

**ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL
DES EAUX ET DES FORETS**

Centre de Nancy

**Diplome d'Etude Approfondie
de
Biologie Végétale et Forestière**

**EXTRAPOLATION DU CATALOGUE
DES STATIONS FORESTIERES
DE LA HAUTE-MARNE :
BASSIGNY, PAYS D'AMANCE-APANCE,
AUX ESPACES AGRICOLES, EN VUE D'EVENTUELLES
PLANTATIONS
SUIVANT UNE PHASE DE DEPRISE**

Claudine MEUNIER

Président du jury : M.DEXHEIMER

**Membres du jury : MM.BONNEFONT
FRANC
RAMEAU
TOUTAIN**

Rapport de D.E.A.

Octobre 1990

E. N. G. R. E. F.	ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS	TRAVAUX D'ELEVES
TITRE Extrapolation du catalogue des stations forestières de la Haute-Marne : Baniquay, Pays d'Amance - Apance, aux espaces agricoles en vue d'éventuelles plantations suivant une phase de déprise.		Code Interne Doc.
SUJET - voir s'il est possible d'étendre les résultats du catalogue des stations forestières de Baniquay, Amance - Apance aux espaces agricoles. - la démarche adoptée repose sur l'étude des relations roches - matériaux - sol, qui aboutit à un découpage morpho-pédologique, puis sur des études pédologiques comparatives de coupes homologues (prairie - forêt).		Mots clés • catalogue de stations • Baniquay, Amance - Apance • déprise agricole • extrapolation • relations roches - matériaux - sols • unités morpho-pédologiques • coupes homologues
AUTEURS MEUNIER Claudine	Promotion 88-90	
CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT Unité Ecosystèmes forestiers et Ecologie du Paysage, ENGREF Nancy		
Nom du responsable et fonction		
Nom du pilote ENGREF M. RAMEAU		
Type de travail et durée (heures ou mois)	thème pratique <input type="checkbox"/> travail d'option <input checked="" type="checkbox"/> autre travail <input type="checkbox"/>	durée 6 mois durée durée
Date début (ou commande) Mars 90		Date fin oct. 90
Cadre Pédagogique (séquence du tronc commun, option, etc..)		DEA de Biologie Végétale et Forestière ENGREF - Université Nancy II
Contrat Junior Entreprise		Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>
Caractéristiques : nb.vol./nb.pages/fig./annexes/plans/cartes/biblio./etc..		
Suites à donner (réservé ENGREF et responsable extérieur)		
Non consultable <input type="checkbox"/> Consult. restreinte sur demande <input type="checkbox"/>	Consult. normale (prêt interne) <input type="checkbox"/>	Diffusion <input checked="" type="checkbox"/> Vente souhaitable <input type="checkbox"/> Article souhaitable <input type="checkbox"/>
Consultation au Centre de		

REMERCIEMENTS

Que soient ici remerciés pour leur aide constante et leur soutien moral au cours du déroulement du DEA J.-C.BONNEFONT, A.FRANC, J.-C.RAMEAU et F.TOUTAIN, qui m'ont encadrée et guidée dans la réalisation de ce travail.

Il m'est agréable de remercier vivement pour leur dynamisme et leur aimable collaboration toute l'équipe de l'ONF, division de Langres, sans laquelle cette étude aurait probablement stagné.

Je remercie pour leur accueil, toutes les personnes rencontrées

- au centre de Pédologie du CNRS Nancy,
- à la DDAF et à la DDE de Haute-Marne
- à la société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhône.

Et je n'oublie pas que ce travail n'a pu progresser qu'à l'occasion d'échanges formels ou informels, de prêts de documents, de matériels, ou de tournées sur le terrain. Pour ces aides, mes remerciements vont à MM. ARNOULD, BLAISON, DELECOUR, FLAMMARION, GIRAULT, HAGUENAUER, KOSSURA, LAMBERT, MAUBEUGE, MAIGNIEN, PERNES et VALADAS.

Enfin, je dois beaucoup à J.-L.VETTORETTI, qui a participé à la frappe de ce document et m'a encouragé au long des dernières semaines.

Que tous reçoivent ma sincère reconnaissance.

SOMMAIRE

	page
Résumé	
Introduction	
1- Cadre de l'étude	
11- Situation géographique	1
Une région carrefour	
Une zone de partage des eaux	
Un climat peu tranché	
12- Le cadre géo-morpho-pédologique	
121- Délimitation de la zone d'étude	7
122- Architecture du relief	7
123- Les grands types de sol	9
13- Utilisation de l'espace et végétation forestière	
131- Utilisation de l'espace	11
132- Végétation forestière et groupements végétaux	11
133- Une occupation des sols remise en question	13
2- Problèmes posés et méthodologie	
21- Un double problème pour un double objectif	15
22- Démarche et méthodes	
221- Démarche	16
Relations roche-matériau-sol-végétation	
Etudes pédologiques	
222- Méthodes	17
Domaine de travail	
Etudes de terrain	
3- Relations roche - matériau - sol - végétation	
Les éléments pour une logique spatiale	
31- Les roches et leurs altérites	
311- Les types de roches	21
312- Processus d'altération	22
313- Tableau récapitulatif	23

32- La dynamique Quaternaire	
321- Creusement du réseau hydrographique	31
322- Le milieu périglaciaire	
1/ Genèse, distribution et remaniement des formations superficielles	31
2/ Les formations superficielles dans les régions du catalogue des stations	
a/ Altérites en place	33
b/ Les dépôts	39
33- Les sols	45
34- Proposition de découpage morpho-pédologique	48
35- Occupation des sols - Conséquences de l'occupation humaine	57
4- Comparaisons pédologiques des "couples homologues" prairie-forêt	
41- Choix des couples et distribution	
411- Echantillonnage	61
412- Etude des données analytiques quantitatives	63
1/ Composition granulométrique	
2/ Analyse en Composantes Principales	
42- Etude des squelettes granulométriques	71
421- Utilité et limites de la méthode	
422- Discussion sur l'homologie des couples	
43- Comparaisons des couples	
431- Etude détaillée de 37 profils	73
432- Etude des textures	
1/ Sols sous prairie	75
2/ Sols sous forêt	79
433- Hydromorphie	79
434- Modifications des caractéristiques chimiques	79
1/ Des pH plus élevés sous prairie	
2/ Un niveau trophique supérieur sous prairie	
3/ Des résultats contrastés pour le C/N	
435- Etude du compactage des sols	84
1/ Matériel utilisé et méthodes	
2/ Les variables	
3/ Analyse des résultats	
5- Bilan général	
51- Résultats par rapport à l'objectif initial	96
52- Modalités de reboisement sur terrains agricoles	
521- Choix des surfaces à replanter dans le cadre de la déprise agricole	97
522- Perspectives : essences de reboisement à préconiser en fonction des unités morphopédologiques	99
53- Points à compléter - suites à donner	100

Annexes

- 1- Sondages
- 2- Extraits des cartes IGN au 1/25 000
- 3- Résultats des analyses chimiques et granulométriques
- 4- Comparaison de squelettes granulométriques
- 5- Résultats des tests pénétrométriques en MPa et des mesures de l'humidité à 20 cm de profondeur
- 6- Données pluviométriques de septembre 89 à mai 90
- 7- Fichier des résistances trié par ordre d'humidité décroissante
- 8- Fichier des résistances trié par ordre de % d'argile décroissant

Cartes, graphiques et tableaux numérotés

Bibliographie

RESUME

Cette étude s'insère dans la problématique de valorisation forestière des terres abandonnées par l'agriculture. Son objectif est de voir s'il est possible d'étendre l'application du catalogue des stations forestières du Bassigny, Amance-Apance aux zones prairiales.

La démarche adoptée repose sur l'étude des relations roches-matériaux-sols, qui aboutit à la détermination d'unités morpho-pédologiques. Celles-ci permettent de faire la liaison entre les stations forestières et leurs "homologues" sur espaces prairiaux. Sur chaque unité des études pédologiques sont effectuées, afin de déterminer les divergences entre les deux types de profil et de dégager les nouvelles contraintes engendrées par une utilisation agricole.

Si l'extrapolation du catalogue des stations forestières aux espaces agricoles s'avère difficilement réalisable à cause de divergences pédologiques importantes liées à l'utilisation du sol, l'approche roches-matériaux-sols se révèle intéressante pour comprendre l'organisation du paysage, et constituer la base commune d'une typologie forestière et d'une typologie "prairiale" en vue du reboisement.

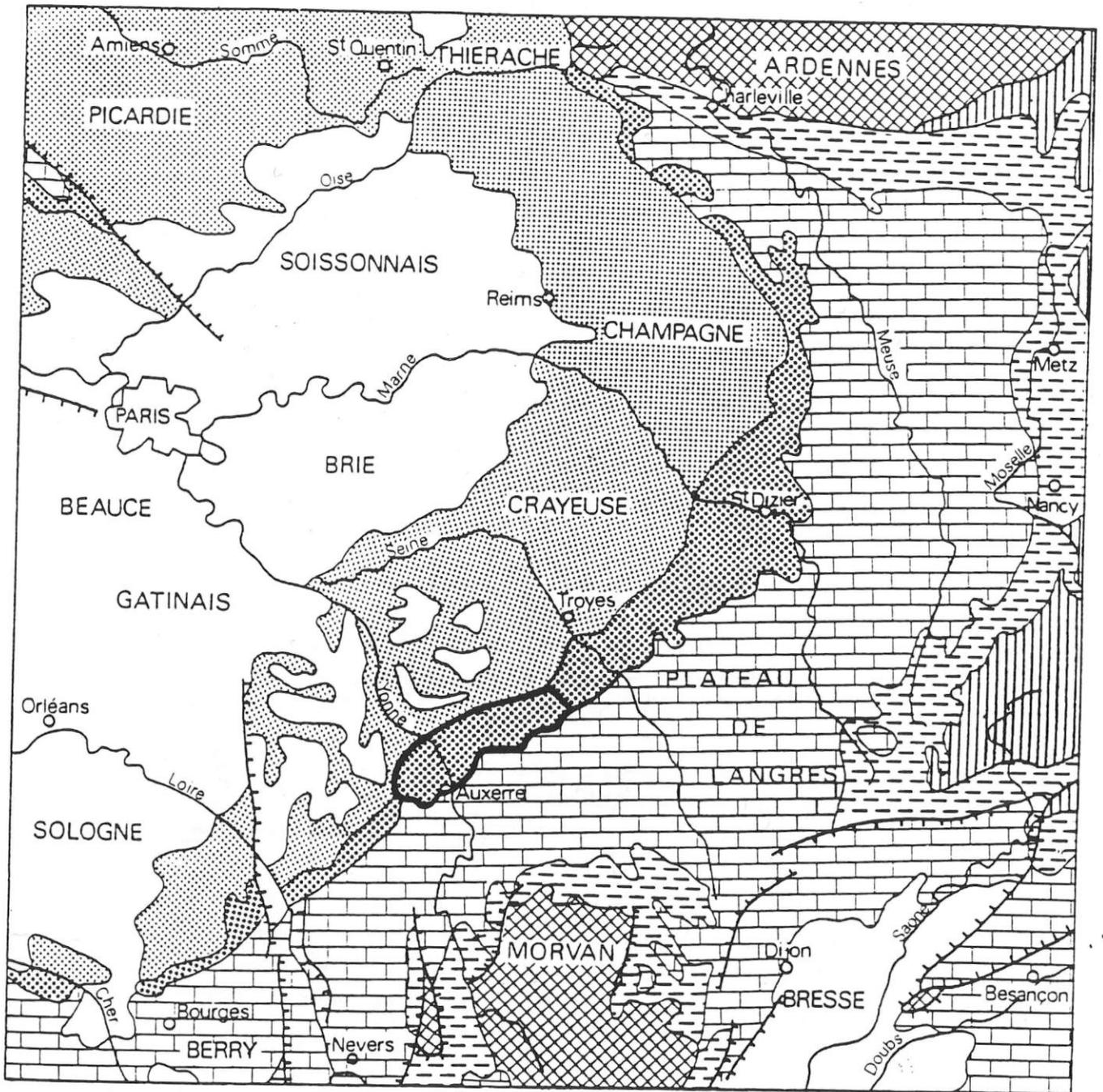
INTRODUCTION

La forêt représente une séduisante possibilité d'utilisation des terres que les agriculteurs abandonnent. Déjà de nombreux propriétaires de terrains agricoles (privés et communes) font des demandes de reboisement auprès de la DDAF et de l'ONF. Cet intérêt grandissant motive l'étude suivante qui se résume simplement par une question :

Comment approcher les potentialités forestières de terrains non boisés ?

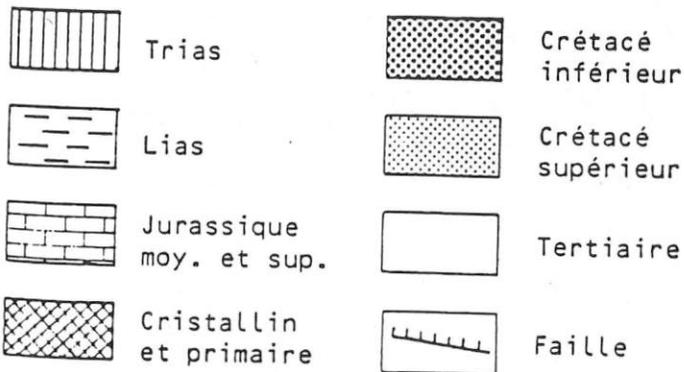
Les objectifs sont donc :

- de voir s'il est possible de mettre au point une méthodologie permettant une extrapolation des résultats du catalogue des stations forestières aux espaces prairiaux,
- de définir les possibilités de reboisement en feuillus précieux, dans ces zones soumises à la déprise agricole, en fonction des contraintes édaphiques.



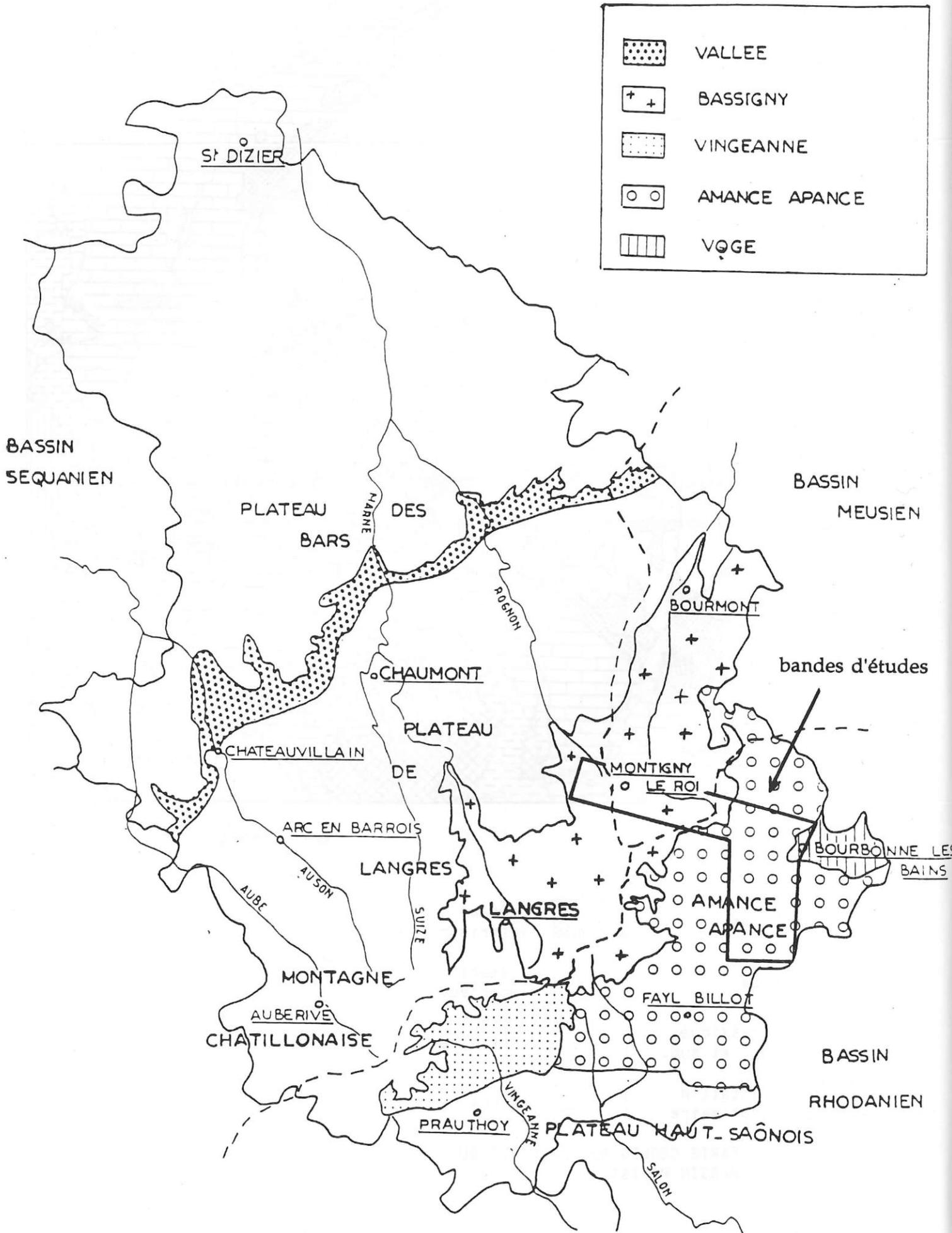
0 50 100 150 Km

Echelle: 1/2 500 000



CARTE GEOLOGIQUE DE L'EST DU BASSIN PARISIEN.

Carte 1: Haute-Marne - Les régions agricoles
 Localisation des régions concernées par le catalogue.



1- CADRE DE L'ETUDE

11- Situation géographique

Une région carrefour:

Située au sud-est du département de la Haute-Marne (carte 1), le territoire concerné par l'étude s'étend sur 3 petites régions naturelles:

- le Bassigny - Vingeanne
- l'Amance - Apance
- la Vôge

Tableau 1: quelques chiffres

	Superficie (ha)	en % du territoire départemental	Limite altitudinale (en m)
Bassigny-Vingeanne	67 594	10,8	350-450
Amance-Apance	67 144	10,7	260-360
Vôge	2 324	0,37	250-320

	taux de boisement	% collectivités	% privés
Bassigny-Vingeanne	13,40 %	41,4	58,6
Amance-Apance	38,87 %	51	49
Vôge	16,21 %	49	51

Source : résultats du 2^{ème} inventaire forestier, IFN 1985, tome I

Si la géologie le rattache au nord et à l'ouest au bassin de Paris, il s'ouvre à l'est et au sud au sillon rhodanien, ce qui en fait une zone limite, partagée entre les influences de la Lorraine, de la Champagne, de la Bourgogne et de la Franche-Comté.

Une zone de partage des eaux:

Mais l'originalité fondamentale de ce territoire réside dans l'organisation de son réseau hydrographique, partagé en 3 grands bassins distincts:

- le bassin séquanien, dans la partie nord-ouest, drainé par la Marne et ses affluents,
- le bassin meusien, au nord; la Meuse avec ses nombreuses sources forme l'axe du Bassigny et s'oriente selon une direction sud-ouest, nord-est,
- le bassin rhodanien, au sud-est, avec de nombreuses rivières qui alimentent l'Apance et l'Amance, affluents de la Saône.

C'est à leur fonctionnement différentiel que l'on doit en grande partie l'articulation et la division du relief - base d'un premier découpage géomorphologique.

Un climat peu tranché:

Si une certaine diversité géologique, géomorphologique et biogéographique se manifeste, donnant à chacune des régions géographiques certains traits distincts, cette diversité ne s'exprime pas dans le domaine climatique.

Nettement marqué par l'influence continentale, le climat se caractérise globalement par:

- des hivers froids, humides, brumeux, des chutes de neige fréquentes, un nombre de jours de gelée important,
- des printemps frais, moyennement pluvieux, avec des gelées,
- des étés chauds, orageux,
- des automnes pluvieux et brumeux

Tableau 2 : Précipitations

Stations	Alt. (m)	Période (ans)	Total annuel (mm)	J (mm)	F (mm)	M (mm)	A (mm)	M (mm)	J (mm)	Jt (mm)	A (mm)	S (mm)	O (mm)	N (mm)	D (mm)	Pluie (Nb j) >1 mm	Pluie (Nb j) >10 mm	Neige (Nb j)	Brouillard (Nb j)
Langres	464	29	881	80	77	70	54	76	77	59	86	76	65	81	82	132	25		
Is en Bassigny	391	11	1041	110	84	98	68	99	95	68	74	67	86	85,5	107	145	32	30	8
Val de Meuse	380	32	848	78	67	65	53	76,5	77	60	74	71	66	78	81	131	25	17,5	4,5
Dammartin	384	27	842	78,5	62	68	57	77	76	56	74	71	65	80	77	130	25	15	
Varennes	371	11	977	98	76	83	61	95	94,5	65	60	72	88,5	80	104	143	29	21	7
Fayl la Forêt	345	29	836	75	69	66	52	64	84	61	82	73	58	74	77	123	26		
Bourbonne	320	12	936	96,5	78	82	57,5	85	80	62	61	70	89	77	98	150	28,5	16	1,1

Tableau 3 : Températures

Stations	Alt. (m)	Période (ans)	Moy/an °C	J (mm)	F (mm)	M (mm)	A (mm)	M (mm)	J (mm)	Jt (mm)	A (mm)	S (mm)	O (mm)	N (mm)	D (mm)	Nb j avec TN < 0 TX < 0	Nb j avec TX > 25 TX > 30	TN Moy	TX
Langres	464	29	8,8	-1,9	-1	1,5	4,1	7,9	11,1	12,9	12,7	10,4	6,5	1,8	-1				
Is en Bassigny	391	9	8	0,3	1,7	5	8,1	12,1	15,2	17,3	16,9	14,4	9,7	4,3	1,3	79	21		
Val de Meuse	380	29	9,2	2,5	4,5	8,4	12,1	16,3	19,4	21,6	21,1	18,4	12,9	6,7	3,5	18	2		
Fayl la Forêt	345	24	9,2	-3,2	-3,7	-0,4	1,6	5,3	8,5	10,5	9,8	7,8	4,7	0,1	-1,1				
Bourbonne	320	8	9,6	-0,7	0,1	3,7	7,1	10,5	14	16,7	16,1	13,6	9,2	3,9	1,7	110	27		
				2,3	3,8	7,8	12,6	15,8	19,6	22,8	22,3	19,4	13,6	7,8	4,6	23	2		
				-2,8	-2,2	-0,1	2,1	5,8	9	10,6	10,4	7,9	4,7	0,8	-1,8				
				0,4	2	5	8,4	12,6	15,9	18	17,5	14,6	10	4,6	1,2	115	57		
				3,6	6,1	10,1	14,7	19,3	22,8	25,4	24,5	21,3	15,3	8,3	4,3	16	15,5		
				-2,1	-0,7	0,8	3,3	7	10,2	11,7	11,6	8,7	5,2	1,4	-1,6				
				0,6	2,9	5,3	8,5	12,7	16	17,8	17,3	14,4	9,9	4,5	1,1	84	35		
				3,3	6,4	9,7	13,7	18,3	21,7	23,2	22,9	20,1	14,5	7,6	3,7	9	7		
				-2,8	-2,6	0	3,1	7	8,9	11,1	11	9,2	5,8	0,9	-0,3				
				0,3	1,1	4,9	8,8	12,9	16	18,9	17,5	15,4	11,2	5,1	2,9	98	55		
				3,9	4,8	9,9	14,4	18,8	22	25,6	24,1	21,3	16,3	9,3	6	15	11		

Source: Centre Départemental de la météorologie - Langres

+ Les précipitations (tableau 2)

Les précipitations qui tendent à diminuer d'ouest en est sur le plateau de Langres pour atteindre 900 mm en bordure de plateau, oscillent entre 750 et 850 mm dans le Bassigny, Amance-Apance, puis augmentent d'ouest en est à partir de la Vôge (900 mm), en direction des Vosges. (carte n°2, isohyètes moyennes)

Les quantités de pluie sont bien réparties dans l'année, avec cependant:

- des précipitations plus élevées en hiver (décembre et janvier), en fin de printemps et en août;
- des périodes plus sèches en avril et en automne.

