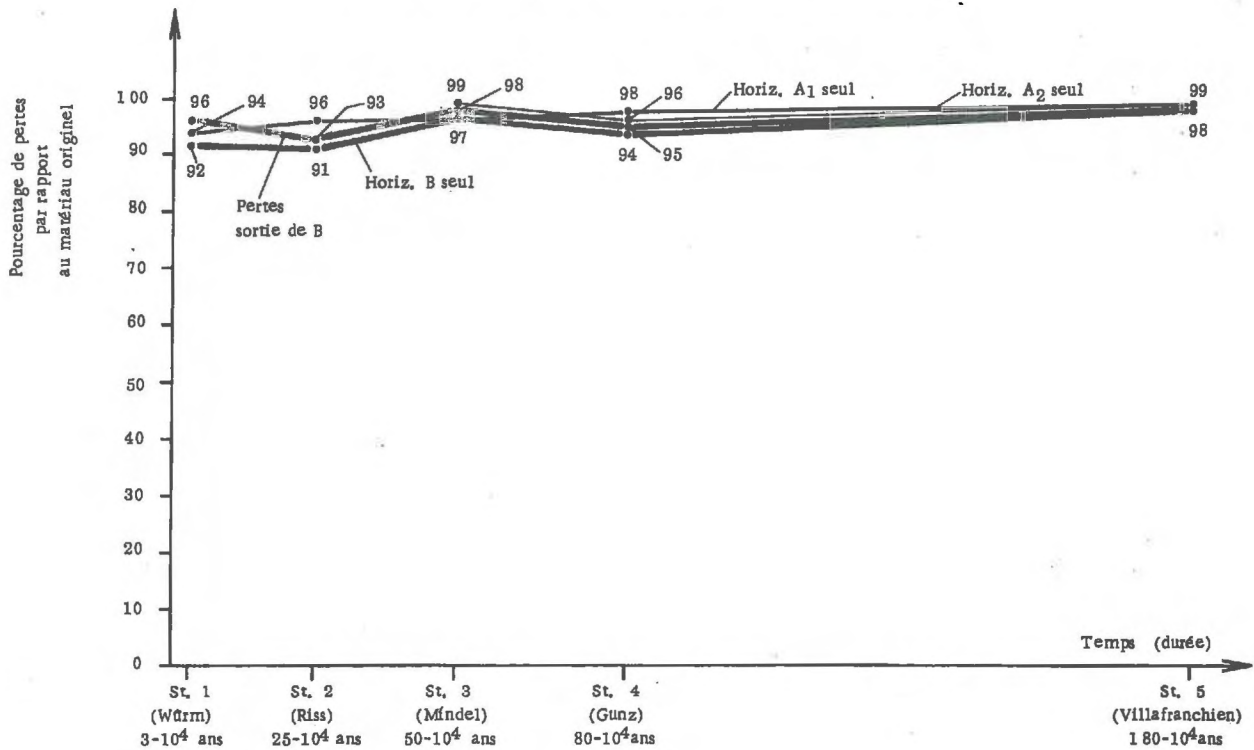
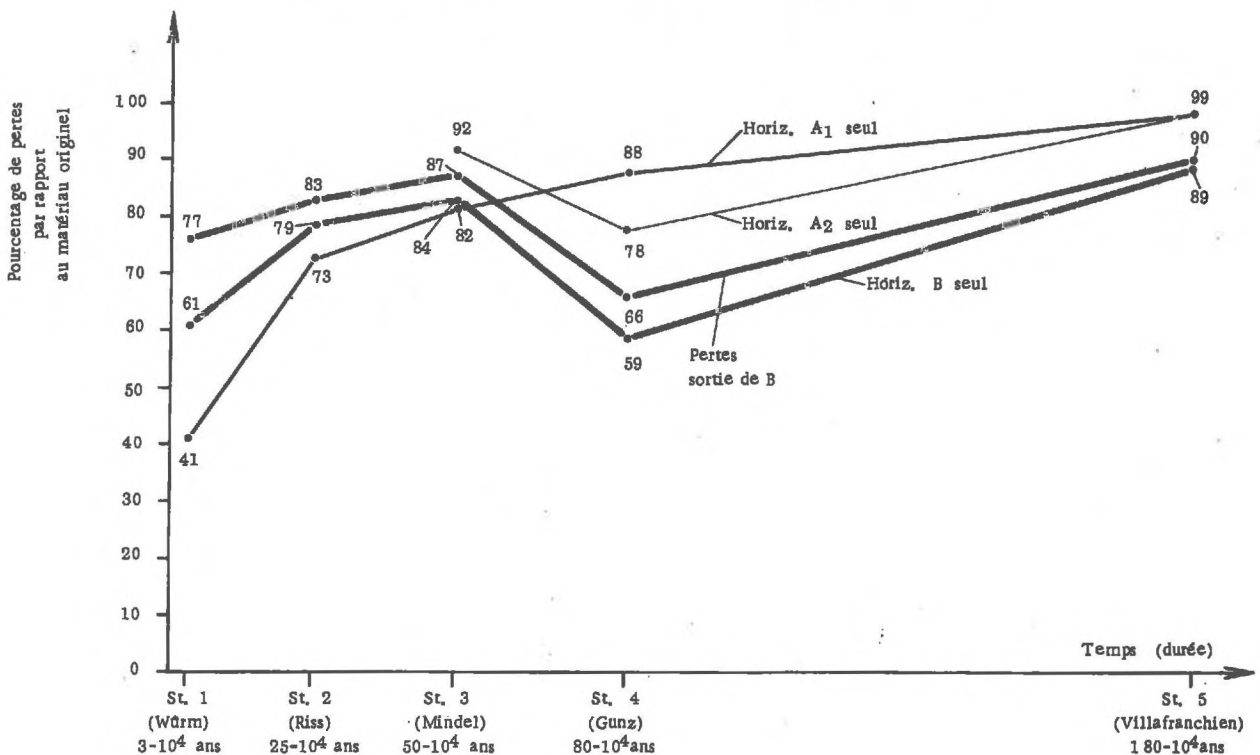