Il pleut en fréquence plus d'un jour sur trois dans l'année !

+ Les températures (tableau 3)

Les températures moyennes annuelles oscillent autour de 9°, mais les contrastes thermiques sont accentués, et en valeur plus forts dans les dépressions (Is en Bassigny, Val de Meuse, Bourbonne) qu'en situation de plateau (Langres, Fayl-Billot).

Il en est de même pour la répartition des nombres de jours de gelée:

- supérieur à 100 par an dans le Bassigny et la Vôge,
- autour de 80 en situation de plateau dans l'Amance-Apance.

Tableau 4: répartition saisonnière de jours de gelée sous abri

	période (ans)	J-Mars	Avr-J	Jt-Sept	Oct-Dec	Total (jours)
Langres	29	46	6	0	27	79
Is en Bassigny	9	60	14	1	35	110
Val de Meuse	29	60	14	1	40	115
Fayl la Forêt	24	46	7	0	31	84
Bourbonne	8	60	75	0	31	98

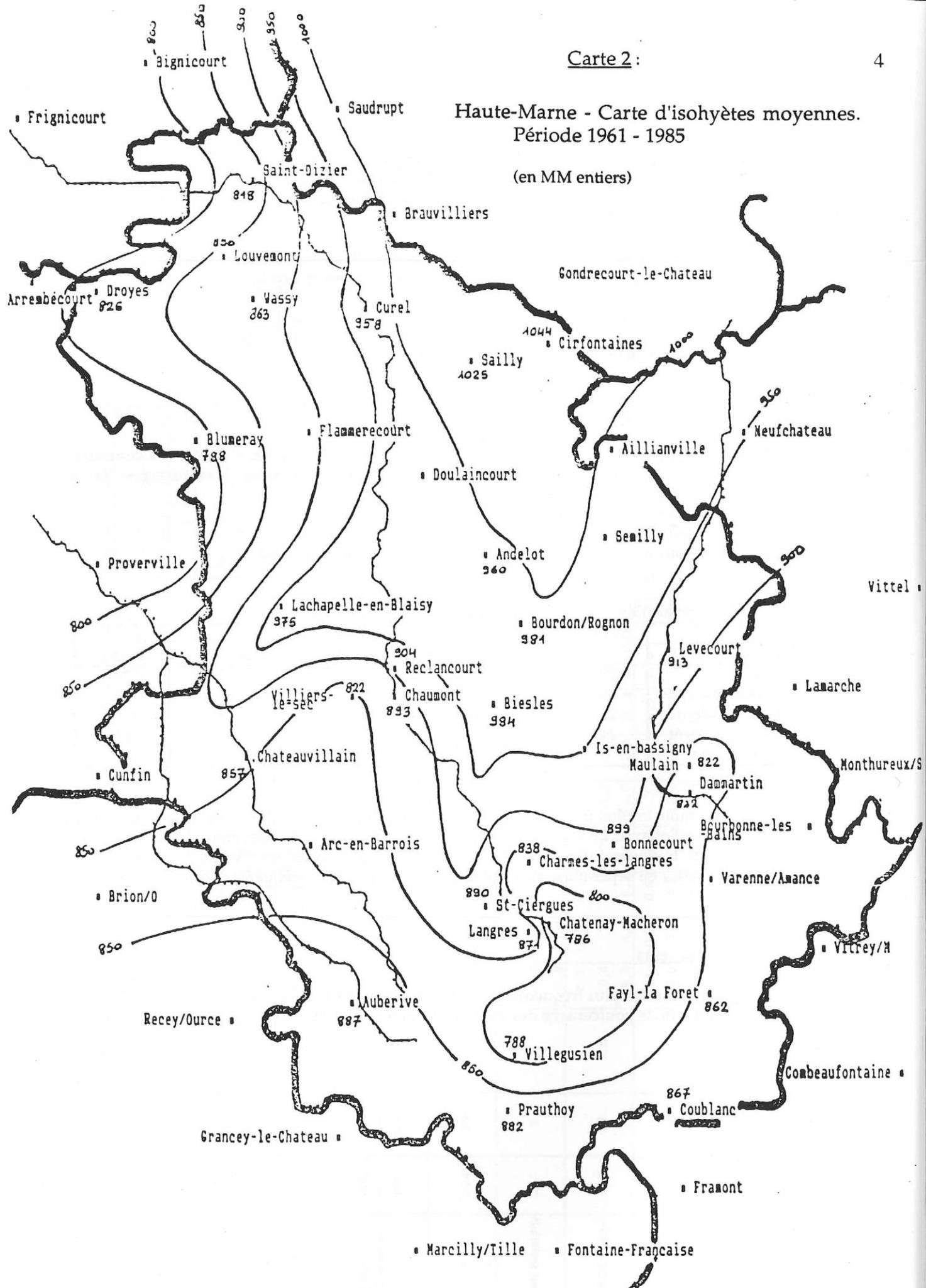
Le mois le plus froid est janvier avec un minima qui oscille entre -3 et -2°C, le plus chaud est juillet avec un maxima qui oscille entre 17 et 19°C. La moyenne des températures minima est toujours inférieure à 0°C en décembre, janvier et février. Les gelées sont exceptionnelles en septembre, alors qu'elles sont un peu plus fréquentes en mai (de 1 à 3 en moyenne).

+ Les vents

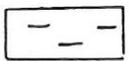
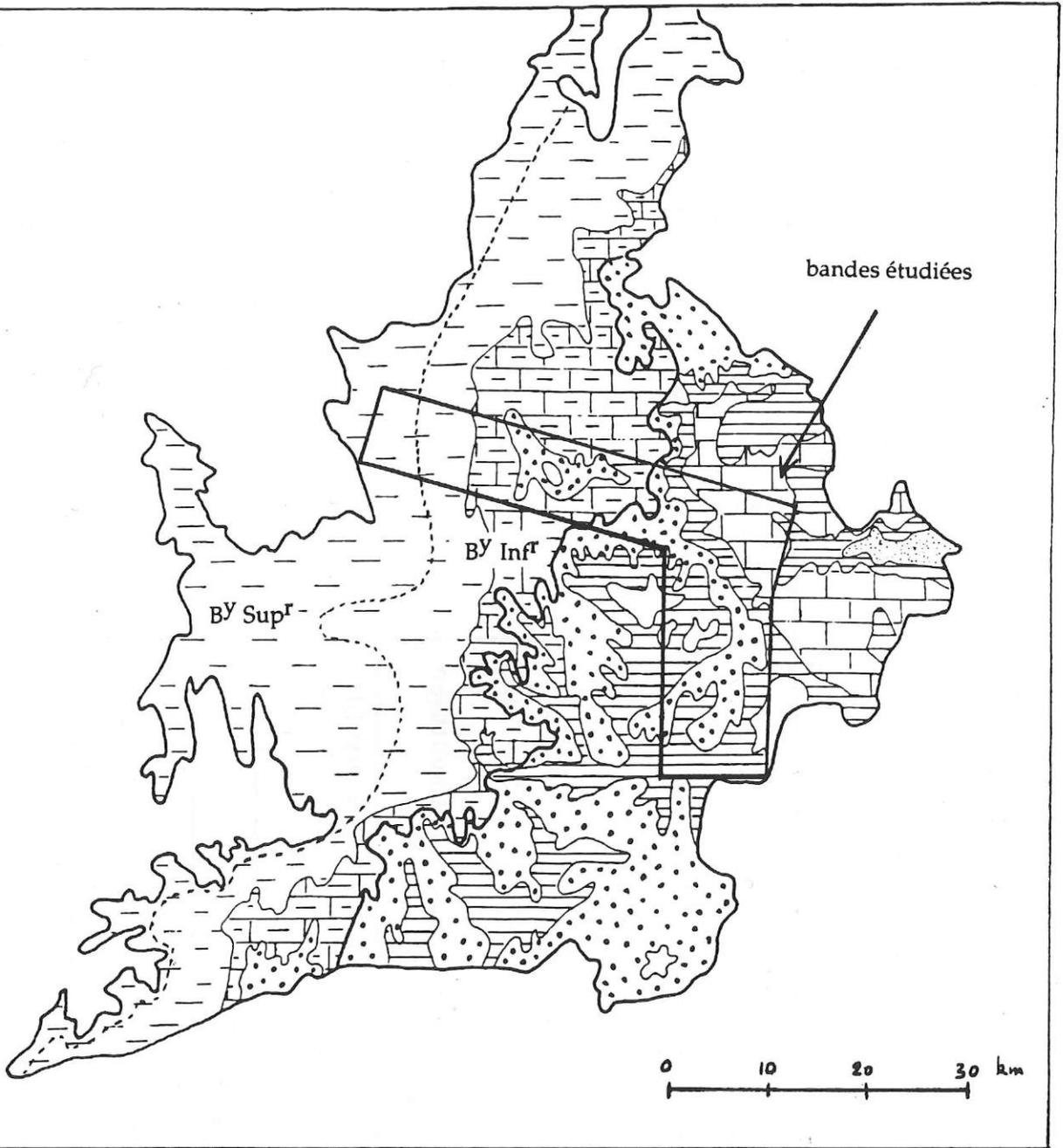
Les vents les plus fréquents sont ceux de sud-ouest l'été (vents océaniques). Cependant de février à juin, le pourcentage des vents soufflant entre nord-ouest et nord-est est assez élevé.

Haute-Marne - Carte d'isohyètes moyennes. Période 1961 - 1985

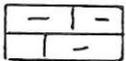
(en MM entiers)



Source : Météo France. Centre Départemental de la météorologie de Langres.



Lias supérieur (argiles, marnes, calcaires gréseux et marneux)



Sinémurien et Hettangien (argiles, marnes, calcaires marneux et calcaires)



Rhétien (argiles et grès)



Keuper (argiles et marnes)



Muschelkalk (calcaires et marnes)

Tableau 5 : échelle stratigraphique

AGE (M d'années)	ERE	PERIODE EPOQUE	ETAGES	NATURE DES NIVEAUX								
175	SECONDAIRE	JURASSIQUE	moyen	Dogger	Bajocien Aalénien Toarcién	moyen inférieur	Polypiers inférieurs et oolithe Cannabine (calcaire à entroques (calcaire gréseux (supralias) Minerai de fer Marnes bleues					
								LIAS	Domérien Carixien	supérieur inférieur	PLIENSBA CHIEN - Charmouthien	Grès Médioliasiques Argiles à Amalthées
		supérieur	Hettangien	supérieur inférieur	LOTHARINGIEN Sinémurien ss.	Calcaire à Gryphées						
							supérieur	Rhétien	supérieur inférieur	TRIAS germanique	Argiles de Levallois Grès Infraliasiques	
		Moyen	Lettenkohle Muschelkalk supérieur	Dolomie Calcaire à entroques et couches à Cératites								
					200	215	Moyen	TRIAS	supérieur	Rhétien Keuper	supérieur moyen inférieur	TRIAS germanique
		215	Moyen	TRIAS								

12- Le cadre géo-morpho-pédologique



121- Délimitation de la zone d'étude

L'ensemble de la Haute-Marne possède un relief typique, en relation directe avec les différentes auréoles du Bassin Parisien. L'alternance régulière des couches rocheuses dures et tendres jointe à leur disposition monoclinale, avec un pendage relativement régulier vers le centre du Bassin Parisien, détermine un relief de cuesta: d'ouest en est se succèdent des plateaux calcaires ou gréseux, séparés les uns des autres par des côtes et des dépressions argilo-marneuses, où peuvent subsister quelques buttes-témoins, ou des avant-buttes (schéma ci-dessus).

Note: Alors que le pendage moyen des couches vers le centre du Bassin Parisien est de 1%, le rapprochement des différentes auréoles en limite du Bassin Parisien l'a accentué à 3%, ce qui a favorisé le dégagement d'un relief vallonné, caractéristique du Bassigny.

Les limites:

- Le grand plateau de calcaire jurassique inférieur (Bathonien-Bajocien), appelé Plateau de Langres, constitue les limites occidentales de la zone d'étude. A 460-510 m d'altitude, il domine le Bassigny-Vingeanne par une côte de près de 100 m. Les percées de la Marne, de la Traire, du Rognon et de la Meuse forment de larges indentations, qui dégagent d'importantes buttes-témoins.

- Au sud, les failles de la région de Chassigny marquent la limite nette entre la vallée de l'Amance, d'orientation ouest-est, et les plateaux calcaires de Haute-Saône.

- A l'est et au Nord, la bordure est en creux, et la Vôge dépend directement du bassin de la Saône.

122- Architecture du relief

A l'intérieur de ces limites s'organisent trois régions naturelles.

(carte 3 : données géologiques et tableau 5 : échelle stratigraphique)

Le Bassigny-Vingeanne, dont l'altitude varie de 320 à 450 m. Sa limite Est coïncide grossièrement avec le dernier niveau liasique. Il peut se découper en 2 bandes d'extension irrégulière, allongée du nord au sud.

- Le **Bassigny supérieur** (bande occidentale) est constitué par la côte* et la dépression de marnes toarciennes, mollement vallonnée, particulièrement développée dans la partie centrale du Bassigny (vallée de la Traire et du Rognon), à laquelle succède la plate-forme structurale du Domérien supérieur (calcaire gréseux). Ce plateau de revers, d'altitude assez faible (370 m vers Bourmont, 459 m au Fort de Plesnoy, 400 m à Chalindrey), s'étend très largement de Montigny à Chalindrey, mais s'encaisse dans la côte jurassique au nord de Noyers et dans la Vingeanne pour former une côte double.

Cet ensemble est légèrement disséqué par la Marne et ses affluents: la Liez, le Val de Gris, la Traire, le Rognon, orientés selon le pendage de la plate-forme domérienne, d'où le creusement important et des vallées élargies à leur naissance.

- Le **Bassigny inférieur**: Dominés à l'ouest par le plateau de calcaire gréseux constamment d'au moins 50 m, se succèdent vers l'est:

◊ La côte presque rectiligne nord-sud, découpée une seule fois près de Poiseul, et la dépression d'argile-marneuse du Domérien inférieur, mollement ondulée comme la

*

Côte : relief structural dont le pendage se fait dans le sens opposé du talus.
Côteau : relief structural en structure horizontale.

dépression toarcienne, bien dégagée au nord par l'écoulement de la Meuse et du Mouzon, qui ont cependant laissé quelques buttes-témoins de calcaire gréseux.

◊ Un ensemble mou, vallonné, développé dans les séries calcaires et argilo-marneuses du Carixien et du Sinémurien supérieur. Les faibles puissances de ces formations et l'absence d'une dureté différentielle marquée expliquent ce relief de petites croupes isolées, aux pentes adoucies, qui culminent à 360-400 m selon les ondulations géologiques des couches sédimentaires. Ces buttes sont armées de Carixien ou de Calcaire Ocreux et séparées les des autres par de légères cuvettes argileuses.

◊ Le replat structural du Sinémurien inférieur (Calcaire à Gryphées), dont l'altitude s'élève lentement de l'ouest vers l'est de 350 à 410 m.

La Meuse marque ici faiblement son empreinte. Génée par son écoulement nord, contraire au pendage des couches géologiques, elle n'a creusé qu'une petite vallée, entaillant le Calcaire à Gryphées dans la région de Dammartin. Le Bassigny inférieur présente donc un vieux relief, bien conservé (géomorphologie "relicte").

L'Amance-Apance.

Cette région s'oppose brutalement à la précédente. On y observe le relief le plus accusé de toute la zone d'étude. Il est constitué par le plateau de grès rhétiens, qui succède de façon quasi-imperceptible dans la topographie, à la plate-forme de Calcaire à Gryphées. Selon les ondulations du terrain, peuvent subsister des lambeaux de Sinémurien inférieur, mais surtout des argiles de l'Hettangien et du Rhétien supérieur (Argiles de Levallois).

S'élevant de 400 à 460 m de l'ouest vers l'est, le plateau est disséqué par l'Amance, l'Apance et leurs affluents, qui ont creusé dans les marnes du Keuper de profondes vallées à fond plat, organisées en amphithéâtre, avec des dénivellées qui atteignent 100 à 150 m à un kilomètre seulement en aval de leurs sources.

De la surface du plateau, il ne reste plus que des lambeaux sous forme d'éperons ou de grandes buttes couronnées de grès, avec quelques taches possibles d'Hettangien. Les versants raides des vallées peuvent marquer dans leur tiers supérieur un ressaut ou replat, qui correspond aux bancs de dolomie moellon ou de grès à roseaux du Keuper moyen (bien visible à Coiffy le Haut, Vicq, Chézeaux par exemple).

Ainsi c'est au fonctionnement différentiel des cours d'eau entre la Meuse d'une part, l'Amance-Apance d'autre part, que l'on doit le contraste de relief entre le Bassigny et l'Amance-Apance.

Le passage de l'un à l'autre des 2 systèmes hydrographiques est brutal comme en témoignent de petits ravins en tête de vallons des affluents de la Saône. Ces cours d'eau sont très actifs et exercent une forte érosion régressive, entretenue par le mouvement de subsidence de la dépression bressanne.

L'organisation de la vallée de l'Amance est originale. D'abord nord-sud, elle devient ouest-est au contact du plateau de Fayl-Billot, peu disséqué, développé sur les grès rhétiens ou le Calcaire à Gryphées entre 300 et 350 m d'altitude. Cette organisation n'est pas indépendante du réseau dense de failles de direction générale sud-ouest, nord-est, qui découpent cet ensemble.

A l'évidence les couches géologiques s'abaissent du nord (à partir d'une sorte d'anticlinal qui reliait le Fort de Dampierre au Bois du Danonce) au sud. Le grès rhétien, qui culmine à 460 m à Aigremont, 300 m sur le plateau de Fayl-Billot, pour une puissance d'une trentaine de mètres, est parcouru de déformations: flexures des couches et mouvements tectoniques.

A l'est le plateau de grès rhétiens se termine par la côte pentue des marnes du Keuper, qui domine de 100 à 150 m la plaine de la Vôge.

La Vôge. C'est la zone la plus déprimée du secteur d'étude. Elle correspond au bassin triasique de Bourbonne, où la vallée de l'Apance s'abaisse à moins de 250 m.

CONCLUSION

La zone d'étude se découpe aisément en:

+ 3 réseaux hydrographiques Marne - Meuse - Saône, et tout se passe comme si le bassin meusien était peu à peu rogné par les 2 bassins séquanien et rhodanien !

+ 3 côtes principales Toarcien - Domérien - Keuper, et 2 mini-cuestas
- de Calcaire Ocreux, en association avec le Calcaire à Bélemnites du Carixien,
- de Calcaire à Gryphées, bien visible à Meuse.

Si le nord de la région d'étude se rattache à la Lorraine, le sud est profondément marqué par l'installation du horst haut-saônois, et par le fonctionnement du bassin hydrographique de la Saône.

Les couches géologiques sont parcourues de larges ondulations et flexures qui rendent compte de la variabilité des niveaux d'affleurement - le pendage général des couches et la puissance respective des formations ne permettant pas à eux-seuls de l'expliquer.

Enfin, l'opposition est forte entre des surfaces très planes (plates-formes structurales du Bassigny, promontoires de l'Amance, plateaux de Fayl-Billot) aux assises dures susceptibles de conserver des matériaux anciens, et les versants et talus aux pentes raides, aux sols jeunes. Les pentes moyennes sont rares, ce qui renforce l'idée de l'existence d'un vieux relief, brutalement rajeuni au Quaternaire par l'Amance-Apance.

A ce contraste et cette diversité géomorphologique se surimpose une mosaïque de sols.

123- Les grands types de sol

Les grands types de sol susceptibles d'être rencontrés sont figurés dans la figure 4 tirée du catalogue des stations forestières du Bassigny, Amance-Apance (RAMEAU, 1986). Schématiquement, on trouve:

- dans le Bassigny

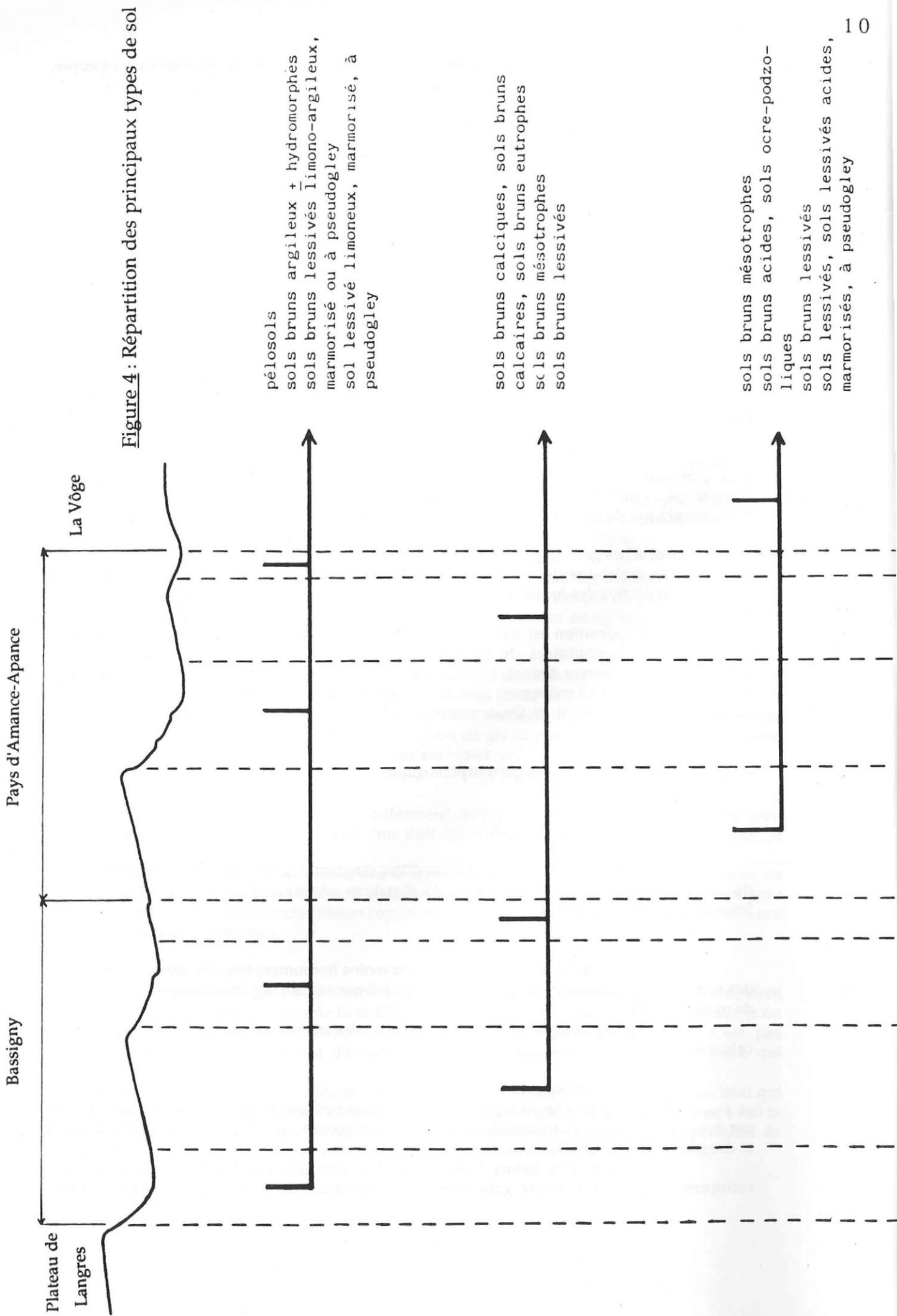
◇ des sols bruns argileux plus ou moins hydromorphes, des sols bruns lessivés, des sols lessivés hydromorphes argilo-limoneux à limoneux sur argiles-marneuses ou "limons" de recouvrement,

◇ des sols bruns calcaires, calciques, ou eutrophes à mésotrophes sur marnes et calcaires.

- dans l'Amance-Apance

◇ des sols bruns argileux plus ou moins hydromorphes et des sols bruns lessivés sur des placages argileux (résiduels du Sinémurien inférieur ou de faciès argileux du Rhétien) et dans le fond des vallées,

◇ des sols bruns lessivés et des sols lessivés hydromorphes sur des recouvrements limoneux sur grès rhétien (ou certains faciès riches en éléments fins),



- ◊ des sols bruns acides à bruns ocreux sur le grès rhétien,
- ◊ des sols plus ou moins évolués (cryptorendzines à sols bruns calciques) au niveau des dolomies,
- ◊ des pélosols plus ou moins vertiques sur les côteaux pentus du Keuper.

- dans la Vôge

- ◊ des sols bruns argilo-limoneux sur calcaire dolomitique dur,
- ◊ des sols bruns calcaires, calciques, ou eutrophes à mésotrophes sur marnes et Calcaires du Muschelkalk.

13- Utilisation de l'espace et végétation forestière

131- Utilisation de l'espace

En relation étroite avec la topographie et les types de sol, le Bassigny et l'Amance-Apance présentent 2 modes d'occupations distinctes.

- Le Bassigny:

Développé sur les terrains liasiques où dominent les faciès marneux ou calcaro-marneux, il est largement exploité en prairies sur les côteaux et dans les zones les plus argileuses; et intensément cultivé sur le Calcaire Gréseux domérien, le Carixien, le Calcaire Ocreux et à Gryphées, globalement moins hydromorphes.

Mais cette répartition est le résultat d'une transformation des structures agraires. Les vastes surfaces de culture céréalière, au rendement faible, ont laissé la place au début du siècle aux prairies et aux troupeaux laitiers, comme en témoignent les billons que l'on retrouve de façon quasi-systématique dans les prairies, et qui sont les vestiges de l'ancien système de culture sur ados. Les massifs boisés relativement nombreux sont généralement de petite taille et se trouvent isolés dans de vastes ensembles prairiaux. Rongées par les défrichements, ces petites forêts ont été maintenues pour garantir l'approvisionnement en bois des villages et assurer la pâture des quelques troupeaux jusqu'au début du siècle. En tous les cas leur présence ne semble pas se traduire le plus souvent par une discontinuité nette dans la nature du terrain.

- Les pays d'Amance-Apance:

Contrairement au Bassigny, ils sont constitués de vastes plateaux boisés, tandis que les côteaux et les fonds de vallées sont exploités en prairies. A l'échelle de la région, cette répartition est en relation directe avec la nature du terrain:

- forêts sur les sols acides, pauvres, développés sur le grès rhétien,
- prairies sur les sols argileux des côteaux et des vallées.

Abandonnés par l'agriculture, les côteaux se couvrent peu à peu de friches, et les vignes très développées sur les niveaux gypseux du Keuper jusqu'au début du siècle ont quasiment disparu.

132- Végétation forestière et groupements végétaux

Un premier découpage permet de distinguer 2 grandes formations végétales:

- sur les plateaux: domaine de la hêtraie
- dans les dépressions argileuses et marneuses: domaine de la chênaie-charmaie.

Mais selon la topographie, l'orientation, la nature du matériau dans lequel se développe le sol, le degré d'hydromorphie, s'individualise une mosaïque de groupements végétaux, dont la structuration phytosociologique et la logique de répartition sont données dans le tableau 6 (Source: catalogue des stations forestières, RAMEAU, 1986).

Tableau n°6 : Les associations végétales du Bassigny, Amance-Apance

Classe	Ordre	Alliance	Association	Sous-association et variante	Répartition	N° des types de stations	
<i>Aulnaies marécageuses</i>	<i>Alnetalia glutinosae</i>	<i>Alnion glutinosae</i>	Aulnaie eutrophe à hautes herbes Aulnaie mésotrophe sur sol limono-sableux Aulnaie oligotrophe sur sol acide		Grandes vallées, petits cours d'eau, suintements sur sols gorgés d'eau, plus ou moins tourbeux.	5200	
<i>Quercus-Fagetalia</i>	<i>Quercetalia robori-petraeae</i>	<i>Quercion robori-petraeae</i>	<i>Fago-Quercetum</i> Hêtraie-chênaie sessiliflore acidiphile (flore médio-européenne)	Typique Avec quelques neutrophiles Très acidiphile et thermophile (chênaie-hêtraie) Var. mésophile Var. fraîche à très fraîche avec apparition du chêne pédonculé	Sols restant inondés une grande Forêt établie sur les limons les plus lessivés et les sols sableux provenant de l'altération du grès.	210.67 - 2108 220.67 341.67 410.56 - 410.56g 4108	
					Forêts alluviales inondables sur sols non marécageux avec aulne, frêne, orme.	5130 5141 5142	
	<i>Fagetalia</i>	<i>Carpinion betuli</i>	Chênaie-hêtraie-charmaie, race continentale du Bassigny Hêtraie-chênaie-charmaie, race submontagnarde de l'Amance-Apance (flore médio-européenne)	<i>Poa chaixii</i> <i>Carpinetum</i> Chênaie-hêtraie-charmaie, race continentale du Bassigny Hêtraie-chênaie-charmaie, race submontagnarde de l'Amance-Apance (flore médio-européenne)	Mésoneutrophile Acidicline Mésoacidiphile Var. mésophile Var. légèrement fraîche	Sur substrats argileux, argilo-limoneux, limono-argileux, limono-sableux. Groupements établis sur des sols pauvres en colloïdes, légèrement acides et souvent hydromorphes: sols bruns lessivés et lessivés sols bruns superficiels sur marnes sols hydromorphes.	121.34 - 122.34 210.45 - 220.45 3123 - 3113 - 3215 3223 - 3314 - 3413 341.45 - 3524 - 3525 420.45g
				Chênaie pédonculée-charmaie ou Chênaie-frênaie sur sols plus ou moins hydromorphes	Mésoneutrophile Acidicline Mésoacidiphile	Au bas des versants, dans les parties moins bien drainées par absence de relief ou par la présence d'un niveau imperméable.	1233 - 3203 332.34 - 3524 3533 - 5000 3631
				<i>Scillo-Carpinetum</i> Hêtraie-chênaie-charmaie	Calcicole Neutrophile var. mésophile var. fraîche	Sur sol brun calcique, sol brun eutrophe : substrat calcaire et marneux.	3631 1111 - 1112 1121 - 1122

D'après le catalogue des stations forestières, Rameau, 1986

133- Une occupation des sols remise en question

Comme de nombreuses autres régions à vocation rurale très marquée, le Bassigny et les pays d'Amance-Apance sont confrontés au problème crucial de la déprise agricole et du devenir des terres abandonnées par l'agriculture. De nombreux propriétaires de terrains agricoles (privés et communes) font des demandes de reboisement auprès de la DDAF et de l'ONF. Mais ces demandes suscitent de nombreuses questions. Dans quelles conditions? Sur quelles surfaces? Avec quelles essences? Et quelles techniques de plantations?

Cette étude s'insère dans cette problématique, qui peut se résumer de la façon suivante: comment approcher les potentialités forestières de terrains non boisés ?

Après cette longue présentation de la région, nécessaire pour mettre en place les différents composants qui déterminent les potentialités, l'étude se propose de détailler une méthode d'approche globale, basée sur l'utilisation d'un outil: le catalogue des stations forestières, et complétée par une analyse des relations entre les roches, les matériaux, les sols et les paysages.

2- PROBLEMES POSES ET METHODOLOGIE

Pour les forestiers, un catalogue des stations forestières est "un document de synthèse écologique, des données floristiques, pédologiques et géomorphologiques, comportant une présentation de la région étudiée, des indications sur la méthode de travail utilisée, un recensement classé des types de milieu forestier, une clé pour parvenir à reconnaître et identifier sur le terrain les principales stations forestières et des annexes diverses. Le catalogue renseigne sur les potentialités forestières des stations et apporte des conseils pour leurs mise en valeur". (Delpech - Dumé - Galmiche - 1985 - Vocabulaire IDF).

La question posée devient alors la suivante: comment utiliser cet outil diagnostique de la fertilité des sols et des potentialités forestières pour étendre son application aux zones agricoles? Ou encore, comment lier la typologie réalisée en milieu forestier à ces terrains?

21- Un double problème pour un double objectif

L'approche ne peut se baser ni sur une étude floristique classique, ni sur celle des sols, modifiés par des siècles de pratiques culturales. Aussi, une solution consiste à partir de la géomorphologie, qui est l'étude et l'explication des formes du relief. Elle intègre :

- le climat passé,
- la dynamique superficielle,
- les formations superficielles, à partir desquelles dérivent la plupart des sols.

Toutefois, il est certain que là aussi l'action humaine passée perturbe les schémas établis, sans oublier que cette action humaine est elle-même conditionnée par les formes du relief !

En rendant compte de l'agencement des matériaux, donc des conditions édaphiques et microclimatiques en fonction desquelles s'organisent les groupements végétaux, l'étude géomorphologique apparait comme un support important pour l'extrapolation d'un catalogue - les éléments fondamentaux y étant déjà pris en compte (géologie, matériau d'origine des sols, topographie).

Il s'agit donc de :

- 1/ **comprendre l'organisation du paysage**: mécanismes de mise en place, distribution, fonctionnement,
- 2/ **réaliser une étude finalisée**, appliquée à la détermination de "couples homologues" prairie-forêt, de même potentialités (?).

afin de répondre au double objectif:

- 1/ un **découpage en unités morphopédologiques**, à partir desquelles sont déterminés les "couples homologues" éventuels,
- 2/ des **comparaisons de sols sous forêt et prairie** au sein de chaque unité.

En partant du cortège dendrologique possible en stations homologues boisées, et en prenant en compte les transformations du sol et la plasticité écologique des espèces, il sera alors possible de discerner les terrains potentiellement reboisables en certains feuillus précieux et de préciser par la suite les précautions à prendre au cours de ces plantations réalisées en plein espace agricole, ainsi que de proposer les techniques éventuelles pour leurs plantations (préparation du terrain, type de matériel végétal, mise en place des plants, suivi et protection des plants...).

(RAMEAU, 1987)

22- Démarche et méthodes

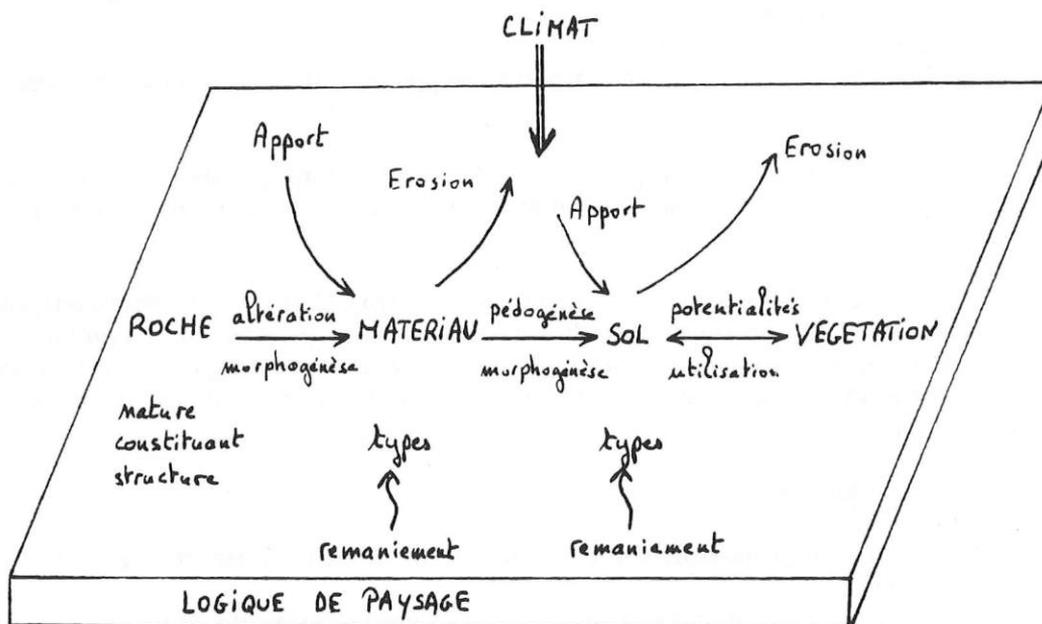
D'entrée, une difficulté est soulevée: quelle est la possibilité de trouver des échantillons comparables? Au cours des siècles, les choix préalables à la mise en culture ont le plus souvent reposé sur des bases physiques ! (B.Valadas, communication personnelle).

Pour tenter d'y répondre, il est nécessaire de s'interroger tout au long de la phase d'étude de "paysages" sur la place occupée par les forêts. Existe-t-il une coupure relativement nette entre zones boisées et terrains agricoles?

221- Démarche

+ Relations roche-matériau-sol-végétation

Pour comprendre l'organisation d'un paysage, discuter d'une logique de l'occupation de l'espace à travers l'analyse du modelé et de la distribution spatiale des supports: les matériaux, il est nécessaire de partir des roches et de remonter vers la surface. Il s'agit de préciser les relations qui existent entre les roches - les matériaux - les sols associés et la végétation, selon le schéma d'étude :



Cette lecture sous forme génétique, logique, devrait permettre de délimiter un certain nombre d'unités morphopédologiques à partir de l'observation des discontinuités dans lesquelles se distribueront les stations forestières.

+ Etudes pédologiques

Au sein de chaque unité, des études comparatives de sol entre forêt et prairie seront menées, afin d'analyser les divergences des profils cultureux vis à vis des profils forestiers homologues, en particulier: les modifications de structure (tassement induit par le pâturage, passage des engins agricoles) et de fertilité, les modifications de fonctionnement, les remontées de nappes (accentuation de l'hydromorphie, posant des problèmes à la plantation et à l'installation d'un peuplement).

222- Méthodes+ Domaine de travail :

La zone d'étude a été restreinte à 2 bandes (cartes 1 et 3), qui recoupent les différents étages géologiques du Toarcien au Muschelkalk, les 3 bassins hydrographiques et les différents types de sol (d'après la carte des sols au 1/100 000e de Langres).

- ◊ une bande ouest-est de Nogent en Bassigny à Bourbonne les Bains;
- ◊ une bande nord-sud de Damrémont/Bourbonne à Montesson dans l'Amance.

Les fonds de vallées et de vallons n'ont pas été étudiés: c'est le domaine par excellence des plantations de peupliers !

Pour des raisons de temps, l'étude de la Vôge n'a pas été entreprise; et le domaine se limite à l'est au bas de la côte du Keuper, à la naissance des terrains sur Muschelkalk supérieur.

+ Etudes de terrain :

Elle s'est déroulée de mars à juin 1990, période pendant laquelle se sont succédées différentes phases.

a/ Etude des relations roche-matériau-sol-végétation

◊ Approche systématique:

- Prospection large des fossés (drainage...), des talus de route, des carrières, des affleurements rocheux...

- Recherche de documents: sondages géologiques, études des sols et des matériaux préalables à la construction de l'autoroute A31...

- Relevés / Observations :

GEOLOGIE

forme structurale

roche

nature

mode et intensité d'altération

GEOMORPHOLOGIE

topographie

forme de modelé

les matériaux épaisseur et extension

types

origine (mise en place ?)

PEDOLOGIE

texture

hydromorphie

types de sol

UTILISATION DU SOL

- Bilan : analyse de la diversité des formes et des types de sol, en relation avec les roches et les matériaux.

◊ Etude de proximité prairie/forêt:

- Détermination des types de stations forestières, à partir du catalogue (la détermination est faite à partir 1/de la géologie, 2/des matériaux d'origine des sols, 3/de la topographie, 4/du niveau trophique, végétation et humus).

- Discussion sur la distribution prairie/forêt.

S'explique-t-elle par la géomorphologie (par exemple pente forte occupée par la forêt), par un changement de nature de roche, de matériaux...?

SYNTHESE: découpage en unités géomorphologiques, caractérisées par leur forme, leur formation superficielle, leur séquence de sols, leur dynamique; et détermination de couples homologues définis par :

une même roche, un même matériau, une même situation topographique.

b/ Etudes pédologiques générales

La recherche de couples homologues équivaut à la réalisation d'un échantillonnage raisonné, préalable à l'étude comparative des sols.

Le choix, le nombre de couples et de répétitions (en dehors de toute considération de temps et d'argent!), ont été fixés en fonction:

◊ de leur caractère représentatif pour un type de relation roche / matériau / sol et topographie,

◊ de l'importance de ce type de relation dans la région.

Les études pédologiques ont porté pour tous les couples sur:

◊ les modifications de structure : réalisation de tests pénétrométriques (mesure de la résistance à la pénétration dans le sol d'un cône en acier de 2 cm²), et mesure conjointe de l'humidité d'un échantillon prélevé à 20 cm de profondeur.

◊ le degré d'hydromorphie : appréciation par sondage à la tarière ou par observation directe de fosses de la profondeur d'apparition de la marmorisation, du pseudogley, du gley - profondeur et type de nappe (perchée, à éclipse...)

c/ Observations détaillées de certains profils pédologiques

Afin de procéder à une étude comparative plus fine par couple de la structure du sol et des relations roche / matériau / sol (discussion sur la filiation ou l'héritage), et d'effectuer une série de prélèvements pour des analyses, des fosses pédologiques ont été creusées, au tractopelle pour la plupart, jusqu'à une profondeur moyenne de 1,50 m. Le choix a été guidé par la représentativité et l'accessibilité des placettes.

Pour chaque fosse:

◊ description des profils. La caractérisation des horizons comporte :

la couleur (code Munsell)

la texture (appréciation tactile)

la structure des agrégats

la porosité

la pierrosité et la présence d'éléments calci-magnésiques

l'enracinement et l'activité biologique

le fonctionnement hydrique du sol (dynamique de l'eau).

◇ une moyenne de 3 prélèvements:

- à 0/5 cm obligatoire
- vers 35 et 65 cm, dans un intervalle de 10 cm (la profondeur est variable entre les couples en fonction des horizons).

◇ analyses de sols. Elles comprennent :

- la granulométrie 5 fractions
- le pH eau
- la CEC au pH du sol avec bases (Ca, Mg, K, Mn)
- S, T, S/T
- le carbone organique, l'azote Kjeldhal, le rapport C/N.

L'analyse granulométrique est importante:

- pour préciser la filiation (ou non) entre les matériaux et les sols par l'étude des squelettes granulométriques,
- pour discuter de la sensibilité des sols au tassement en fonction de leur texture.

d/ Enquêtes: rapides, menées auprès des agriculteurs, elles sont nécessaires pour préciser le mode d'utilisation des prairies (pression de pâturage, fréquence de passage des engins agricoles), leur entretien (date du dernier labour, fumure, amendement, drainage...) et parfois l'histoire de l'utilisation de la parcelle, son hétérogénéité...

Tableau 8 : classification par la structure

Roches carbonatées				Roches non carbonatées			
Roches cohérentes massives (plus ou moins fissurées ou diclisées)	Structure compacte Les calcaires se délitent en dalles aux affleurements	∅ Calcaires lithographiques à grain très fin, sans fossiles		Roches cohérentes massives (plus ou moins fissurées ou diclisées)	Structure compacte (perméabilité en grand)		
		∅ Calcaire cristallin avec fossiles Bancs calcaires du (Calcaire à Gryphées (Calcaire Ocreux	Sinémurien		Structure poreuse (perméabilité en petit)	Grès (à ciment plus ou moins calcaire)	Rhétien
		∅ Calcaire dolomitique et dolomie	Keuper moyen				
	Structure granulaire	∅ Calcaire oolithique	Bajocien	Roches cohérentes schisteuses ou feuilletées	cristalline		
		∅ Calcaire à entroques (---> calcaire d'accumulation)	Bajocien et Muschelkalk		non cristalline	Schistes argileux	Schistes Cartons
	Structure "friable"	∅ Calcaire marneux	Domérien supérieur Carixien et bancs marnocalcaire de transition du Sinémurien			Pélites	Rhétien
Roches plastiques	Roches plastiques	∅ Argiles avec nodules calcaires	Toarcien - Domérien inférieur	Roches plastiques	Argiles plastiques	Domérien inférieur et Toarcien	
		∅ Argile marneuse ∅ Marne argileuse	Argiles à Promicroceras (Sinémurien supérieur)				
	Roches peu plastiques	∅ Marnes	"Argiles de Levallois" Marnes du Keuper				
		∅ Calcaire argileux					

Structuration inspirée à la lecture d'Y.DEWOLF, 1965, [11]

Tableau 9 : Classification par les constituants

Mélanges	% carbonates { CaCo3 }	% Argiles	Nom
Carbonates de chaux et argiles	95-100 65-95 35-65 5-35 0-5	0-5 5-35 35-65 65-95 95-100	calcaire calcaire marneux marne marne argileuse argile
Carbonates de chaux et dolomites	% carbonates { CaCo3 }	% dolomites { CaMg(Co3)2 }	Nom
	95-100 50-95 5-50 0-5	0-5 5-50 50-95 95-100	calcaire calcaire dolomitique dolomie calcaire dolomie

effervescence à froid à HCl

effervescence à chaud à HCl

Source A.FRANC [32]

3- RELATIONS ROCHE-MATERIAU-SOL-VEGETATION

Les éléments pour une logique spatiale

Le tableau 7 distingue ce qui est du domaine des roches, des formations superficielles, des sols et du paysage.

tableau 7	Définition			
Paysage	Portion d'espace caractérisée par un type de combinaison dynamique, donc instable, d'éléments géographiques différenciés-physiques, biologiques et anthropiques-qui en réagissant dialectiquement les uns sur les autres font du paysage un ensemble géographique indissociable qui évolue en bloc autant sous l'effet de la dynamique propre de chacun de ses éléments considérés séparément. (G. Bertrand, 1968)	Age/Epoque de mise en place	Agents de mise en place	Economie de l'eau
Sol	Formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques. (Demolon)	Holocène	la Vie	Eau capillaire Eau du sol
Formation superficielle = matériau parental matériau roche-mère	Formations continentales, meubles ou secondairement consolidées, provenant de la désagrégation mécanique et de l'altération chimique des roches, qu'elles soient restées sur place (altérites) ou qu'elles aient fait l'objet d'un remaniement ou d'un transport. (Y.Dewolf, 1965)	Dépôts tertiaires ou quaternaires	Agents d'érosion	Nappes phréatiques
Roche en place = substratum	Bâti rocheux, meuble ou cohérent, qui supporte les formations superficielles. (Y.Dewolf, 1965)	Anté-quaternaire	Sédimentation marine, lagunaire	Nappes profondes captives

Tableau réalisé avec l'aide de P. ARNOULD, 1990

Ces éléments mis en place, analysons leur filiation - les interrelations.