Fig. 9 - 6

**ÉVOLUTION DES PERTES EN POTASSIUM
LORS DE LA FORMATION DES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimées en K₂ O pour cent de la masse globale du sol)**



3 - TYPES D'ÉVOLUTIONS OBSERVÉES.

a) - Grands traits de l'évolution géochimique générale.

Les figures et les tableaux qui précèdent permettent de tirer un certain nombre de considérations générales concernant l'évolution comparée des pertes pour des éléments chimiques étudiés.

- Pour le fer et l'aluminium, nous observons une disjonction importante entre les horizons A et les horizons B. Dans les horizons A, les pertes croissent de manière assez régulière du stade 1 au stade 5 et se situent généralement à un niveau supérieur à celles qui peuvent se produire au sein de l'horizon B considéré comme fonctionnant de façon indépendante. Les pertes en B revêtent une allure plus complexe avec présence de maximum et minimum, en liaison avec les différences de mobilité des cations considérés et avec les gradations de progression des phénomènes d'altération.

- Pour la silice et le potassium, la disjonction entre A et B est beaucoup moins nette. Dans les 3 premiers stades, les pertes qui sont plus fortes en B qu'en A se situent à un niveau plus élevé que celles observées pour les éléments précédents. Pour les derniers stades, les pertes des horizons de surface redeviennent supérieures à celles des horizons B, qui passent toujours par un minimum au stade 4.

- Enfin, l'évolution des pertes en magnésium est encore à dissocier de celle des deux ensembles précédents. Les pertes sont grossièrement identiques dans les horizons A et B; elles se situent à un niveau qui reste exceptionnellement élevé (supérieur à 90 %) dans les différents stades évolutifs.

Après cette comparaison générale, nous pouvons maintenant essayer de dégager les traits d'évolution plus spécifiques aux différents éléments chimiques étudiés.

b) - Cas du fer et de l'aluminium.

Les pertes de fer et d'aluminium suivent des évolutions comparables et tout à fait homologues. C'est seulement le niveau atteint par ces pertes à un stade donné qui diffère de façon assez sensible. Ainsi, les pertes en aluminium sont toujours nettement supérieures à celles de fer. Ceci semble lié :

- aux différences de mobilité propres aux deux cations,
- aux variations des possibilités de fixation du fer et de l'aluminium sur ou au sein des réseaux argileux.

Le détail des évolutions dans les différents horizons peut se résumer comme suit :

- Au sein des horizons de surface A, les pertes augmentent de façon régulière et continue du stade 1 au stade 5. Elles passent de 30 à 98 % pour le fer et de 66 à 97 % pour l'aluminium.