31- Les roches et leurs altérites

311- Les types de roches

Dans le Bassigny, Amance-Apance, la classification des roches peut se concevoir sous la forme suivante:

ROCHES
Roches carbonatées
Roches non carbonatées

Tableau 8 : Classification par la structure

Tableau 9 : Classification par les constituants

Note: Certaines formations géologiques se retrouvent à différents niveaux de la classification. Cela s'explique par:

1/ les variations de faciès: une même couche géologique peut présenter différents faciès - par exemple les grès médioliasiques présentent un faciès riche en sable (grès calcaire/calcaire gréseux), et un faciès riche en argile (calcaire marneux).

2/ l'hétérogénéité des formations liée aux conditions de sédimentation - par exemple succession de lits plus ou moins calcaires ou marneux du Calcaire à Gryphées.

312- Processus d'altération

A proximité de la surface du sol, les roches subissent des modifications sous l'effet des agents biologiques et climatiques, et de la circulation des eaux dans les nappes phréatiques. Ces modifications donnent naissance à des formations superficielles appelées altérites, qui peuvent:

- ◇ soit rester en place pour donner des formations résiduelles,
- ◇ soit être déplacées pour donner des formations allochtones (colluvions, alluvions...).

Mais selon les types de roches (composition et dureté), la résistance à l'altération et les modalités de décomposition sont différentes.

La dégradation superficielle des roches procède en 2 étapes:

- la désagrégation mécanique
- l'altération chimique.

a/ Désagrégation mécanique :

Les variations de températures et d'humidité provoquent à l'intérieur des roches des dilatations et des contractions, dues à des alternances de gel et de dégel ou à des variations de la teneur en eau (phénomènes de gélifraction/cryoclastie - hydroclastie). Son intensité est donc fonction de la porosité des roches et de leur fissuration (clivages au niveau du minéral, joints entre les minéraux, joints de stratification, de schistosité au sein des blocs, diaclases); d'où la distinction entre:

- la macrogélifraction qui exploite les diaclases de la roche et fournit des éléments volumineux,
- la microgélifraction qui exploite la porosité, les joints et les clivages de la roche et fournit de petits éléments.

b/ Altération chimique :

L'eau de pluie plus ou moins chargée en gaz carbonique induit la dissolution des sels solubles (de Na⁺, K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺...), l'hydratation de certains ions (Fe) et surtout l'hydrolyse qui produit, par extraction des cations situés dans les réseaux des minéraux, l'effondrement des structures cristallines (CAMPY - MACAIRE, 1989, [19], p.36).

Le résultat de ces deux phénomènes est le morcellement des éléments rocheux, qui sont réduits de volume progressivement jusqu'à la taille des sables, limons ou argiles.

◇ Cas des calcaires et de la dolomie (classement par ordre d'altérabilité croissante)

- *Calcaires compacts* (bancs calcaires durs de Calcaire à Gryphées et de Calcaire Ocreux), calcaire dolomitique et dolomie (du Keuper moyen et du Muschelkalk) :

- + porosité faible,
- + caractère peu gélif, la fragmentation mécanique délimite des blocs (débit en dalles), aux formes irrégulières et aux bords anguleux, délogés par l'effet de coins de la glace formée dans les joints de stratification (= discontinuités initiales de dépôt) et des diaclases espacées,

+ altération en grande partie par dissolution superficielle des blocs. Les impuretés silicatés subsistent seules, formant des pellicules argileuses qui s'accumulent dans les fentes (argile de décarbonatation).

- *Calcaires à structure granulaire* (calcaire à entroques du Muschelkalk et calcaire gréseux domérien) :

- + porosité faible à moyenne,
- + caractère gélif, ces calcaires plus tendres subissent une fragmentation plus poussée sous l'action du gel (mode de débit en plaquettes),
- + même type d'évolution que précédemment par dissolution.

Note: le grès à ciment calcaire du fait de la dissolution de son ciment s'arénise facilement.

- *Calcaires marneux* (Domérien supérieur, Carixien, certains passages de Calcaire à Gryphées et de Calcaire Ocreux) :

+ porosité assez faible,
+ caractère très gélif, fragmentation poussée sous l'effet du gel, qui s'exerce dans un réseau de fissures bien développées; l'évolution est double: altération sous forme de délitage superficiel pour donner des plaquettes et des écailles, et libération d'éléments de petite taille,

+ les calcaires marneux tendres subissent de plus un gonflement par hydratation des argiles, qui ameublissent la roche, ce qui libère un matériau argilo-calcaire fin, riche en calcaire actif.

La perméabilité des fissures de ces roches est faible. Les lits argileux constituent des barrages à la circulation des eaux et les diaclases sont facilement colmatées par les argiles résiduelles. Ces roches ou des bancs rocheux constituent un niveau imperméable.

◇ Cas des marnes et des argiles: altération d'origine hydrique.

La fragmentation est provoquée par d'importantes variations de volume liées à l'alternance de l'humectation et de la dessiccation de ces roches.

Evolution des argiles par:

- desquamation en minces copeaux incurvés (feuilletés des Schistes Cartonés),
- polygonation par installation d'un réseau de fentes plus ou moins profondes, aux mailles de dimension variable.

Le matériau ainsi créé est peu cohérent et est très facilement mobilisable par l'eau : entraînement par glissement, solifluxion, ruissellement, lessivage.

◇ Cas du grès rhétien :

+ porosité très forte,
+ cette roche peu cohérente subit une fragmentation poussée par gélifraction, qui libère des sables. La dissolution de son ciment plus ou moins calcaire donne le même résultat.

Note: dans la zone étudiée, le ciment est peu ou non calcaire.

313- Tableau récapitulatif (tableaux 10 a, b, c, d, e)

La majeure partie des documents consultés pour l'élaboration de ce tableau, correspondaient à des études réalisées dans la région de Nancy (références bibliographiques [1]..[5]). L'extension des résultats au Bassigny, Amance-Apance reste donc sous réserve des variations spatiales de faciès et de composition !

Quatre sondages, réalisés au cours des travaux d'étude pour la construction de l'autoroute A31, figurent en annexe 1. Ils illustrent la variabilité de faciès de certaines formations. L'attention est à porter sur le "grès" rhétien, pour lequel un sondage révèle sous les Argiles de Levallois 10 mètres d'une argile bleutée grisâtre, noirâtre compacte !

Tableau 10 a : Roches, Lithofaciès, Composition, Altérites

Etage <Age MA>	Puissance (m)	Nom de la roche	Lithofaciès	Composition de la roche	Composition minéralogique de la phase argileuse K I IM C M	Altérites (caractéristiques)	Lieu de prélèvement
Toarcien	5-6	Minerai de fer oolithique	◊ Banc de calcaire orangé, légèrement magnésien ◊ Calcaire marneux riche en oolithes ferrugineuses				
Toarcien inférieur	60-65	Argile gris-bleu	◊ Bancs calcaires souvent terreux, ferrugineux aux affleurements (altération de la pyrite) ◊ Série argilo-marneuse gris-bleu avec nodules ou bancs de calcaire gris-bleu, riche en calcite et en silice (quartz)	Marne : 11 % calcite 2,4 % insolubles 0,86 % pyrite ◊ Riche en éléments fins Taille médiane : 20 µ Nodules : 72 % calcite 6,2 % insolubles 0,92 % pyrite	K I	◊ L'argile marneuse devient jaunâtre par altération (limonite)	Champigneulle (Meurthe & Moselle) [1]
	8	Schistes Cartons	◊ Schistes argileux bitumeux, gris ou noirs ◊ Bancs calcaires bleuâtres, odeur fétide au choc, durs	Schistes : 15 % calcite 1,1 % insolubles 0,92 % pyrite	K I C	◊ Débit en feuillets cartonnés de couleur ocre	Région de Nancy [1]
Domérien supérieur	30-40	Grès Médioliasiques	◊ Calcaires plus ou moins gréseux, durs, parfois massifs, finement micacées gris-bleu en profondeur, très fossilifères au sommet >> charge importante en éléments de la taille des limons (silt < 63 µ) de 55 à 70 %, avec enrichissement en sables fins au fur et mesure que l'on monte dans la formation	en % de matériau décarbonaté Argiles Silts Sables CaCo3 fonction nb coquilles 15 55-65 15-25 15-20 15 55-60 10-15 15-20 25 65-70 5-10 35-75 30-40 55-65 5 10-20 (base) ◊ Taille médiane 5-35 µ Grain maximum du quartz < 100 µ ◊ Nombreux petits nodules ovoïdes, phosphatés dans toute la formation	K I IM C	◊ Très altérables et fissiles ◊ Libération d'un limon de décalcification épais, jaune ocre, ferrugineux. Certains bancs s'altèrent en boules. Très ferrugineux et souvent fendillés aux affleurements.	Jeandelaincourt (Meurthe & Moselle) [4] et [5]

En caractère gras: fraction dominante

[] ref bibliographique

K : Kaolinite
C : Chlorite

I : Illite
M : Montmorillonite

IM : Interstratifiés

Tableau 10 b : Roches, Lithofaciès, Composition, Altérites

Etage <Age MA>	Puissance (m)	Nom de la roche	Lithofaciès	Composition de la roche	Composition minéralogique de la phase argileuse K I IM C M	Altérites (caractéristiques)	Lieu de prélèvement
Domérien inférieur	50-90	Argiles à Amalthées	<p>∅ Argiles marneuses gris bleuâtre, gris clair, à cassure anguleuse, plus ou moins carbonatées, et légèrement micacées (muscovite surtout) contenant à divers niveaux des nodules calcaires.</p> <p>Enrichissement vers le sommet en éléments fins de la taille des limons (silts) et en carbonates (transition avec les grès médioliasiques).</p>	<p>en % de matériau décarbonaté Silts Sables CaCo3</p> <p>45-55 5-15 10-15 45-50 < 5 10 40-45 - < 5 40-45 - 5-10 35 - 5</p> <p>(base)</p> <p>∅ Taille médiane 1-2 μ Grain maximum du quartz < 50 μ</p> <p>Marne :</p> <p>9,6 % calcite 3 % insolubles 1,68 % pyrite</p> <p>Nodules :</p> <p>78 % calcite 0,6 % insolubles 2,86 % pyrite</p>	K I IM C	∅ Roches dures et massives à l'état frais, se débitant par altération en plaquettes de quelques millimètres à 1 cm, mais parfois aussi en des polyèdres à faces courbes, centimétriques	Jeandelaincourt (Meurthe & Moselle) [1] [4] et [5]
Carixien	4-5	Calcaire à Productylioceras davoei	∅ Ensemble marno-calcaire constitué de bancs de calcaire grisâtre, gris bleu, gris jaune, à cassure conchoïdale, riche en nodules phosphatés et de marnes de teinte gris/jaune/beige.	<p>∅ Lithofaciès dominant : calcaire argileux avec [65-80 %] de CaCo3</p> <p>∅ Marne : [55-60 %] de CaCo3 en % roche décarbonatée :</p> <p>Argiles 75 % Silts 25 % Taille médiane 0,3 μ</p> <p>Fer total 12,5 % (en Fe2O3) Mno 0,4 % Mg 7,5 à 11 % (en MgO) >> calcite plus ou moins magnésienne</p>	K I IM C	∅ Peu résistant à l'érosion	Région de Nancy [4] et [5]
Sinémurien supérieur	1-2	Calcaire Ocreux	∅ Bancs de calcaire gris bleu, dur, avec nodules phosphatés blanchâtres pyriteux en profondeur. Le calcaire est plus marneux et plus tendre à la base de la formation.			∅ Par altération, donne de la limonite qui confère au calcaire son aspect ocreux ∅ Très fossilifère	

En caractère gras : fraction dominante

[] ref bibliographique

K : Kaolinite
C : ChloriteI : Illite
M : Montmorillonite

IM : Interstratifiés

26

Tableau 10 c : Roches, Lithofaciès, Composition, Altérites

Etage <Age MA>	Puissance (m)	Nom de la roche	Lithofaciès	Composition de la roche	Composition minéralogique de la phase argileuse K I IM C M	Altérites (caractéristiques)	Lieu de prélèvement
Sinémurien supérieur	20	Argiles à Promicroceras	∅ Argiles et marnes gris bleuâtre à noirâtre, micacées, parfois feuilletées, pouvant contenir quelques nodules calcaires.	<p>7,2 % calcite 2,4 % insolubles 1,04 % pyrite</p> <p>∅ quartz rares et petits (5-10 μ) ∅ imprégnation de limonite et grands cristaux de gypse</p>	K I C		Gérardcourt (Meurthe & Moselle) [1]
Sinémurien inférieur Hettangien	10-12	Calcaire à Gryphées	<p>∅ Alternance de bancs de calcaires gris-bleu, durs, résistant bien au gel et à l'érosion, décimétriques (10-30 cm) avec des lits marneux et marnes calcaires. Au sommet : nodules phosphatés roulés gris clair.</p> <p>∅ 3 lithofaciès :</p> <p>- calcaires >> bancs >> nodules 5-15 cm de couleur gris bleu - marnes grises (gris-bleuâtre), généralement plus épaisses que le calcaire - marnes noires, non feuilletées dans les marnes grises</p>	<p>Calcaire :</p> <p>80 % calcite 2 % insolubles à 7-20 % (pollution par marne) 0,92 % pyrite Taille moyenne des quartz 30 μ (<100) Teneur: rares à 3 %</p> <p>Marne</p> <p>45 % calcite 1,9 % insolubles 0,48 % pyrite Taille moyenne des quartz 40 μ (<50) Teneur: 3 à 5 %</p>	K I IM K I IM	∅ Le calcaire altéré donne un limon assez argileux, gris orangé, surtout quand il est entouré par des marnes jaunâtres (oxydation de la pyrite en oxyde de fer)	Région de Nancy [1] et [2]
< 195 > Rhétien supérieur	0-5	Argiles de Levallois	<p>∅ Roches massives et compactes, de cassure anguleuse à l'état frais (plaquettes centimétriques), peu fossilifères</p> <p>∅ 2 faciès :</p> <p>- marnes de couleur lie de vin - marnes non rouges (couleur bleu clair) au sommet, à la base des "argiles" lie de vin, ou en intercalation.</p>	<p>44 % calcite 1,8 % insolubles 0,58 % pyrite</p> <p>Quartz rares, de taille moyenne 20 μ</p>	K I IM M K I IM	∅ Libère un limon assez argileux	Région de Nancy [1] et [2]

En caractère gras : fraction dominante

[] ref bibliographique

K : Kaolinite
C : ChloriteI : Illite
M : Montmorillonite

IM : Interstratifiés

27

Tableau 10 d : Roches, Lithofaciès, Composition, Altérites

Etage <Age MA>	Puissance (m)	Nom de la roche	Lithofaciès	Composition de la roche	Composition minéralogique de la phase argileuse K I IM C M	Altérites (caractéristiques)	Lieu de prélèvement
Rhétien inférieur	20-30	Grès Infraliasique	<p>∅ Ensemble marno-gréseux</p> <p>5 lithofaciès :</p> <p>1/ type conglomératique : matrice essentiellement sableuse</p> <p>2/ sableux et gréseux : grès fins, siliceux, à ciment plus ou moins calcaire, souvent ferrugineux, parfois légèrement micacés. Sables souvent blanchâtre (Haute Marne) à jaunâtre.</p> <p>3/ "pélique" (à grains très fins) les pérites sont finement micacées, de couleur variable : souvent noir, noir gris, ou gris, parfois bariolée jaune/ocre, et même verdâtre. Elles se présentent soit : - en bancs épais (0,5-2,5 m) étendus sur quelques dizaines de mètres. - en niveau homogène, d'une épaisseur de moins de 7 cm étendue sur plusieurs mètres - en lentilles minces, d'étendue latérale variable (de l'ordre du cm), en général noires.</p> <p>4/ argileux lentilles minces d'argiles vertes</p> <p>5/ marneux dolomitique A la base du Rhétien, localisation d'un niveau phosphaté ("bone bed" sous les grès)</p>	<p>entre 10 et 90 % d'éléments supérieurs à 2 mm</p> <p>fraction 2-20 μ dominante moins de 30 % de silice</p> <p>pas de calcite 1,4 % insolubles 0,94 % pyrite</p> <p>Argile 75 %</p> <p>Argile >30 %</p>	<p>K</p> <p>K IM (kaolinite étroitement liée au faciès gréseux)</p> <p>K I IM</p> <p>I IM</p> <p>I IM</p>	<p>∅ Les débris et éboulis de grès sont très destructibles par altération superficielle</p> <p>∅ Lithofaciès souvent friable, ou cimenté (dur) par un ciment ferrugineux ou siliceux.</p> <p>∅ Consolidation des sables par imprégnation de produits ferrugineux oxydés. Les sables prennent alors une teinte brun- orangé, brun foncé et même noir (note : les sables très fins et les sables argileux sont plus consolidés par la matière ferrugineuse que les sables moyens et grossiers).</p> <p>∅ Pour les pérites en bancs épais : débit en petites plaquettes minces</p>	<p>Région de Nancy [1]</p> <p>Note :</p> <p>∅ Une croute siliceuse de nourrissage diagénétique caractérise la plupart des grains de quartz étudiés des litho- faciès sableux, » elle ne permet pas une étude morphoscopique.</p> <p>∅ Les sables contiennent des minéraux lourds ubiquistes, ce qui ne permet pas de rattacher les dépôts du Rhétien à une source donnée.</p> <p>Source [2] : Thèse de doctorat d'état, 1976, Ranzy Al Khatib. "Le Rhétien de la bordure orientale du Bassin de Paris, étude pétrographique et sédimentologique".</p>

En caractère gras : fraction dominante

[] ref bibliographique

K : Kaolinite
C : ChloriteI : Illite
M : Montmorillonite

IM : Interstratifiés

28

Tableau 10 e : Roches, Lithofaciès, Composition, Altérites

Etage <Age MA>	Puissance (m)	Nom de la roche	Lithofaciès	Composition de la roche	Composition minéralogique de la phase argileuse K I IM C M	Altérites (caractéristiques altérations)	Lieu de prélèvement
Keuper supérieur	20	Marnes irisées supérieures	<p>∅ Alternance de marnes vert, vert-pâle lie de vin ou rougeâtre, avec des petits bancs de dolomie mameuse gris verdâtre ou jaunâtre, sans amas de gypse.</p>	<p>Marne rouge</p> <p>28 % calcite 32 % dolomite 2 % insolubles 0,2 % fer (exprimé en sesquioxyde)</p> <p>Marne verte</p> <p>10 % calcite 51 % dolomite 2,2 % insolubles 0,22 % fer (exprimé en sesquioxyde)</p>	I	<p>∅ Débit des marnes en fragments à cassure conchoïdale</p> <p>∅ Ravinement intense</p>	Domjulien (Vosges) [1]
Keuper moyen	5-8 0-2 0-10	Dolomie moëllon Marnes irisées Grès à Roseaux	<p>∅ Dolomie jaune pâle, à grain fin, se présentant en bancs plus ou moins épais, assez durs, bien lités, diaclasés. >> ressaut dans le paysage</p> <p>∅ Episode de marnes argileuses vertes, rougeâtres ou violacées, non sableuses (écran imperméable).</p> <p>∅ Roche grés-sableuse, micacée, plus ou moins mameuse à développement lenticulaire >> ressaut dans le paysage</p>			<p>∅ Résistant à l'érosion</p>	
Keuper inférieur	80-85	Marnes irisées inférieures	<p>∅ Alternance de marnes vertes, violette rouges ou noires et de petits bancs de dolomie. Surtout dans la moitié supérieure, existence d'amas de gypse et d'anhydrite.</p>	<p>Marne verte</p> <p>22,7 % calcite 3 % insolubles 6 % gypse 0,42 % fer (exprimé en sesquioxyde)</p> <p>Marne à gypse</p> <p>36,1 % calcite 14,4 % dolomite 1,8 % insolubles 4 % gypse 0,5 % fer (exprimé en sesquioxyde)</p>	I M	<p>∅ Finement feuilletée</p> <p>∅ Aspect d'une marne feuilletée</p>	Bainville aux Miroirs (Meurthe & Moselle) [1] Rosières aux Salines (Meurthe & Moselle)

En caractère gras : fraction dominante

[] rel bibliographique

K : Kaolinite
C : ChloriteI : Illite
M : Montmorillonite

IM : Interstratifiés

29

Tableau 11: installation du réseau hydrographique

	Fin tertiaire	Quaternaire
Climat	Semi-aride et chaud: érosion par désagrégation mécanique dominante	Période de balancement climatique: ◊ phases glaciaires + climat péri-glaciaire, + érosion par gélifraction et cryoclastie dominantes. ◊ phases interglaciaires + climat tempéré, + érosion par hydroclastie et dissolution dominantes.

Système hydrographique	<u>Mouvements tectoniques de la fin du III: installation du réseau hydrographique</u>	<u>Orientation du réseau par rapport à la structure</u>	<u>Dynamique quaternaire: modelé des vallées</u>
Marne et Meuse	1/Soulèvement de la région du plateau de Langres (plan incliné vers le Nord): Marne et Meuse suivent cette pente. 2/Déplacement de l'axe de soulèvement vers le nord-ouest et l'ouest, individualisation des 2 bassins: - la Marne selon une pente nord-ouest avec de nombreux affluents est, - la Meuse, au sommet de la déformation, s'écoule difficilement vers le nord.	Adaptation des affluents de la Marne à la structure, Non adaptation de la Marne.	Séquence glaciaire: éclatement des calcaires bajocien et domérien par cryoclastie, couverture d'éboulis sur les versants. Séquence interglaciaire: déblaiement des couches tendres et des débris calcaires facilité par l'organisation du réseau. Creusement des vallées en berceaux aux versants symétriques du Bassigny supérieur.
Meuse		Non adaptation de la Meuse.	Ecoulement gêné par l'organisation du réseau: déblaiement des argiles du Lias, dégagement de vallons aux pentes douces plutôt que des vallées.
Amance -Apance	1/Soulèvement du seuil de la Haute-Saône: failles et horst. 2/Affaissement des plaines de la Saône: organisation orthogonale de l'Amance, creusement et déblaiement modéré du fait du climat sec.	Non adaptation	Brutalité du creusement et intensité du déblaiement dans les marnes du Keuper: dégagement de vallées profondes plus ou moins dissymétriques à fond plat aux versants raides, érosion régressive forte.