- Au sein des horizons B, les pertes sont d'abord relativement faibles avec maintien d'un niveau assez voisin dans les 2 premiers stades, puis elles subissent une augmentation nette au stade 3, d'ailleurs plus sensible pour le fer (16 à 34 %) que pour l'aluminium (50 à 58 %). Au stade suivant, on assiste à une diminution assez brutale des pertes pour les 2 éléments; ce qui semble correspondre à une caractéristique importante des processus d'altération étudiés. Les pertes remontent ensuite à un niveau très élevé au stade ultime d'évolution villafranchien.

c) - Cas de la silice.

Pour la silice totale, si le sens général de l'évolution reste comparable à celui décrit pour les cations ci-dessus, on note néanmoins un certain nombre de nuances. Ainsi, dans les 3 premiers stades, l'ampleur relative des pertes est inversée, c'est à dire que les pertes des horizons B sont inférieures aux pertes de A, mais toutes deux croissent régulièrement du stade 1 au stade 3. Pour les stades ultérieurs, les pertes de A continuent de croître, alors qu'en B elles passent encore par un minimum au stade 4 pour reprendre un niveau élevé au stade 5.

Dans le cas de la silice non quartz, le trait marquant est constitué par le haut niveau de pertes observées dès les premiers stades évolutifs dans les horizons A comme dans les horizons B. Dans les horizons A, après avoir augmenté faiblement, les pertes se maintiennent ainsi grossièrement au même niveau pendant les stades 2, 3 et 4 pour augmenter considérablement au stade 5. Dans les horizons B, nous observons toujours une chute brutale des pertes au stade 4 suivie d'une reprise au stade ultime.

d) - Cas du potassium.

Pour le potassium, les différences entre horizons sont beaucoup moins grandes. Pour les horizons A, nous assistons encore à une augmentation régulière et continue des pertes depuis le stade 1 jusqu'au stade 5, en partant d'un niveau assez élevé dès le premier stade. Pour les horizons B, les pertes sont similaires, mais la diminution observée au stade 4 est d'ampleur moindre que celle mentionnée pour les 3 cations précédents.

e) - Cas du magnésium.

Enfin, le comportement du magnésium est à dissocier complètement de celui des autres cations puisqu'au cours des différents stades évolutifs observés, les pertes restent constantes, tout en se situant à un niveau particulièrement élevé (90 à 95 %). Ce qui signifie pratiquement qu'en raisonnant par rapport à l'invariant quartzite, la plus grosse partie du magnésium est éliminée du système dès les premiers stades d'évolution.

4 - CONCLUSIONS.

En combinant cet ensemble de données quantitatives avec les données qualitatives recueillies précédemment, il devient possible d'envisager des interprétations plus générales.

4ème PARTIE

INTERPRÉTATIONS GÉNÉRALES

I N T R O D U C T I O N

Dans les deuxième et troisième parties, nous avons pu dresser un bilan général des diverses transformations observées, d'abord à partir des données fournies par les analyses morphologiques et micromorphologiques (chap.7), mais aussi à partir des essais de quantification (chap.8 et chap.9). Ceci nous a notamment permis de mettre l'accent sur l'importance des phénomènes de transferts de matière et sur l'existence de pertes réelles au cours de l'évolution.

Il nous reste maintenant à dégager quelques-uns des aspects essentiels de l'évolution minéralogique et géochimique du complexe d'altération des sols des terrasses rhodaniennes (chap.10), et en particulier du système "argile-fer".

Ensuite, partant de cette série de points et de jalons discontinus, notre objectif est d'essayer de remonter à l'évolution des sols qui a bien évidemment été continue dans le temps. Aussi, nous tenterons de caractériser au mieux les grandes phases qui ont présidé à cette évolution, puis nous ferons le point sur les mécanismes qui peuvent en être responsables ainsi que sur leurs modalités de propagation (chap.11).

Enfin, dans un dernier chapitre, nous proposons de tirer les enseignements majeurs de l'étude de ces sols, aussi bien pour la genèse des sols de terrasses que pour la connaissance des phénomènes quaternaires (chap.12).

Chapitre 10

LE SYSTEME "ARGILE - FER" ET SON EVOLUTION DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES

L'ensemble des transformations des éléments grossiers caillouteux s'accompagne de modifications importantes qui se répercutent sur le complexe d'altération dont l'épine dorsale est constituée par le complexe argilo-ferrique. Il faut donc envisager l'évolution de chacune des composantes du "système", avant d'étudier leurs relations.

A - EVOLUTION DES ARGILES .