Source des commentaires : D.LAMARRE, 1969, [21]

32- La dynamique quaternaire

Après le retrait définitif de la mer au début de l'ère tertiaire, commence le cycle d'érosion des roches et de sédimentation continentale. Si les plateaux (surfaces d'érosion et surfaces structurales) sont mis en place, sous l'oeuvre conjuguée des paléoclimats et de la tectonique, et si l'essentiel du réseau hydrographique est installé dès la fin du tertiaire, c'est au cours du quaternaire qu'est façonné le relief actuel, avec:

- le creusement du réseau fluvial, qui dégage le relief de côtes et qui aboutit aux modelés des vallées,
- la genèse, entamée au Tertiaire, des formations superficielles, qui donneront naissance aux sols.

321- Creusement du réseau hydrographique

Au paragraphe 12-, nous avons insisté sur l'importance dans l'organisation du relief de l'existence de 3 grands axes hydrographiques, avec 3 régimes hydrologiques et donc 3 dynamiques distinctes.

L'importance du creusement et des dégagements, les formes des vallées, ont été conditionnées par:

- le rapport existant entre les orientations du réseau hydrographique et la structure (pendage des couches),
- les incitations tectoniques auxquelles les talwegs ont du s'adapter,
- les mouvements éventuels des bassins hydrographiques.

Le tableau 11 résume les phénomènes importants.

322- Le milieu périglaciaire

1/ Genèse, distribution et remaniement des formations superficielles

Au paragraphe précédent a été introduit un facteur fondamental qui a conditionné les processus morphologiques et pédogéniques du Quaternaire: le climat péri-glaciaire.

Y.Dewolf, 1982, [12], donne la définition suivante du "milieu péri-glaciaire":

" Le milieu péri-glaciaire est appréhendé avant tout comme un "espace caractérisé par un système morphologique combinant des éléments variées" (Biuletyn peryglacjalny 14-1964 p.121). Système lié à des conditions climatiques froides particulières. Il ne peut donc être défini par quelques phénomènes isolés : éolisation, gélifraction, solifluxion....".

Cette combinaison de phénomènes aboutit à la mise en place des couvertures superficielles. Leur distribution obéit à une logique conditionnée par:

- la nature des roches sous-jacentes = type de matériaux libérés par altération,
- la topographie = la valeur des pentes conditionne la mobilité des matériaux et leur remaniement,
- les agents d'érosion, dont la circulation de l'eau, qui commande la mobilisation, le transport et le dépôt des matériaux, leur évolution, en interaction avec la topographie.

Mais cette logique de répartition peut être masquée par des apports plus ou moins épais (exemple: limons éoliens), plus ou moins mélangés avec les matériaux initiaux, d'où les difficultés d'interprétation.

Les formations superficielles peuvent être inventoriées selon leur origine (tableau 12).

Tableau 12 : Classification des formations superficielles selon leur origine

Origine	Dynamique / Facteur	Types de formation
Altérites = formation autochtone (--> Paléosols)	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Hydroclastie ◊ Gélifraction / Cryoclastie ◊ Dissolution superficielle ◊ Décarbonatation 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Ameublissement des argiles et des marnes avec mobilisation rapide des matériaux ◊ Blocs, dalles, plaquettes, éléments grossiers plus ou moins emballés dans une argile ou un limon de décalcification ◊ Argiles, limons et sables de décarbonatation
	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Rubéfaction ◊ (silicification, ferruginisation...) 	Terra rossa - Terra fusca (Argiles à silex...)
Dépôts (*) = formation allochtone	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Vent Ablation ◊ Gravité Eboulements / Ecoulements ◊ Eau Ablation Ruissellement Glissements en masse Solifluxion 	<ul style="list-style-type: none"> Limons / Sables éoliens Formations de pentes Eboulis de gravité Dépôts de solifluxion Colluvions Dépôts alluviaux
	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Solifluxion ◊ Cryoturbation ◊ Fentes de gel ◊ Hydromorphie 	Formations remaniées (brassage intime des couches)
Formations mixtes = altérite contaminée / remaniée		

(*) Ces apports peuvent être plus ou moins remaniés à leur partie inférieure au contact des couvertures résiduelles.

2/ Les formations superficielles dans les régions du catalogue des stations forestières
Types et nature des matériaux

a/ **Altérites en place** (formations résiduelles, résultant de l'altération in situ du substratum sur lequel elles reposent)

Elles se distribuent sur les plateaux, dans les dépressions argilo-marneuses, et sur le relief mou du Carixien-Sinémurien supérieur. Elles y sont plus ou moins développées et elles peuvent être masquées par des dépôts allochtones et de remaniement de nature et d'épaisseur variables.

Envisageons les 3 milieux:

a1/ Les plateaux:

Si à petite échelle, ils apparaissent comme une surface plane, à grande échelle, ils présentent de larges ondulations, aux pentes très douces, sur lesquelles les matériaux ont pu se déplacer ou s'accumuler, créant une hétérogénéité spatiale.

+ Plateau du Bassigny supérieur (Domérien supérieur) :

L'altérite du calcaire gréseux est un limon argilo-sableux (sable fin) de décarbonatation, rubéfié, au caractère de terra-fusca (terres argileuses brun-rouge, la couleur étant due à la dynamique du fer sous un paléo-climat humide et chaud), qui emballent des plaquettes grossières de taille décimétrique, des blocs et des "miches" (altération en boules).

La texture peut devenir plus argileuse ou plus sableuse selon les variations de faciès (du grès calcaire au calcaire marneux).

L'altérite est largement masquée, assez loin des rebords de cuesta, par une couche superficielle limono-argileuse à argilo-limoneuse plus ou moins épaisse. Cette couche est tronquée puis disparaît au fur et à mesure que l'on se rapproche du rebord de cuesta.

+ Plateau du Calcaire à Gryphées :

L'altérite est un limon argileux de décarbonatation, qui s'accumule entre les dalles et les blocs anguleux de calcaire dur, difficilement altérable.

Elle peut être également recouverte par une couche épaisse de limon argileux (à argile limoneuse), qui correspond aussi bien à un apport allochtone, qu'à l'altérite d'un banc plus marneux.

+ Plateau du Rhétien :

Le plateau est recouvert par des formations superficielles de nature très diverse du limon le plus pur, au sable le plus fin, à l'argile la plus lourde, avec tous les intermédiaires possibles !

Sur cette plate-forme disséquée, se distribuent:

© Les altérites du grès rhétien proprement dit.

Avec une grande hétérogénéité de faciès (des pélites argileuses au grès dur, voir les sondages en annexe), les altérites sont de nature très variée:

- arène sableuse, à sable fin, avec blocs et cailloux anguleux,
- matériau sableux ocre à jaunâtre plus ou moins consolidé par imprégnation de produits ferrugineux,
- matériau sablo-argileux à argilo-sableux, colmatant des blocs gréseux plus ou moins émoussés.

Ces altérites affleurent principalement à proximité du rebord de la grande cuesta du Keuper et sur les promontoires et buttes couronnés de grès, mais aussi dans le Bassigny inférieur, dans la petite vallée creusée par la Meuse.

© Par lambeaux

- des restes du Sinémurien inférieur et de l'Hettangien, qui fournissent un matériau limono-argileux à argilo-limoneux de décarbonatation,
- les Argiles de Levallois, et des niveaux argileux relativement épais qui peuvent localement exister au-dessus des grès, et qui produisent par altération une argile lourde, plastique.

© Enfin un recouvrement de limon épais (origine éolienne?) peut effacer tout rapport avec le substratum et son altérite !

Exemples sur le plateau du Rhétien:

+ plateau: fosses 67 (Bize) et SAFE 276 (Voisey) sur matériel "limoneux" profond sur grès rhétien,

+ plateau (bordure): fosses 33 (Dammartin sur Meuse, nombreux blocs de grès vers 30/35 cm), SAFE 282 (Bourbonne, quelques morceaux de grès friables à 90 cm) et 254 (Larivière sur Apance, nombreux blocs de grès à 40 cm) sur matériel sableux,

+ plateau: fosses 63 et 64 (Saulxures), SAFE 531 (Fresnoy en Bassigny) sur matériel limono-argilo-sableux sur grès rhétien,

+ lieu-dit "Le Cul du Haut", commune de Pouilly en Bassigny: couche argileuse épaisse gris-bleutée presqu'en rebord de plateau.

Exemples: altérite du calcaire gréseux domérien (couple 11-12)

Fosse 11 (rebord de plateau) = matériel limono-argilo-sableux décarbonaté, très pierreux à partir de 50 cm, sur blocs et dalles de calcaires gréseux à 80/90 cm de profondeur.

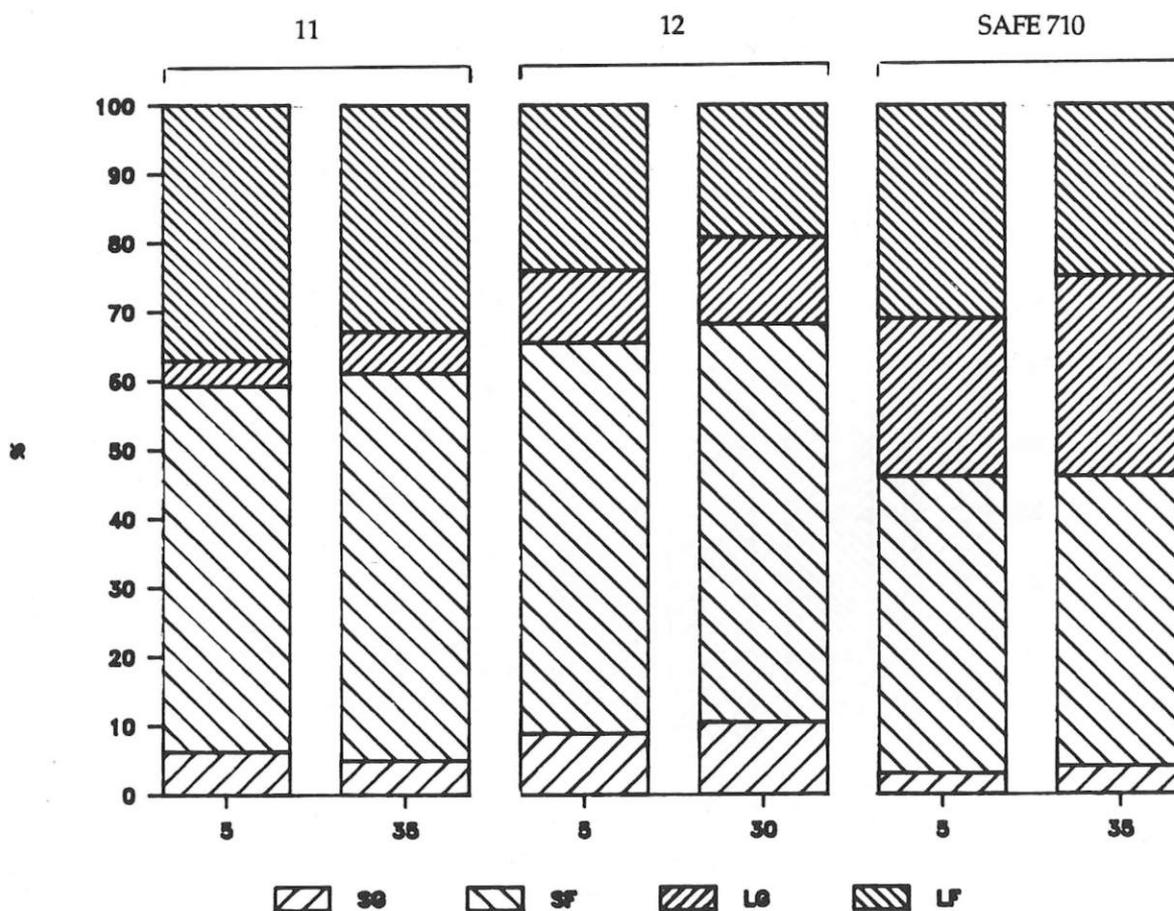
Fosse 12 (rebord de plateau) = matériel argilo-limono-sableux décarbonaté, riche en graviers et cailloux, sur pierres et blocs de calcaires gréseux enrobés de matériel de décarbonatation dès 25/30 cm.

Fosse SAFE 710 (plateau) = idem 12 avec grès calcaire décarbonaté friable à 40/60 cm sur grès calcaire dur.

Fosses	Prof cm	SG %	SF %	LG %	LF %	ARG %
11 (forêt)	5	5,8	49,3	3,4	34,5	6,9
Montigny	35	3,7	42	4,5	24,6	25,2
12 (prairie)	5	6,5	41,7	7,7	17,7	26,5
Montigny	30	7,2	39,9	8,7	13,3	30,8
SAFE 710 *	5	2	32	17	23	26
Outremécourt	35	3	29	20	17	31

* Source [47 a]

Comparaison des squelettes granulométriques :



Exemples: matériel "limoneux" sur l'altérite du Calcaire Gréseux et sur Schistes Cartons

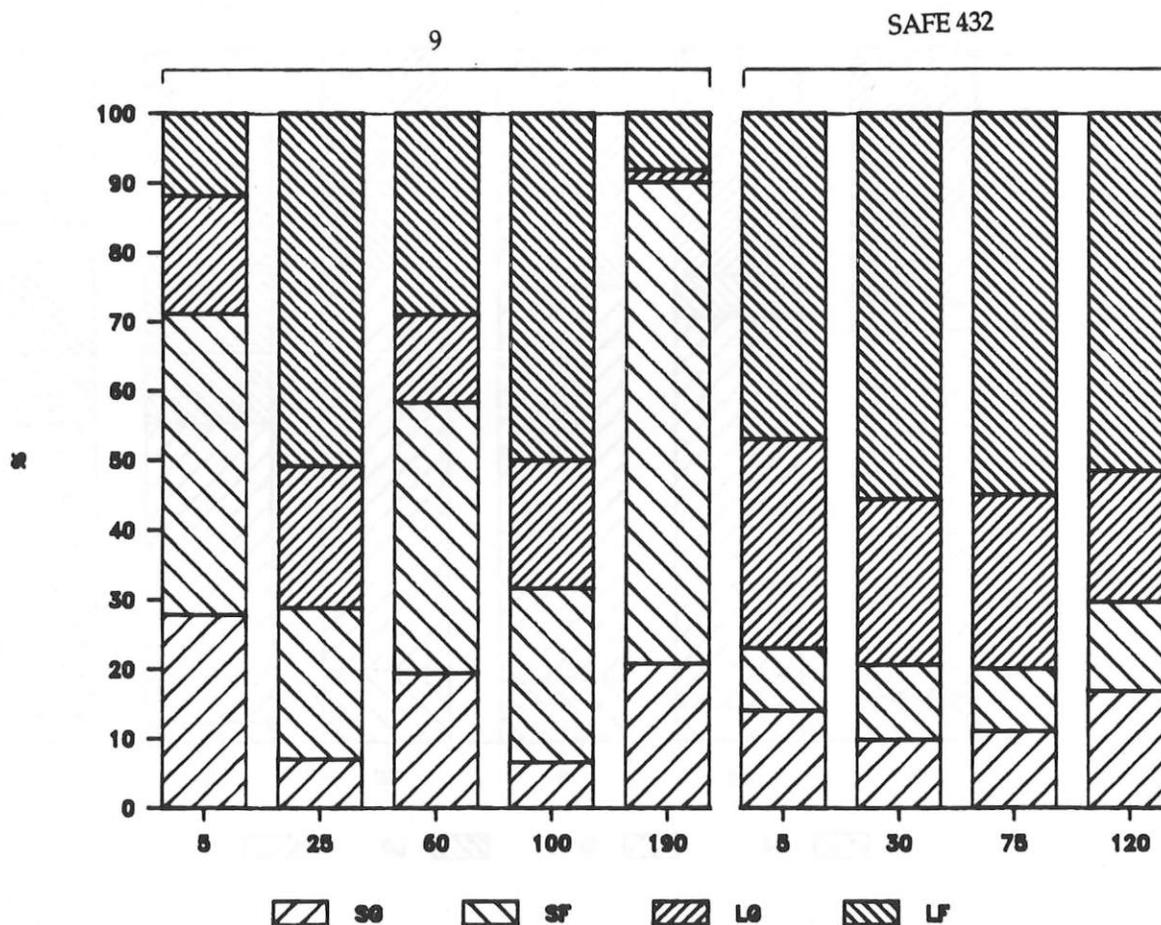
Fosse 9 (Epinant) = altérite argilo-sableuse atteinte vers 1m80, surmontée par un matériel limono-argileux à argilo-limoneux.

Fosse SAFE 432 (Montigny, plateau, prairie) = franchement limoneux en surface, devenant limono-argileux puis argilo-limoneux avec la profondeur. A 125 cm, le pédologue note un matériau argilo-schisteux dur (Schistes-Cartons).

Fosses	Prof cm	SG %	SF %	LG %	LF %	ARG %
9 (forêt) Montigny	5	16	24,9	9,8	6,8	42,5
	25	5,3	16,6	15,5	38,7	23,9
	60	9,9	19,9	6,5	14,8	48,9
	100	4,2	16,1	11,8	32,1	35,8
	190	13,1	43,8	1,1	5,2	36,8
SAFE 432 (prairie) Montigny *	5	13	8	27	42	10
	30	8	9	20	47	16
	75	7	6	16	36	35
	120	9	7	10	28	46

* Source[47 a]

Comparaison des squelettes granulométriques :



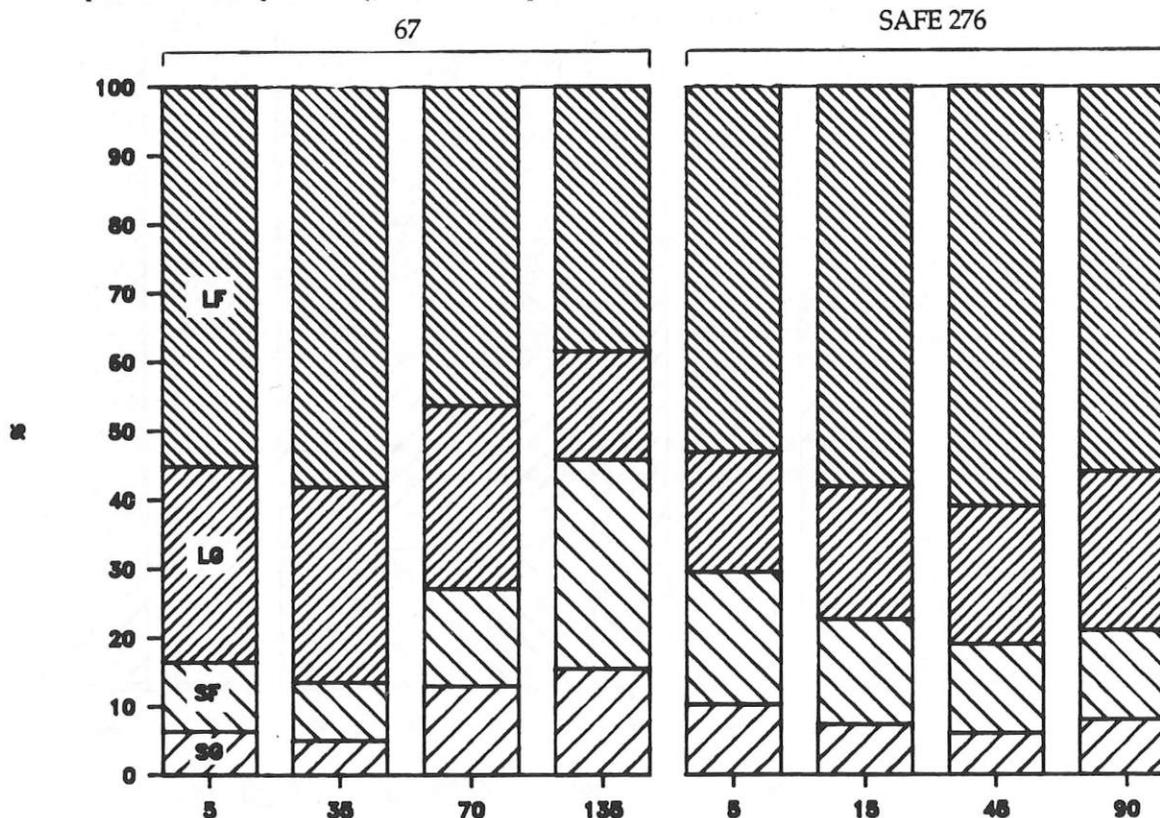
Exemples sur le plateau rhétien : * Source [46] ** Source [47 a]