Nous nous proposons tout d'abord de bien situer l'importance des phénomènes de fabrication d'argile ou d' "argilisation", avant de dresser un bilan schématique de l'évolution minéralogique des argiles dans les sols de la séquence rhodanienne. Enfin, nous essayerons de faire la part des principaux mécanismes qui participent à la genèse et à l'évolution de ces minéraux argileux.

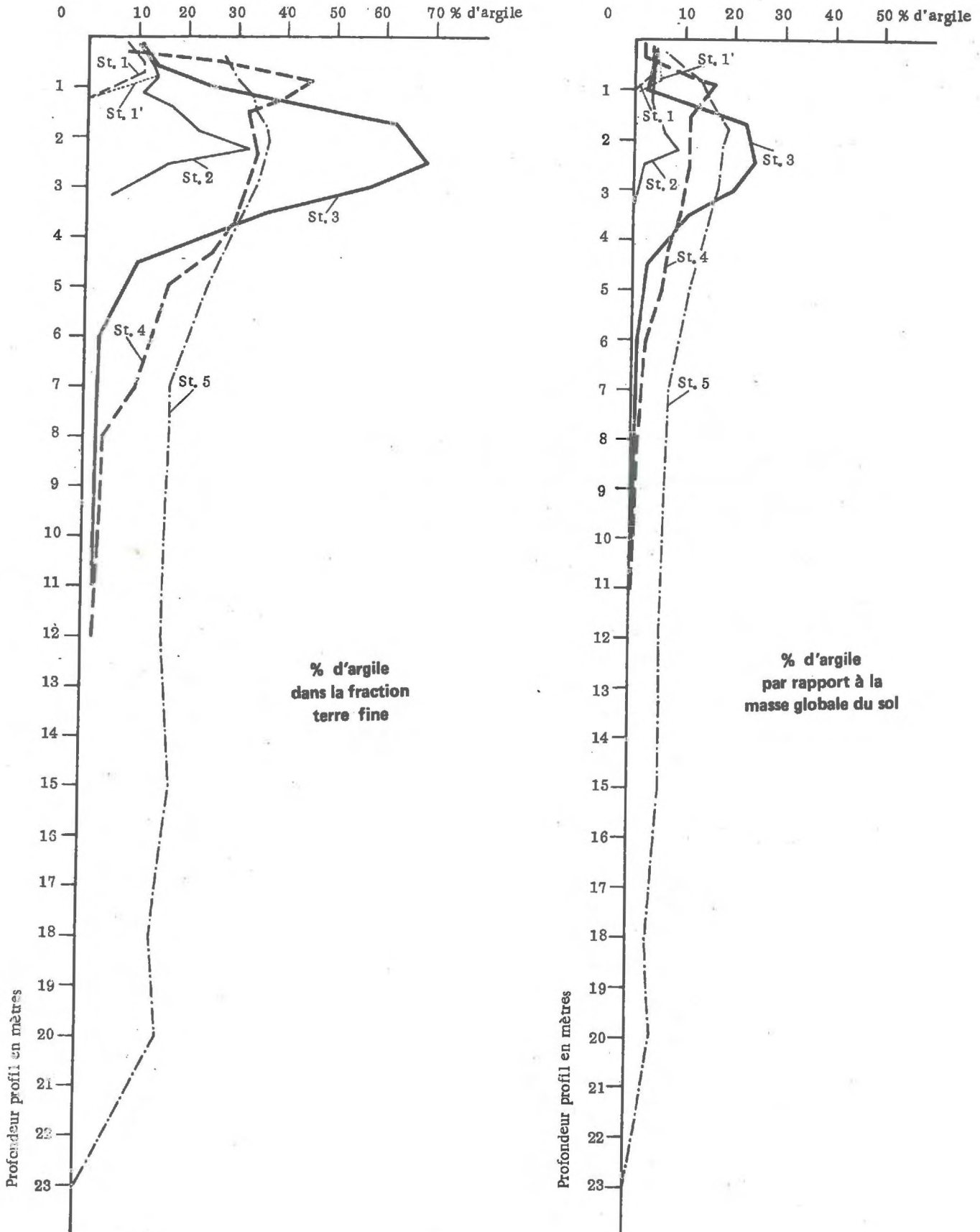
1 - PHENOMENES D'ARGILISATION.

11. PROGRESSION DES PHENOMENES D'ARGILISATION.

La progression des phénomènes d'argilisation au sein des différents stades évolutifs de la séquence est schématisée sur la fig. 10.1 . Ces résultats viennent quantifier les phénomènes décrits et explicités lors de l'étude des organisations plasmiques (chap.7 - fig. 7.2).

Fig. 10 - 1

LES PHÉNOMÈNES D'ARGILISATION DANS LES SOLS DES TERRASSES RHODANIENNES



a) - Au démarrage des processus (stades 1 et 1'), le front d'argilisation la plus intense reste peu marqué (6 %) et se localise dans les horizons de surface.

b) - Au fur et à mesure que progressent les phénomènes d'évolution, nous assistons à la fois à une augmentation absolue du taux d'argilisation maximum (qui passe de 10 à 20-25 %*) et au sein même des profils, nous observons aussi un enfoncement progressif de ce front qui vient se stabiliser dans les horizons B à des profondeurs comprises entre 200 et 250 cm.

c) - Dans la phase suivante (stade n° 4), la légère remontée dans le profil du front d'argilisation maximum témoigne de l'effet de barrage joué par les phénomènes de colmatage existant dans les niveaux les plus argilifiés cités précédemment.

d) - Enfin, dans la phase ultime de l'évolution, l'homogénéisation de la distribution d'argile déjà amorcée dans la phase précédente se poursuit. Elle est la conséquence de l'évacuation vers la base des profils de quantités importantes d'argile aboutissant à la création d'un maximum d'argilisation beaucoup moins marqué au sein de ces sols.

12. ARGILISATION ET FORMATION DES SOLS.

Le tableau 10.2 rassemble les données calculées concernant les variations du stock d'argile au sein des différents stades évolutifs. Les courbes de la figure 10.2 qui s'en déduisent montrent clairement que :

a) - Le stock d'argile dans les profils augmente régulièrement avec le degré d'évolution des sols : il y a donc argilisation continue des matériaux et des sols.

b) - Nous observons un maximum net d'argilisation au stade 3, qui confirme que la phase de transformation des minéraux primaires issus des galets cristallins est bien génératrice de la plus forte quantité d'argile au sein des sols étudiés.

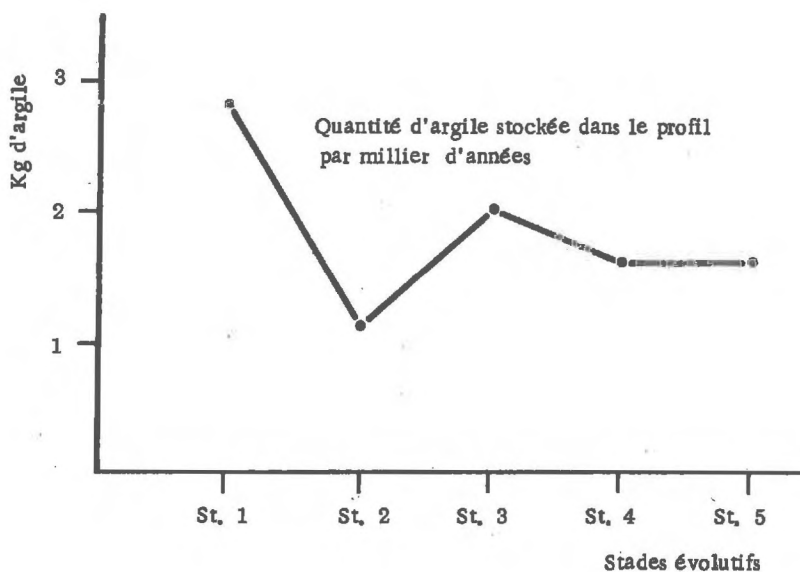
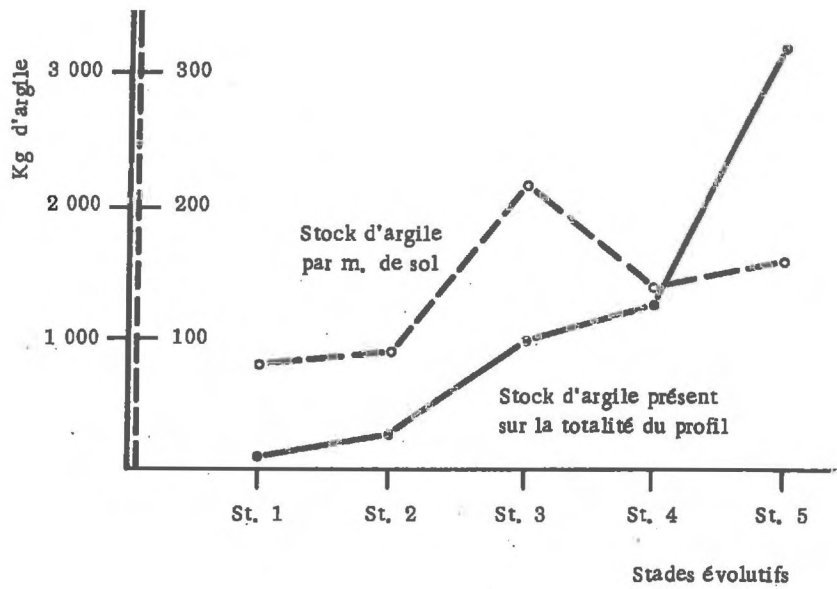
c) - En revanche, par référence au temps, nous constatons que la quantité d'argile stockée est proportionnellement plus importante dans les stades initiaux (stade n° 1) que dans les autres stades