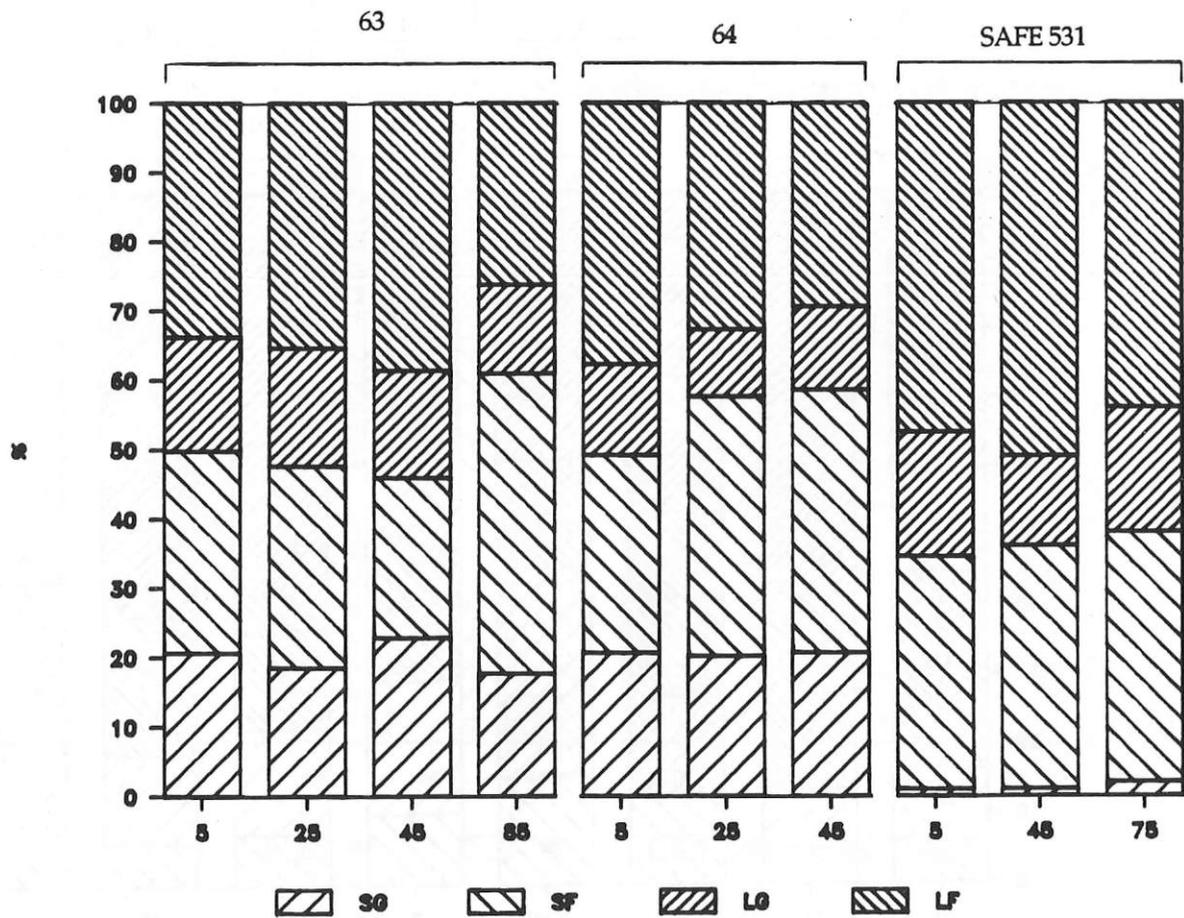
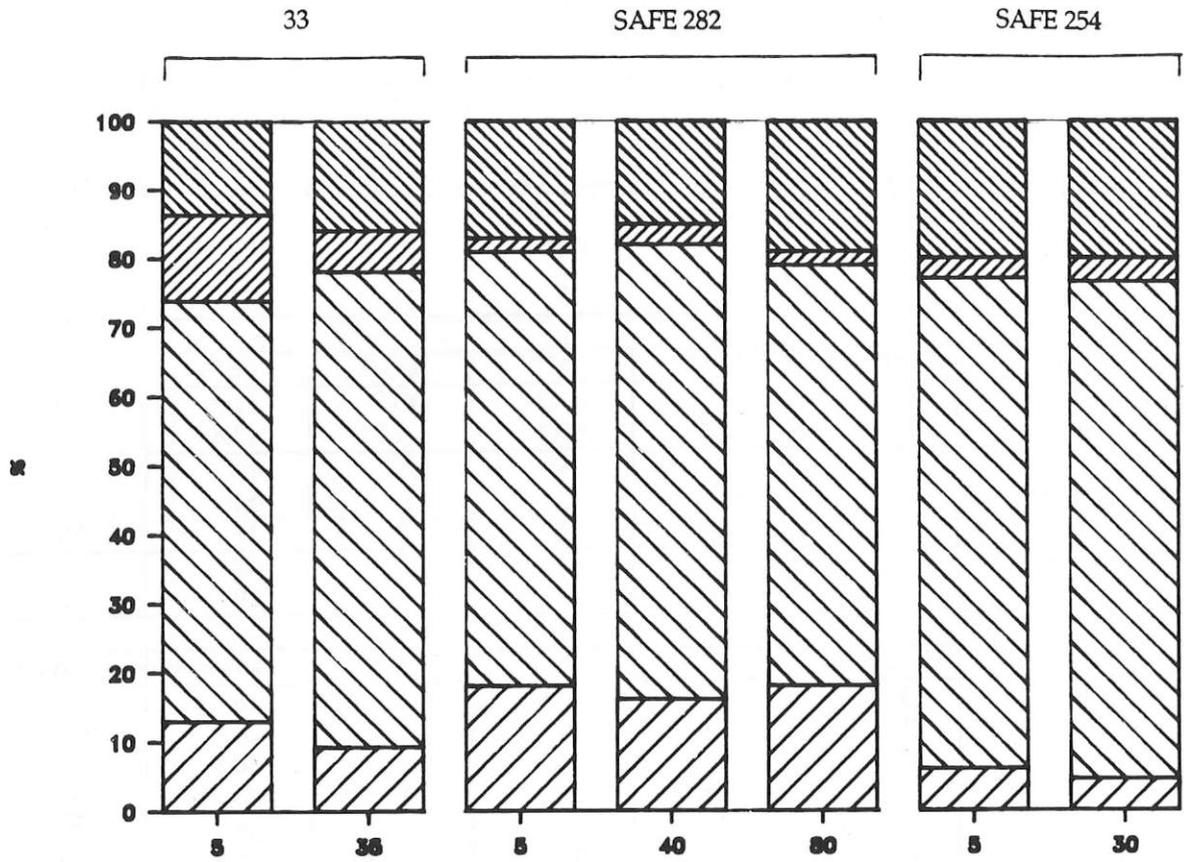
Fosses	Prof cm	SG %	SF %	LG %	LF %	ARG %
67 (forêt)	5	4,8	7,7	21,5	42	24
	35	4,1	6,9	23,2	47,8	18
	70	9,6	10,5	19,7	34,5	25,7
	135	11	21,5	11,3	27,4	28,8
SAFE 276 (forêt) *	5	9	17	15	47	12
	15	6	13	16	49	16
	45	5	11	17	51	16
	90	5	8	14	35	38

Fosses	Prof cm	SG %	SF %	LG %	LF %	ARG %
33 (forêt)	5	10,9	51,3	10,5	11,5	15,7
	35	7,9	59,1	5,1	13,8	14,1
SAFE 282 (forêt) *	5	17	58	1	16	8
	40	15	60	2	14	9
	80	15	51	2	16	16
SAFE 254 (forêt) *	5	6	68	3	19	4
	30	4	71	3	20	2

Fosses	Prof cm	SG %	SF %	LG %	LF %	ARG %
63 (forêt)	5	16	22,6	12,7	26,2	22,5
	25	14,6	23	13,4	28	21
	45	18	18,2	12,2	30,5	21,1
	85	13,6	33,4	9,9	20,3	22,8
64 (prairie)	5	17,3	24,1	11	31,8	15,8
	24	16,9	31,5	8,1	27,6	15,9
	45	15,7	28,9	9,1	22,5	23,8
SAFE 531 (prairie) **	5	1	27	14	38	20
	45	1	28	10	40	21
	75	1	28	14	34	23

Comparaison des squelettes granulométriques :





a2/ Les dépressions toarciennes et domériennes

L'altération des roches argileuses et marneuses libère un matériau meuble, facilement mobilisable. La couverture d'altération est donc constamment rajeunie, faiblement développée, remaniée par sous-tirage latéral d'éléments fins, ou remaniée et polluée par des apports limono-argileux à argilo-limoneux, dont l'épaisseur varie en fonction de la topographie (cf plus loin "colluvium péri-glaciaire").

a3/ Cas du relief mou du Carixien-Sinémurien supérieur

S'y juxtaposent en une mosaïque des altérites variées (argile limoneuse de décarbonatation des calcaires avec blocs et dalles - argile altérée plus ou moins marneuse sur les bancs marneux), plus ou moins mêlées et recouvertes vers les bas de relief par des limons argileux moyennement épais.

b/ Les dépôts

b1/ Formations de pentes:

+ Système de base de corniche (Campy - Macaire, 1989, [19] page 100)

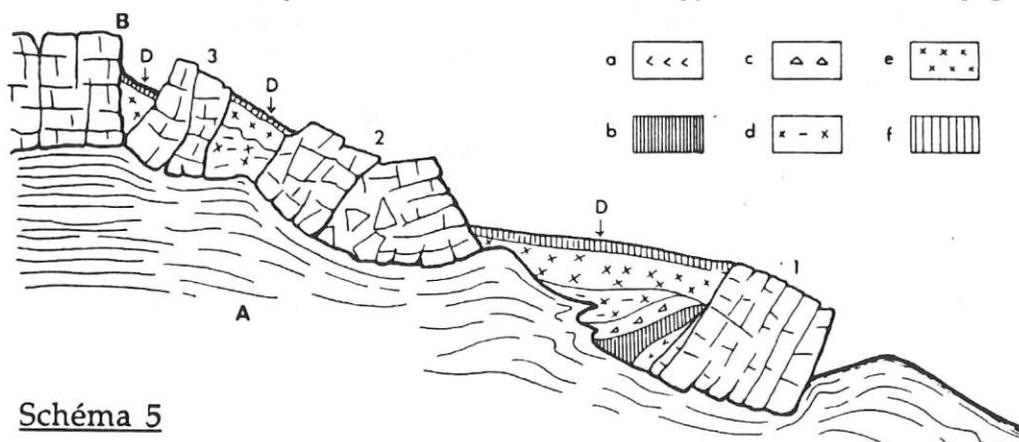


Schéma 5

— Coupe schématique du système de base de corniche de Genay (d'après J. Joly).

Terrains en place : A. Marnes liasiques ; B. Corniche des calcaires bajociens. Barres rocheuses détachées de la corniche : 1. Barre inférieure, la plus ancienne ; 2. Barre moyenne ; 3. Barre supérieure, la plus récente, encore en contact avec la corniche.

Dépôt derrière les barres (D) : a. Horizons du Bajocien supérieur remaniés ; b. Série très rouge ; c. Série rouge avec « la brèche » et le Paléolithique moyen ; d. Série brune avec le Paléolithique supérieur ; e. Série claire, jaunâtre, avec industrie rare et atypique ; f. Couche humifère avec Néolithique final.

Seul le calcaire bajocien présente un tel système. Les barres rocheuses exercent une forte poussée sur les argiles, ce qui facilite les phénomènes de glissement en masse et de solifluxion.

+ Les éboulis de gravité:

Ils ne sont vraiment développés que sur la côte toarcienne, et sont constitués par des éléments calcaires de taille moyenne (graviers et cailloux) résultant de la fragmentation du calcaire bajocien par le gel.

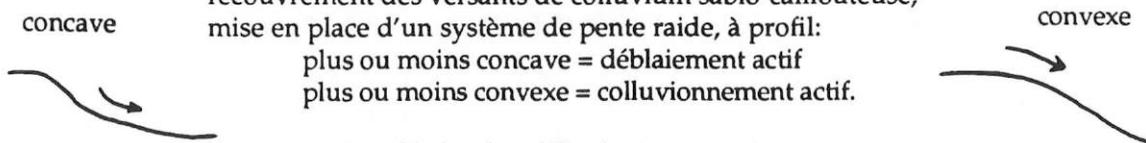
+ Les glissements en masse:

La manifestation de tels phénomènes s'observe sur les versants du Keuper. Un brusque apport d'eau de précipitation latérale, un sapement basal...provoquent le décollement en loupes d'une masse considérable de marnes massives, gonflantes (Keuper inférieur constitué à 50% de montmorillonite).

L'intensité de ce phénomène pourrait contribuer à l'explication du déblaiement de quantité importante des marnes du Keuper et la quasi-absence de pente moyenne des versants de l'Amance-Apance.

Scénarios possibles:

- + Glissement en masse des marnes gonflantes du Keuper inférieur,
- + Répercussion sur les niveaux supérieurs, avec:
recouvrement des versants de colluvium sablo-caillouteuse,
mise en place d'un système de pente raide, à profil:
plus ou moins concave = déblaiement actif
plus ou moins convexe = colluvionnement actif.



+ Les dépôts de solifluxion:

Moins spectaculaire que les glissements en masse, les figures de solifluxion s'observent sur l'ensemble des versants argileux et marneux, aux pentes importantes.

"La solifluxion est provoquée par une différence de comportement entre les horizons superficiels et les niveaux plus profonds. Une accentuation du phénomène de solifluxion a lieu dans les environnements périglaciaires lorsque les dégels périodiques entraînent une discontinuité de comportement entre les niveaux superficiels gorgés d'eau (mollisol) et les niveaux profonds gelés (permafrost)" (Campy - Macaire, 1989, [19] page.95).

La solifluxion entraîne le transport et le brassage des matériaux.

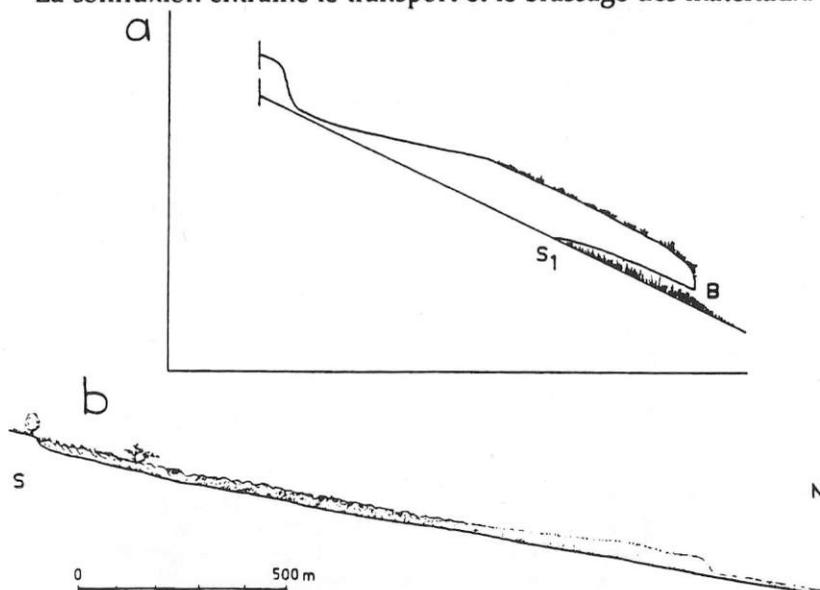


Schéma 6

— Deux représentations de coulées de solifluxion.

a : Coupe d'une langue de solifluxion avec cisaillement basal (d'après P. Birot, 1981) : coupe théorique sans échelle. Recouvrement de l'herbe suivant le cisaillement basal S1b.

b : Un glissement superficiel dans les argiles : Valdrôme — Drôme (d'après J. Goguel, 1971).

(Campy - Macaire, 1989, [19] page 97)

Les dépôts mis en place sont hétérogènes et d'épaisseur variable.

- Sur les côtes bajocienne et domérienne = les dépôts d'argiles et de limons emballent quelques éléments calcaires plus ou moins anguleux,
- Sur la côte du Keuper = les dépôts d'argiles plus ou moins mêlées de sable ou de limons emballent quelques débris gréseux.

+ Les colluvions:

Elles se trouvent à divers niveaux sur les versants (sommet, partie moyenne ou basse) et sont de texture variée, fonction du substrat qui les alimente, des recouvrements ultérieurs et des remaniements. Selon leur lithologie, on trouve:

- Les colluvions limono-argileux à argilo-limoneux, non carbonatés.

Elles sont présentes:

- + en bas des côtes (pente faible et relief légèrement ondulé) du Toarcien et du Domérien inférieur,
- + dans les dépressions ou amorces de vallons et vallées du Bassigny;
- + sur les pentes douces et dans les cuvettes de l'ensemble mou Carixien/Sinémurien supérieur;
- + sur le Calcaire à Gryphées, dans de légères cuvettes.

On pourrait définir ce matériau par le terme de "colluvium péri-glaciaire", pour rendre compte de son mode de mise en place.

Sous le climat péri-glaciaire, des coulées boueuses, consécutives à la fonte de la glace dans la partie superficielle d'un sol gelé, sont alimentées par des argiles et limons d'altération abandonnés sur les versants, ainsi que les argiles altérées des couches tendres. L'ensemble est intimement brassé au cours du déplacement, sur de faible distance. Une pente faible est suffisante. Ces coulées s'accumulent préférentiellement dans les dépressions et les cuvettes, dans les fonds et les amorces de vallons, comme en témoigne le long de la cuesta domérienne l'existence de quelques vallons à fond plat, remblayés par ce "colluvium péri-glaciaire". Ces vallons s'élargissent en berceau à l'aval.

Ultérieurement ce matériau a pu être remobilisé et redistribué.

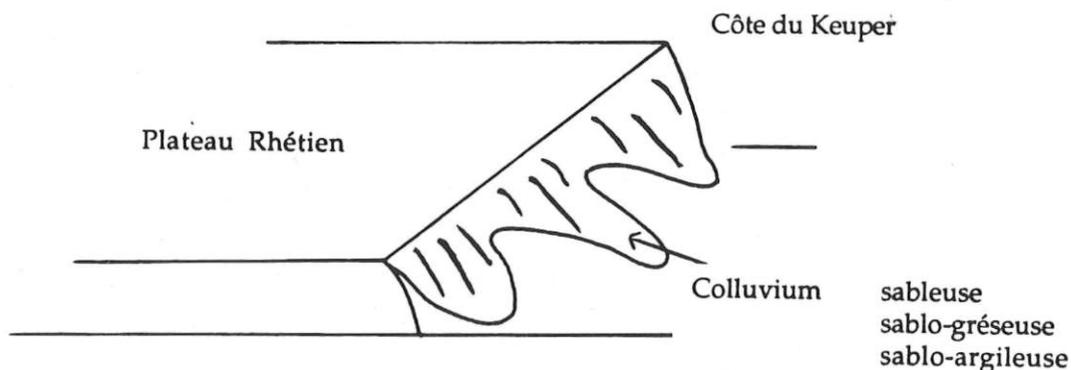
- Les colluvions sableuses.

Elles s'observent sur les versants de la côte Rhétien / Keuper. Il s'agit en fait d'un mélange de matériaux sablo-gréseux du Rhétien et argileux du Keuper dont les caractéristiques sont hétérogènes et l'épaisseur très variable.

En haut de pente : colluvium plutôt sableuse sur les argiles.

Sur la pente : colluvium sablo-argileuse à argilo-sableuse.

Ce recouvrement n'est pas uniforme et prend l'aspect de "coulées" irrégulières le long des versants (schéma ci-dessous).



Mais du fait des fortes pentes et des propriétés gonflantes sous l'action de l'eau des argiles du Keuper, ces formations sont instables, et sont soumises à une forte érosion et à des remaniements.

b2/ Les dépôts alluviaux

Leur composition est fonction des terrains traversés. Ils sont de textures très variables, aussi bien:

- d'une vallée à une autre,
- d'un profil à l'autre,
- que sur un même profil,

mais l'hydromorphie y est toujours très accusée dès la surface.

b3/ Les "limons"

Un matériau "limoneux" épais (jusqu'à 2 mètres de profondeur, parfois 3 mètres) recouvre assez largement les 3 plateformes structurales définies par:

- le calcaire gréseux du Domérien (ex: n° 9 et SAFE 432),
- le Calcaire à Gryphées,
- le grès rhétien (ex: n° 67 et SAFE 276)

En fait, ces "limons" désignent des matériaux variés:

- limons plus ou moins argileux, parfois finement sableux, avec des dépôts ferrugineux importants vers 50 cm, sur la plateforme du Domérien supérieur,
- limons argileux sur Calcaires à Gryphées, avec de nombreuses oolithes ferrugineuses,
- limons souvent argileux, épais, sur la plateforme disséquée du grès rhétien, à caractère glossique en profondeur, avec également des dépôts ferrugineux importants.

L'origine de ces limons est discutée. L'hypothèse d'un apport éolien serait cohérent au vue des résultats granulométriques de la fosse SAFE 432 et 276. La texture est nettement limoneuse (limon fin) avec une teneur relativement constante sur plus de 60/70 cm. Les résultats de la fosse 9 et 67 sont plus ambigus. L'observation des profils pédologiques a révélé dans les 2 cas qu'ils s'agissaient de très vieux sols:

- à Epinant: sol polycyclique, avec superposition de 2 horizons de lessivage (fosse homologue sur prairie),
- à Bize: sol lessivé à caractère fragile, avec des langues argileuses (glosses) très développées vers 1 mètre.

L'existence de ces limons anciens réfute (au moins localement) l'hypothèse d'un recouvrement éolien Tardi-Glaciaire. S'agirait-il alors de limons éoliens déposés au Würm ancien, au Riss ou antérieurs?

A défaut d'études plus approfondies, il est préférable de favoriser l'hypothèse d'une origine locale de ces limons, éventuellement redistribués au Quaternaire sur de faibles distances.

Scénarios: 1/ altération profonde sur place des assises riches en éléments fins (y compris le Rhétien avec des faciès argileux),
2/ remaniement ultérieur des éléments libérés (par cryoturbation au péri-glaciaire, solifluxion, colluvionnement, ruissellement et circulation aquifère près de la surface du sol, lessivage...).

Ce schéma est cohérent avec la répartition globale des "limons":

- limons épais sur les plateformes structurales, dures, ayant peu bougé mais on peut y voir aussi des niveaux résistants sur lesquels des limons éoliens anciens se seraient conservés,
- limons argileux, peu épais, moins d'un mètre, de redistribution, dans les dépressions et les reliefs faiblement ondulés sur substratum argileux.

L'origine éolienne est possible mais nécessiterait pour la rendre certaine des études plus fines, telles que:

- l'étude détaillée des squelettes granulométriques (présence de discontinuités texturales importantes entre les horizons ?),
- l'étude morphoscopique des grains de quartz (caractère émoussé luisant ou anguleux),
- l'étude des minéraux lourds.

TABLEAUX RECAPITULATIFS 13 a et b

Tableau 13 a : Roches - Modelés - Formations superficielles

Roche-mère	Caractéristiques géomorphologiques	Formations superficielles	Circulation de l'eau
Argiles et marnes du Toarcien et du Domérien inférieur	<p>Côte</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Sous la corniche du Calcaire Bajocien ◊ Haut de côte <p>◊ Partie moyenne et bas de côte</p> <p>Dépression</p>	<ul style="list-style-type: none"> >> Eboulis sur pentes argilo-marneuses du Toarcien >> Colluvions caillouteuses >> Loupes de glissement (pente forte): argiles à nu >> Colluvions argileuses plus ou moins limoneuses (ou sableuses sur la côte domérienne), chargées irrégulièrement en pierrailles. >> Placages de cailloutis possibles en bas de côte >> Couverture mince d'altération des argiles et marnes avec léger colluvium argilo-limoneuse à limono-argileuse selon les ondulations du terrain 	<ul style="list-style-type: none"> >> Ecoulement hypodermique Suintement et sources à la limite inférieure des éboulis >> Ruissellement superficiel et mouillères Nappe de pente Risques : <ul style="list-style-type: none"> ---> ravinement ---> mouvements de solifluxion >> Hydromorphie de surface Nappe permanente
Calcaire gréseux domérien	<p>Plateau</p> <p>Rebord de plateau</p> <p>Versants (vallons)</p>	<ul style="list-style-type: none"> >> Couverture "limoneuse" (paléosol / limon éolien?): texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, plus ou moins sableuse (sable fin) >> Altérite: limon argilo-sableux de décarbonatation, au caractère de terra fusca >> Altérite peu épaisse: mélange de cailloux de calcaire gréseux friables et de limon argilo-sableux décarbonaté >> Colluvions limono-argileuses à argilo-limoneuses plus ou moins mêlées de cailloux gréseux 	<ul style="list-style-type: none"> >> Hydromorphie de profondeur (engorgement temporaire) >> Bon drainage >> Bon drainage >> Bon drainage latéral
Ensemble marno-calcaire du Carixien-Sinémurien supérieur	Relief de petites croupes isolées, pentes douces	<ul style="list-style-type: none"> >> Altérites plus ou moins épaisses et évoluées: <ul style="list-style-type: none"> · sur banc de calcaire dur: argile limoneuse de décarbonatation avec cailloux, blocs et/ou dalles · sur marnes: argile altérée plus ou moins décarbonatée 	<ul style="list-style-type: none"> >> Hydromorphie de surface temporaire Nappe perchée (impermeabilité des calcaires marneux) >> Ruissellement Sur les pentes douces: solifluxion lente de masse (nappe de pente) >> Hydromorphie de surface Nappe permanente
Argiles et marnes du Sinémurien	Légères cuvettes	<ul style="list-style-type: none"> >> Couverture mince d'altération des argiles (léger colluvium argilo-limoneuse à limono-argileuse selon les ondulations de terrains) 	<ul style="list-style-type: none"> >> Hydromorphie de surface Nappe permanente
Calcaires à Gryphées Sinémurien inférieur	<p>Plateau</p> <p>Versants (vallons / vallées)</p>	<ul style="list-style-type: none"> >> Altérite limono-argileuse de décarbonatation, plus ou moins épaisse avec cailloux, dalles et/ou blocs anguleux de calcaire dur >> Colluvions limono-argileuses à argilo-limoneuses plus ou moins mêlées de cailloux calcaire 	<ul style="list-style-type: none"> >> intensité variable de l'hydromorphie selon le degré de colmatage des bancs calcaires par le matériau de décarbonatation Nappe perchée

Tableau 13 b : Roches - Modelés - Formations superficielles

Roche-mère	Caractéristiques géomorphologiques	Formations superficielles	Circulation de l'eau
Rhétien	Plateau	>> Couverture "limoneuse" épaisse, 1 à 2 m, (paléosol / limon éolien?): texture limono-argileuse	>> Hydromorphie de profondeur Nappe perchée
	Plateau et rebord de plateau	>> Altérites variées: ◊ arène sableuse, à sable fin, avec blocs et cailloux ◊ matériau sableux ocre à jaunâtre, plus ou moins consolidé par imprégnation de produits ferrugineux ◊ matériau limoneux plus ou moins sableux sur cailloux et blocs gréseux ◊ matériau sablo-argileux à argilo-sableux colmatant des blocs gréseux plus ou moins émoussés ◊ couverture mince d'altération des argiles du Rhétien (Argiles de Levallois et faciès argileux des "grès")	>> Matériau filtrant >> Intensité variable de l'hydromorphie Nappe perchée possible au-dessus de la dalle gréseuse dure >> Hydromorphie de surface (engorgement)
	Certaines surfaces élevées du plateau	>> Altérites de lambeaux marno-calcaires du Sinémurien inférieur, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse plus ou moins décarbonatée en profondeur	>> Hydromorphie de surface temporaire
Keuper	Côte		
	◊ haut de versant	>> Colluvium sableuse plus ou moins épaisse, caillouteuse sur marnes du Keuper (contact brutal)	>> Hydromorphie de profondeur malgré la pente, nappe temporaire latérale au contact des marnes
	versants abrupts (30-50%)	>> Argiles et marnes à nu	>> Ruissellement et dissolution superficielle Risques: ---> érosion ---> décollements en loupes ---> solifluxion, remaniements
	◊ ressaut sur versant	>> Affleurements de dalles ou feuillets minces de calcaire dolomitique (Dolomie moëllon), très résistant à l'érosion	>> Affleurements jalonnés de nombreuses pertes, tandis que des sources en signalent la base
	◊ mi-versant et bas de côte	>> Colluvium sablo-argileuse à argilo-sableuse de pente (texture variable) plus ou moins caillouteuse	>> Nappe temporaire latérale au contact des marnes
	◊ pentes faibles de bas de côte	>> Argiles et marnes à nu de bas de côte sur pentes douces (5-10%)	>> Hydromorphie de surface et ruissellement superficiel (nappe de pente) Risques: ---> érosion ---> solifluxion lente
	Glacis	>> Colluvium peu épais limono-argileux de bas de pente sur marnes du Keuper	>> Nappe perchée au contact des marnes (évacuation lente du fait de la valeur de pente faible)

CONCLUSION

Dans le territoire étudié, les phénomènes péri-glaciaires sont peu marqués:

◊ les formations d'altération (ou les dépôts éoliens) sur les surfaces structurales semblent avoir peu bougé,

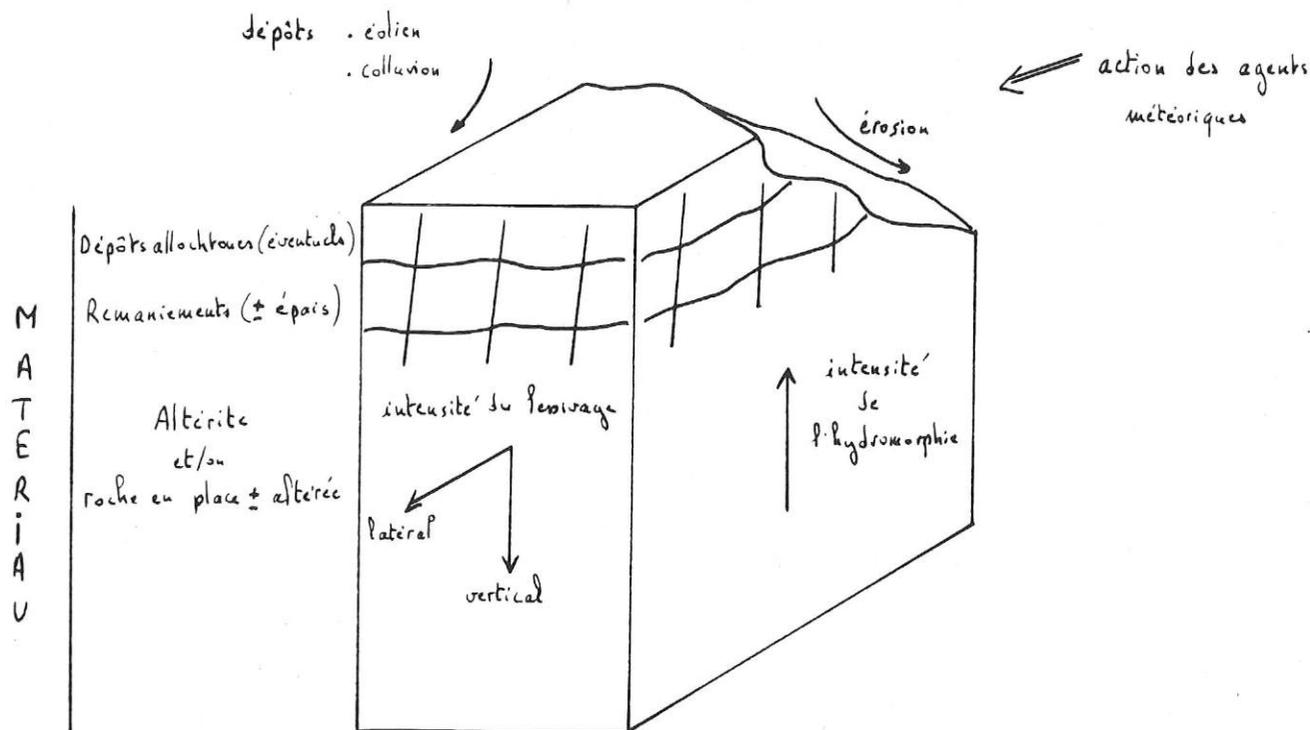
◊ sur les versants, la mise en place des matériaux s'est faite (et se fait) par transport actif: colluvions de textures variées, dépôts soliflués,

◊ sur les pentes faibles dominent les processus proprement pédologiques (décarbonatation, désaturation, lessivage, hydromorphie) sous la dépendance des phénomènes hydrolytiques (ruissellement, sous-tirage latéral),

◊ dans les fonds de vallées de l'Amance-Apance-Marne, de larges couloirs à fond plat ont été aménagés, témoignant d'une évacuation active des matériaux par l'eau.

33- Les sols

A partir d'un matériau, il est possible d'établir une séquence logique théorique de sols, qui évoluent par action d'une combinaison de phénomènes pédogénétiques :



Les tableaux 14 (a et b) font intervenir 2 processus morphodynamiques majeurs: l'érosion et le transport de matériaux. Dans la réalité, ces processus agissent à tous les stades de la pédogénèse et la conditionnent. Trois facteurs en interaction commandent ces relations entre la morphogénèse et la pédogénèse. Ce sont:

- le relief (la topographie)
- la nature des matériaux
- les conditions de drainage, en relation étroite avec les 2 premiers facteurs (DUCHAUFOR, 1988, [38]).

Par exemple:

- le relief même modéré exerce une action importante sur la pédogénèse par la modification du régime des eaux qu'il impose,
- de même la nature des matériaux plus ou moins perméables oriente l'écoulement des eaux et influence

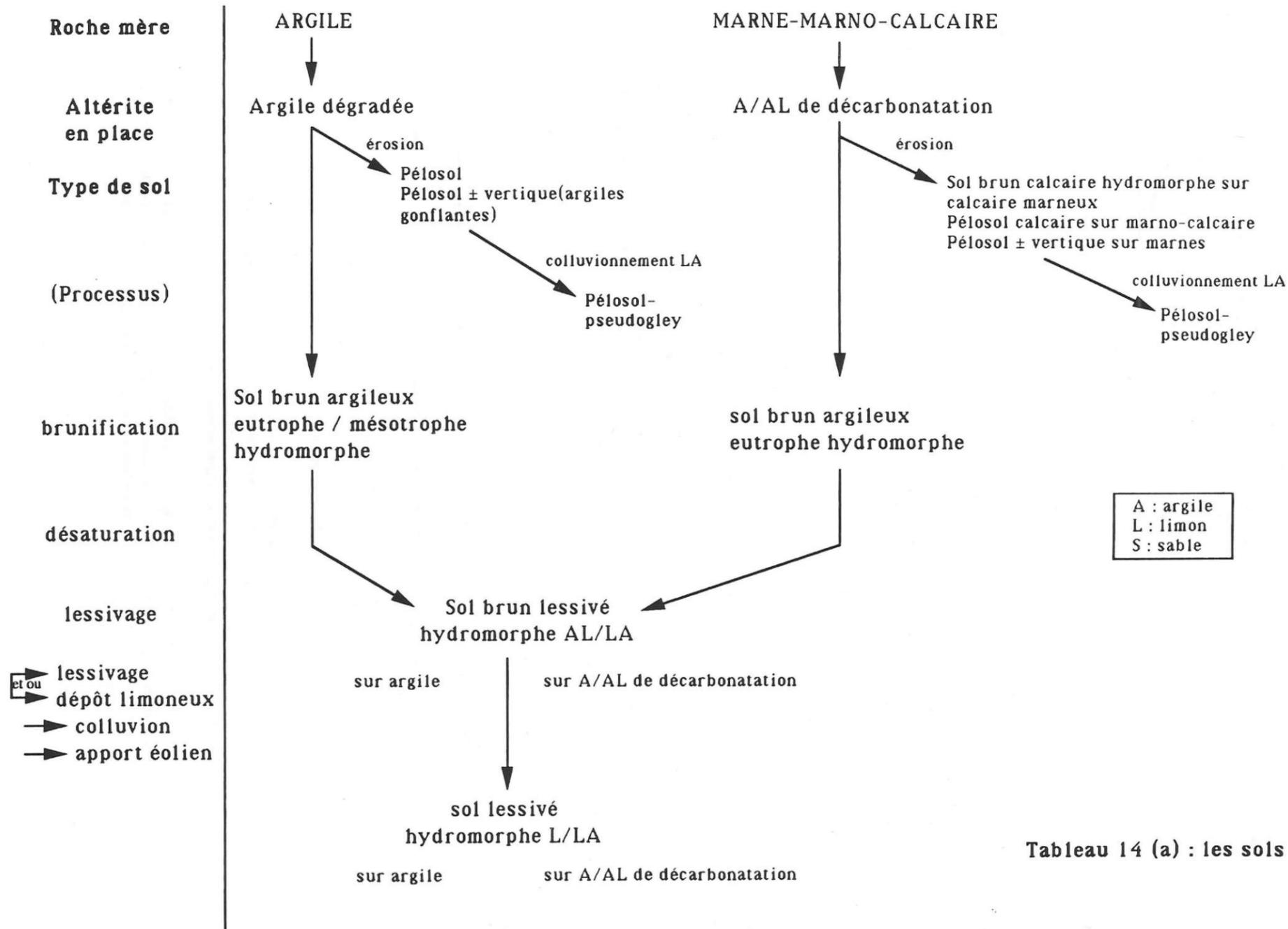
a/ la rapidité de la pédogénèse:

- + lente sur roches dures ou sur roches tendres peu perméables sujettes à l'érosion (pélosol sur matériau argileux),
- + rapide sur les matériaux perméables (cas du calcaire domérien, des argiles et calcaires marneux);

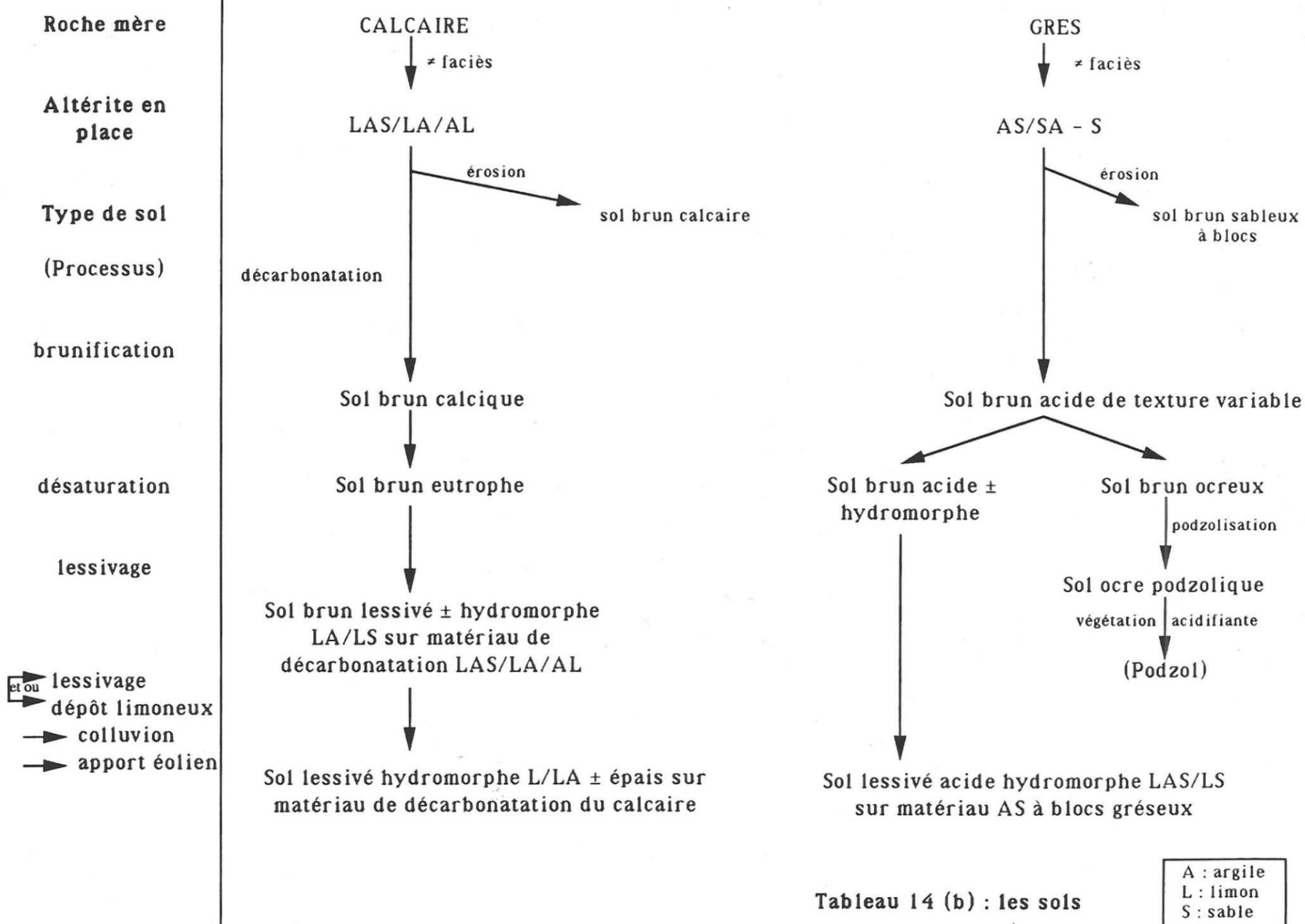
b/ et celle du lessivage de l'argile (acidification des sols):

- + évolution lente vers un profil de sol lessivé si le matériau d'origine est riche en calcaire actif,
- + évolution rapide dans le cas contraire.

Ainsi, en fonction de la topographie et des matériaux, il est possible d'isoler des unités morphopédologiques qui sont les lieux d'interférence entre pédogénèse et morphogénèse, et qui permettent de mieux comprendre les caractéristiques analytiques des sols et leur évolution (TRICART, 1978, [15])



46



47

43- Proposition de découpage morphopédologique

Ce découpage est basé:

- sur les caractéristiques et la définition des types de stations forestières du catalogue (matériau X topographie),
- sur les caractéristiques et la définition des types de sols, principalement étudiés en zones agricoles, de la carte pédologique de Langres au 1/100 000 ème,
- sur l'étude de terrain.

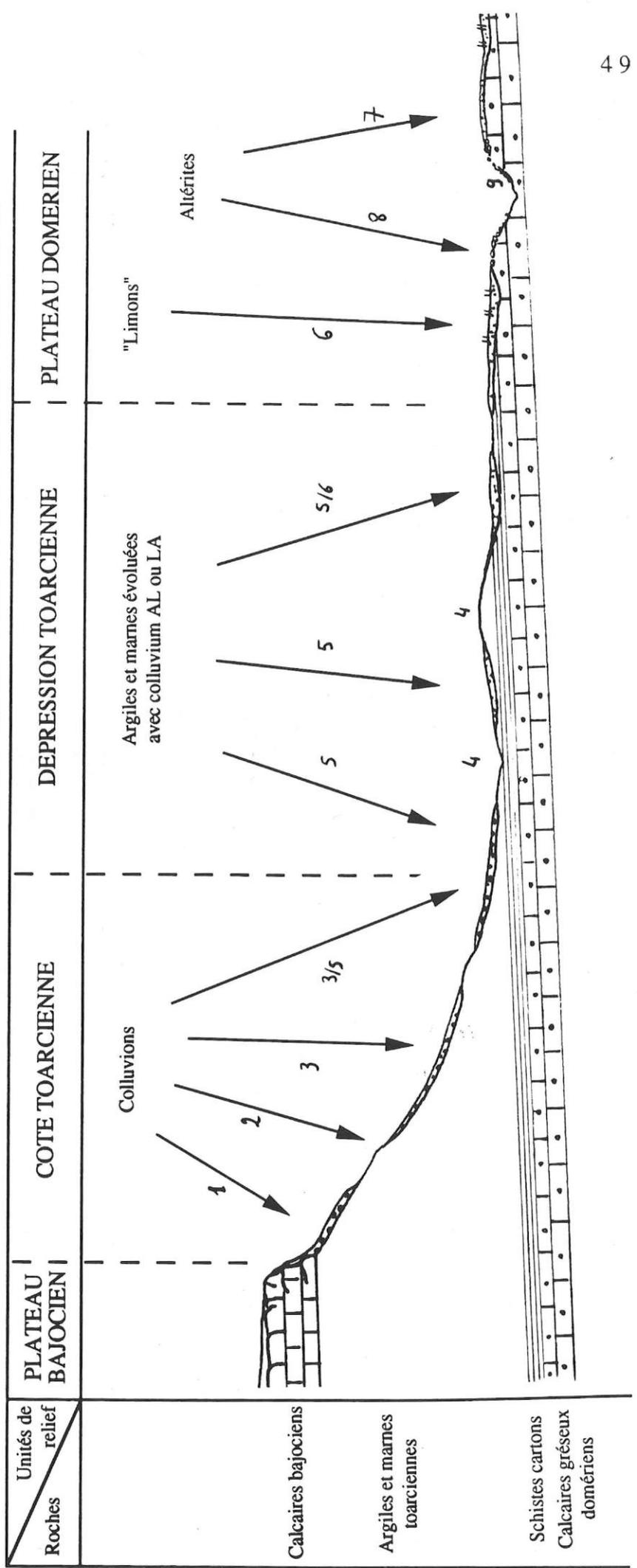
Tableaux 15 (a..d) : Découpage géomorphologique

Note: les pendages ne sont pas à l'échelle, seule l'épaisseur relative des formations géologiques est respectée.

Mais cette approche morphopédologique doit être replacé dans un contexte d'utilisation de l'espace et de modification de la pédogénèse sous l'action des façons culturales.