* Les taux d'argile cités ici (20-25 % maximum) qui se réfèrent à la masse globale du sol peuvent paraître peu élevés. Si nous raisonnons en volume réellement occupé, il faudrait grossièrement les doubler pour tenir compte des différences de densité existant entre l'argile et les cailloutis quartzeux. De sorte que dans les niveaux colmatés, l'argile occupe plus de 50 % du volume total de l'horizon.

Tabl. 10 - 1 Fig. 10 - 2

**VARIATION DU STOCK D'ARGILE
AU SEIN DES DIFFÉRENTS STADES ÉVOLUTIFS DE LA SÉQUENCE RHODANIENNE**

STADES ÉVOLUTIFS	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	
Durée d'évolution en milliers d'années	30	250	500	800	2000	
Épaisseur totale du profil en mètres	1	3	4,5	9	20	
Quantité d'argile présente sur l'ensemble du profil en kg/m ² d'emprise au sol	A	45	45	40	25	100
	B	40	235	960	1275	3200
	Tot. A+B	85	280	1000	1300	3300
Concentration moyenne en argile en kg/m de sol.	85	93	222	144	165	
Quantité d'argile en kg par millier d'années	2,8	1,1	2	1,6	1,65	



évolutifs. Ces données apportent quelques éléments pour comparer l'importance relative de la production d'argile à partir des éléments calcaires et à partir des éléments cristallins.

Nous pouvons ainsi affirmer que, au départ de l'évolution, lors de la constitution de la première phase argileuse, la part de l'héritage à partir des calcaires est grosso-modo trois fois plus importante que celle des autres minéraux présents dans les matériaux originels.

2 - EVOLUTION MINERALOGIQUE DES ARGILES DANS LA SEQUENCE ETUDIEE.

Pour bien comprendre l'évolution propre des minéraux argileux au cours du développement et de la formation des sols des terrasses rhodaniennes, il importe de ne jamais perdre de vue que cette phase argileuse cumule les effets des phénomènes de transferts granulométriques étudiés plus haut et ceux des phénomènes de transformations des minéraux primaires, qui sont d'ailleurs étroitement liés. Or, nous venons de voir que ces transformations s'effectuent de façon très progressive et corrélativement à celles des éléments grossiers caillouteux (dissolution des galets calcaires et désagrégation des galets cristallins); de plus, elles se compliquent souvent de phénomènes de piègeage d'argile, possibles à différentes échelles (ensemble des galets, porosité propre des galets mais aussi porosité du minéral lui-même).

Dans les sols étudiés, tant qu'il reste au sein d'un horizon quelconque, des minéraux primaires susceptibles de libérer et de fournir un "matériel argileux frais" en quantité appréciable, il est évident que cette alimentation nouvelle joue un rôle primordial sur la composition des cortèges argileux et que l'évolution des argiles est alors assez limitée, puisqu'elle est directement influencée par ce renouvellement continu de matériel argileux.

Lorsque nous suivons la formation des cortèges argileux, de fait nous ne faisons qu'enregistrer la résultante globale des divers phénomènes cités. Néanmoins, les variations dans la constitution même de ces cortèges argileux a valeur de témoin car elle permet de retrouver les grandes lignes d'orientation de l'évolution des sols.

Au plan des résultats, nous devons dissocier les horizons de surface et les horizons B car la présence ou l'absence de matière organique semble bien jouer un rôle fondamental sur l'évolution des argiles.

a) - Horizons B.

Au sein des horizons B, l'évolution pédogénétique s'effectue en présence de quantité infime de matière organique (moins de 0,2 % de matière organique par rapport à la masse globale du sol) et aboutit à la constitution de cortèges argileux présentant deux types de composition assez différents, reflétant des degrés d'intensité bien distincts.