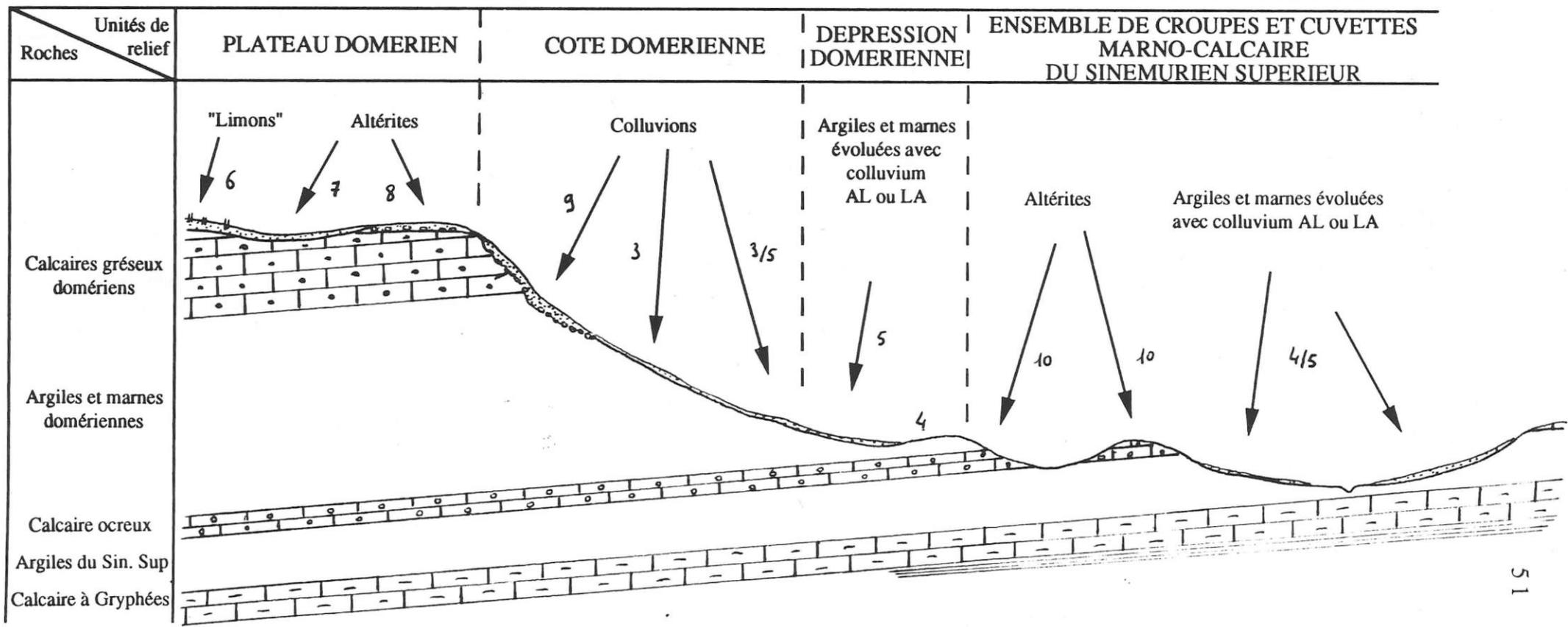
1 - Colluvions caillouteuses calcaires AL haut de versant pente	>> sb calcaire à calcaire peu épais >> sb calcaire à eutrophe
2 - Argiles solifiées	>> pélosol
3 - Colluvions argilo-caillouteuses LA, AL ou A, épaisses de 20-80 cm	>> sb calcaire à sb eutrophe colluvial, hydromorphie variable
4 - Argiles ou marnes évoluées à moins de 20-40 cm ∅ colluvium AL ou LA peu épais sur argiles ou marnes ∅ altérite en place	>> sol à 2 couches plus ou moins marmorisé >> sb argileux eutrophe à mésotrophe hydromorphe
5 - Argiles ou marnes évoluées entre 20/40 et 80 cm ∅ avec colluvium AL ou LA possible (épaisseur variable)	>> sb AL mésotrophe hydromorphe >> sb AL ou LA faiblement lessivé hydromorphe >> sol lessivé LA ou AL hydromorphe

Sb : sol brun
A : argile
L : limon
S : sable



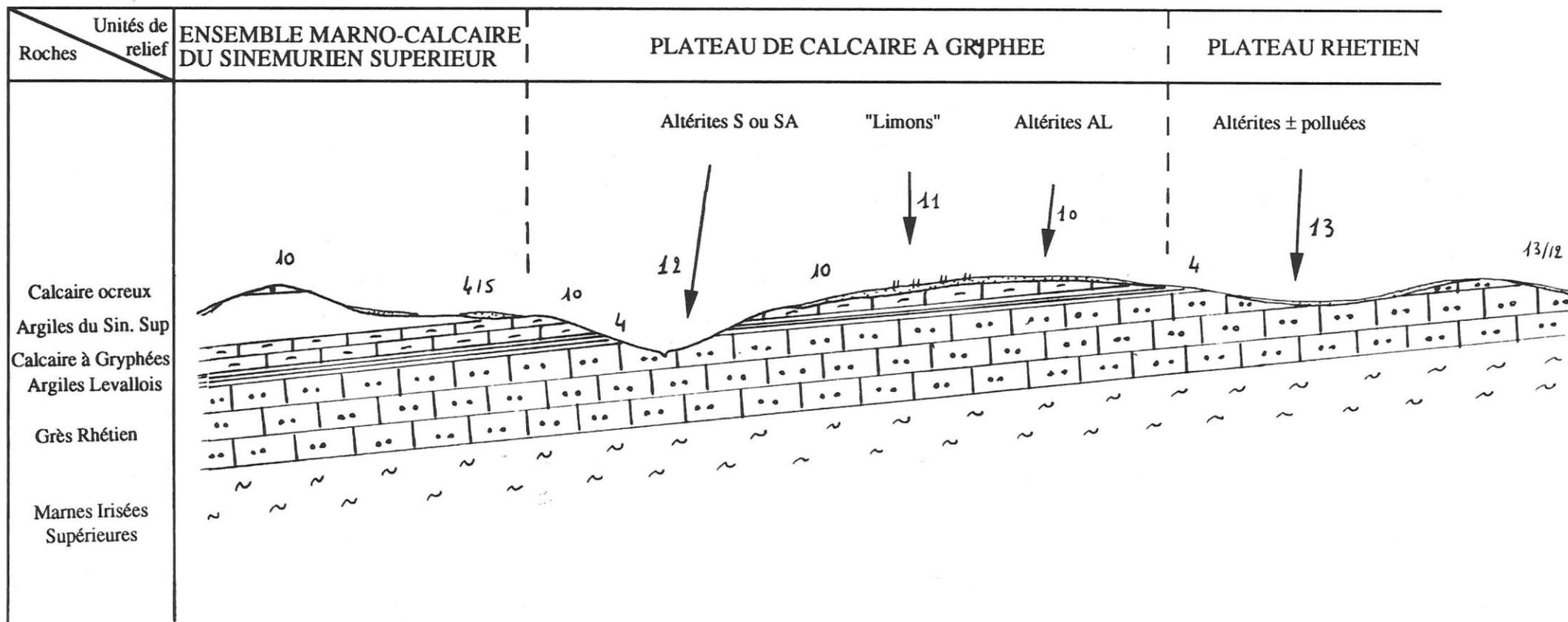
6 - "Limon" épais	◊ argiles ou calcaire gréseux altérés à plus de 80 cm	>> sb lessivé LA hydromorphe >> sol lessivé LA hydromorphe
7 - Matériau de décarbonatation	◊ calcaire gréseux altéré à moins de 80 cm	>> sb LAS mésotrophe à eutrophe >> sb LS lessivé plus ou moins hydromorphe
8 - Matériau de décarbonatation (rebord de plateau)	◊ LAS avec cailloux de calcaire gréseux	>> sb calcique LAS >> sb eutrophe LAS
9 - Colluvions plus ou moins caillouteuses		>> sb calcaire à eutrophe LAS ou LA colluvial
10 - Matériau de décarbonatation	◊ bancs calcaires ou marnes calcaires à moins de 40 cm	>> sb calcaire superficiel AL ou LA
	◊ bancs calcaires ou marnes calcaires entre 40-80 cm	>> sb calcique superficiel AL ou LA
	◊ bancs calcaires ou marnes calcaires à plus de 80 cm	>> sb calcaire à eutrophe AL ou LA >> sb mésotrophe AL ou LA >> sb lessivé LA ou AL plus ou moins hydromorphe

Sb : sol brun
A : argile
L : limon
S : sable



- | | | |
|--|--|--|
| 11- "Limons" épais sur Calcaire à Gryphées | ◊ bancs de calcaire/calcaire marneux à plus de 1,5 m | >> sb lessivé LA hydromorphe |
| 12- Altérite en place | ◊ matériau S ou SA avec cailloux et blocs gréseux épais de 20 à 70 cm au-dessus du grès rhétien | >> sb mésotrophe LS ou SL
>> sb acide S, SL ou LS
>> sol ocre podzolique |
| 13- Altérite plus ou moins polluée | ◊ matériau LA(S) avec quelques cailloux gréseux altérés, des dépôts ferro-manganiques, épais de plus de 70 cm sur grès rhétien | >> sb acide / sb lessivé plus ou moins hydromorphe
>> sol lessivé acide hydromorphe
>> sol ocre podzolique |
| 14- "Limons" épais | ◊ matériau L ou LA épais (1 à plus de 2 m) au-dessus du grès rhétien | >> sol lessivé L ou LA hydromorphe |

Sb : sol brun
A : argile
L : limon
S : sable



15- Colluvions sableuses (épaisseur moyenne 50-70 cm) de haut de versant

>> sb à 2 couches, sb acide hydromorphe

16- Colluvions sablo-argileuses / argilo-sableuses de pente moyenne
bas de versant

>> sb acide, texture variée, hydromorphe,
>> sb lessivé, texture variée, hydromorphe

17- Colluvions L ou LA peu épaisses de bas de versant (glacis)

>> sb à 2 couches
>> pélosol brunifié plus ou moins marmorisé
>> pélosol-pseudogley

18- Roche-mère fracturée (dalles ou feuillets minces de dolomie-moëllon)

>> cryptorendzine

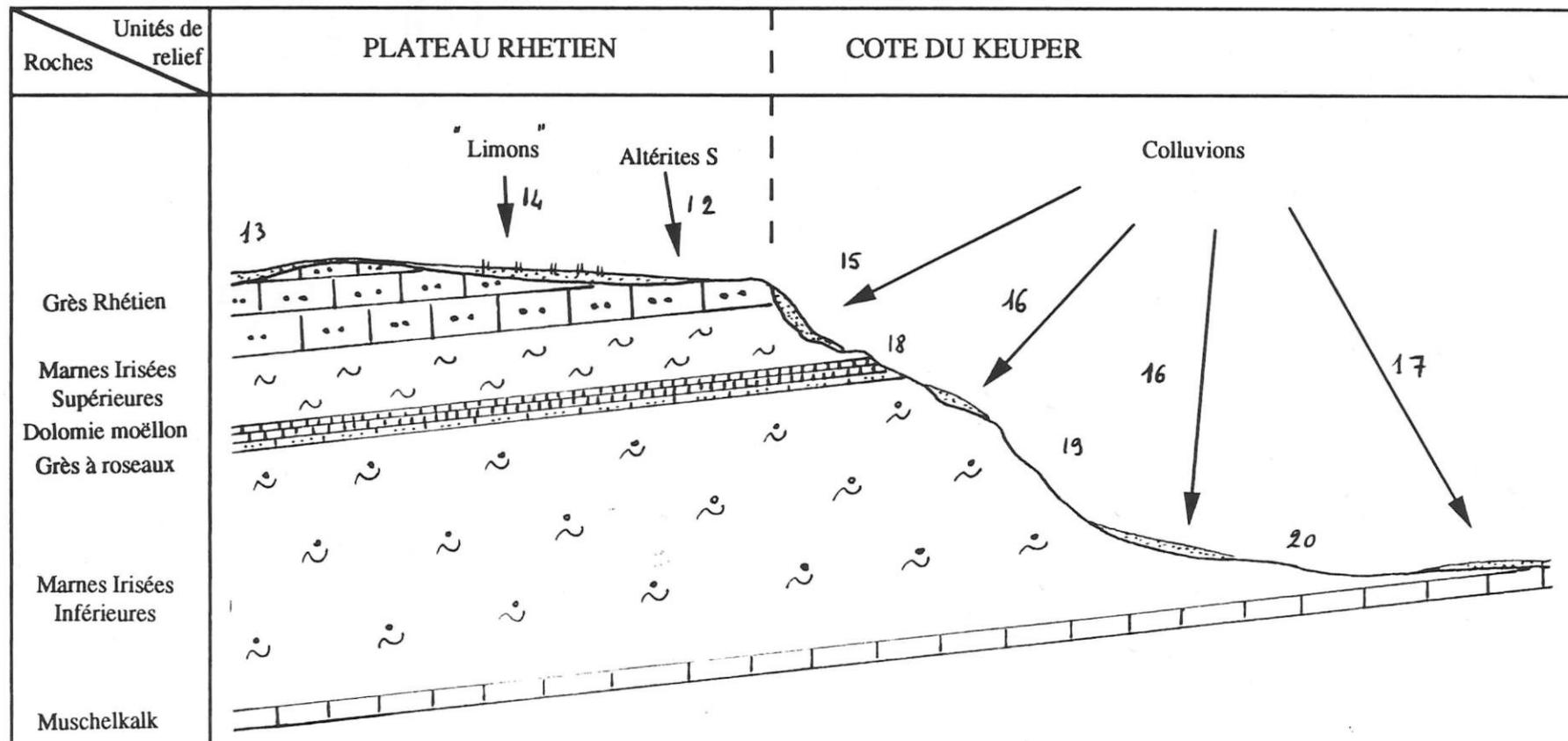
19- Marnes à nu plus ou moins solifluées de pente forte (30-50%)

>> pélosol plus ou moins verticale (sol argileux noir)

20- Marnes à nu plus ou moins solifluées de pente faible (bas de côte)

>> pélosol plus ou moins verticale (sol argileux noir)
>> pélosol brunifié

Sb : sol brun
A : argile
L : limon
S : sable



35- Occupation des sols - Conséquences de l'intervention humaine

La question est la suivante: la logique d'occupation de l'espace rend-elle incohérente la démarche de recherche de couples homologues?

Une logique d'utilisation à l'échelle régionale:

L'homme, à travers les siècles, a défriché et mis en culture les espaces les plus favorables. A moyenne échelle se vérifie l'accord entre l'occupation du sol et les données naturelles analysées précédemment. Il suffit de jeter un coup d'oeil aux photos aériennes du secteur pour constater que la forêt occupe globalement les zones les plus défavorisées par leur topographie, leur exposition et leurs sols (i.e. leur matériau) - remarque faite par Y.Dewolf, 1982, [12], mais qui s'applique remarquablement à la zone étudiée.

La forêt occupe:

+ les côtes pentues du Toarcien et du Domérien sur colluvions caillouteuses calcaires. La base du rebord du Calcaire Gréseux est quasi-constamment soulignée par un mince cordon forestier,

+ les plateaux gréseux et les côtes du Keuper sur matériau sableux acide,

et se distribue par petites tâches sur les formations argileuses et calcaires du Bassigny, le plus souvent en sommet de croupes ou en liseré sur les flancs.

Les côtes, les dépressions, les secteurs vallonnés argileux, les sols développés sur limons profonds, acides, ainsi que les vallées sont les domaines de la prairie, alors que sur les sols développés sur altérites calcaires s'étalent les cultures:

- le calcaire gréseux est intensément cultivé car son altérite, très limoneuse, engendre une terre équilibrée, aisée à travailler,

- de même le Calcaire à Gryphées, qui libère un matériau riche en limon et en phosphate (abondance des nodules phosphatés gris-clair).

Quelle logique à grande échelle?

L'examen à grande échelle montre une logique moins nette. Au cours des études de proximité forêts/prairies, j'ai pu effectivement observer dans certains cas une correspondance entre la limite de l'utilisation des sols et 2 types de matériaux, en particulier forêt sur altérite sableuse du grès rhétien et prairie sur l'argile de décarbonatation du Calcaire à Gryphées.

La limite nette était soulignée par la bande mince des Argiles de Levallois.

Communes	Forêt	Prairie
Meuse	Bois du Moulin	Haut des Beuvons
Dammartin	Bois du Moulin	Champ Catel
Malroy	Bois du Champ Saint	La Haie Chevrière
Maulain	Bois du Champ Saint	Les Quemaines

Mais j'ai pu tout aussi bien trouver des prairies sur matériel sableux, comme des parcelles boisées sur Calcaire à Gryphées... rendant possible l'approche comparative sols sous forêt / sols sur prairies. La nouvelle question à poser serait alors celle de l'âge de la forêt ou du défrichement? Et la nouvelle démarche de se déplacer vers le centre de la prairie et de la forêt pour détecter un changement de nature de matériau... Autres préoccupations ! Car l'objectif est bien de réaliser un échantillonnage de situation (topographie X matériau) et de comparer les divergences pédologiques. Et celles-ci sont importantes.

Le point faible majeur de la méthodologie n'est pas dans une logique d'occupation de l'espace, mais réside dans les siècles de façons culturales qui ont profondément modifié les propriétés mécaniques et chimiques des sols, donc leur comportement vis à vis des processus pédogénétiques et morphogéniques, allant jusqu'à affecter les matériaux.

Les façons culturales peuvent détruire en un seul jour des profils évolués par brassage des horizons superficiels (horizon Ap). Le labour peut remonter des matériaux carbonatés issus de la roche-mère calcaire sous-jacente, qui freineront ou bloqueront pour longtemps l'évolution vers le lessivage. La mise en culture prolongée des affleurements sableux a pu progressivement resaturer le complexe absorbant des sols acides par apport d'engrais et d'amendements (sol brun acide resaturé). Sur les sols en pente ou en bordure de cuesta, l'érosion peut mettre à nu le matériau d'origine. Sur des pentes même faibles, la mobilisation des formations meubles, sous la double action du ruissellement diffus et de la solifluxion a pu provoquer l'amincissement des sols cultivés par rapport à la forêt... Ainsi de nombreux "couples homologues" attendus ne l'ont pas été, et ont illustré de façon nette ces conséquences.

Tableau 16. a : Les couples étudiés - Classement par unités morpho-pédologiques

N°	Situation	Roche-mère	Unité morpho-pédologique			Type de sol	Type de station du catalogue	Mode d'exploitation de la prairie	Fosses pédologiques
			Matériau	Topographie	Type de sol				
DEPRESSION TOARCIENNE le en Bassigny	1 Bois de l'Abondance	Argiles et Marnes du Toarcien	Argile évoluée	légère cuvette	sol brun lessivé hydromorphe AL	332.34	PN F	X	
	2 Les Fourneaux								
	3 Bois de l'Abondance								
	4 Les Fourneaux								
	Sarrey	5 Bois des Cognots	Schistes Cartons	Matériau remanié sur Schistes Cartons altérés	point haut de relief ondulé	sol brun lessivé hydromorphe AL	332.34	PN F	X
		6 Les Cognots							
		7 Bois des cognots							
		8 Lavaut							
PLATEAU DOMERIEN Epinant	91-92 Bois d'Epinant	Calcaire gréseux domérien	"limons" épais	dans l'axe du talweg en position d'interfluve	sol lessivé hydromorphe	121.34	communal	X	
	10 La Pièce								
	11 Bois de Montigny								
	12 La Planchoite								
Montigny	112 Bois de Montigny	colluvium LAS > 50-70 cm caillouteuse colluvium AL peu épais sur argiles	LAS de décarbonatation avec cailloux de calcaire gréseux	rebord de plateau	sol brun calcaire à eutrophe	111.2	PN F	X	
	122 La Planchoite								
	123 La Planchoite								
	14 Pommerale								
COTE DOMERIENNE Montigny	15 Bois de Montigny	Argiles et Marnes du Domérien	colluvium LAS > 50-70 cm caillouteuse colluvium AL peu épais sur argiles	haut de versant	sol brun colluvial	363.1 (bois pâturé)	friche/PN P	X	
	16 Pommerale								
	17 Bois de Montigny								
	18 Pommerale								
DEPRESSION DOMERIENNE Montigny	19 Bois de Montigny	Argiles et Marnes du Domérien	Argiles/Marnes remaniées en surface	point bas de relief ondulé	sol brun lessivé hydromorphe A/AL	332.34	PN F	X	
	20 Les Montanis								
	21 Bois de Montigny								
	22 Les Montanis								
RELIEF MOU SINEMURIEN Maulain	35 Bois Pendu	Ensemble marno-calc. du Sinémurien sup.	AL de décarbonatation (35 sur bancs calcaires) (36 sur marnes altérées)	replat sur butte	sol brun calcaire	111.2	PN P/F	X	
	36 En Bussou								
	37 Bois Monsieur								
	38 En Bitaire								
PLATEAU de CALC. à G. Meuse	372 Bois Monsieur	Argiles et Marnes du Sinémurien sup.	argile évoluée	dépression, pente douce	sol brun lessivé hydromorphe	341.4	> 8 ans F	X	
	382								
	39 Bois Saint Félix								
	40 La Hèle								
PLATEAU de CALC. à G. Meuse	23 Bois de But	Calcaire à Gryphées	AL de décarbonatation sur bancs calcaires fissurés	plateau	sol brun eutrophe	111.2	> 5 ans F	X	
	24 Terre Fondrée								
	25 Bois de But								
	26 Sur le Rupt d'Avrecoût								
Maitroy	281 Champ Rémy	Argiles du Rhétien sup.	colluvium LA peu épais sur Argiles de Levallois	plateau, pente douce	sol brun eutrophe à mésotrophe	112.1	PN P	X	
	29 Bois du Champ Saint Damartin								
PLATEAU RHETIEN Damartin	29 Bois du Champ Saint Damartin	Argiles du Rhétien sup.	colluvium LA peu épais sur Argiles de Levallois	pente douce	sol brun sur Argiles de Levallois	331.4	PN P/F	X	
	30 La Fontenelle								

PN : prairie naturelle
 > .. ans : prairie de plus de .. ans
 F à fauche dominante
 P à pâture dominante

A : argile
 L : limon
 S: sable

Tableau 16 b : Les couples étudiés - Classement par unités morpho-pédologiques

N°	Situation	Unité morpho-pédologique				Type de sol	Type de station du catalogue	Mode d'exploitation de la prairie	Fosses pédologiques
		Roche-mère	Matériau	Topographie					
PLATEAU RHÉTIEN									
Dammartin	31 Bois du Champ Saint		LS avec niveau caillouteux vers 50 cm	mi-versant, profil rectiligne pente 10 %	sol brun acide	210.45	PN P/F		
	32 La Fontenelle		Sable avec cailloux et blocs gréseux	replat (proximité du rebord de versant)		210.45	F		
Mairoly	27 Bois de Mairoly		Sable avec cailloux à 35 forêts / 90 prairie	versant rectiligne pente 15-20 %	sol brun acide	210.45	communal	X	
	282 Les Sables							X	
Dammartin	33 Bois du Travailloit		SA	proximité du rebord de plateau en tête de talweg	sol brun acide faiblement lessivé	210.45	PN P/F	X	
	34 Communal		SA avec recouvrement LA	sorte de bassin de réception	sol brun mésotrophe colluvial	210.45	> 4 F	X	
Aigremont	43 Bois des barres		S	rebord de plateau	sol brun acide hydromorphe	210.45		X	
	44 Sur les Bancs		LAS avec cailloux gréseux	plateau, pente douce	sol brun acide hydromorphe	210.45		X	
Colilly le Haut	57 Bois des Brosses	Grès Rhétien	LAS avec quelques cailloux gréseux	plateau, relief légèrement ondulé	sol brun ocreux hydromorphe	210.67	PN F	X	
	58 Les Esnours				s. b. mésotrophe à s.b.lessivé hydromorphe			X	
Parnot	41 Bois de Change		LAVL avec rares cailloux gréseux	plateau	sol lessivé LA hydromorphe	220.45 ?	PN P		
Vicq	63 Patis de la Plaine				(intensité variable de l'hydromorphie)	220.45 ?	PN F		
	64 La charmoise							X	
Dammartin	491 Les Grands Bois							X	
	501 Les Fauchées							X	
	492 Les Grands Bois							X	
	502 Patis communal							X	
Bize	67 Bois des Loges							X	
	68 Champ Pierre		L/LA épais	plateau	sol lessivé à pseudogley	410.56	PN P		
ontlesson	69 Bois de la Verde							X	
	70 Haut des Plantes							X	
	702 Haut des Plantes							X	
COTE DU KEUPER									
Laneuvelle	51 Bois de Pouthier	Marnes irisées Sup.	colluvions S de haut de versant	pente 25-30 %	sol brun colluvial	352.45	PN P	X	
	52 Bavoux Haut							X	
Vicq	62 Communal			pente 15-20 %			friches (4-5 ans)		
Laneuvelle	53 Bois de Pouthier	Marnes irisées Inf.	colluvions SA de pente	bas de versant 5 %		352.4			
	54 Bavoux Bas								
Montcharvot	59 Bois des Brosses		Marnes à nu	haut de versant	pélosol +/- vertique	312.3			
	60 Ferme d'Adrien			pente forte 50 %					
Beaucharmoy	45 Bois du danonce	Marnes irisées du Keuper	Marnes +/- évoluées	bas de côte, pente faible 5-10 %		311.3	PN P		
	46 Ferme de Montaubert								
	47 Bois du danonce			bas de côte, pente faible 2 %		311.3	PN P		
	48 Ferme de Montaubert								
Gennupt	55 Bois de la Réserve		colluvium LA peu épais	bas de côte, pente 2-5 % (glacis)	sol brun à 2 couches hydromorphe	320.3	PN P		
	56 Ferme de la Commanderie		colluvium AL peu épais						
Voisey	65 La Vieille Forêt	Calcaire du Muschelkalk	sur AL de décarbonatation	pente douce 2-3 % (glacis)	sol brun eutrophe	320.3	PN P	X	
	66 Bas des Côtes						PN P	X	

PN : prairie naturelle
 > .. : prairie de plus de .. ans
 F : à fauche dominante
 P : à pâture dominante

A : argile
 L : limon
 S : sable

4- COMPARAISONS PEDOLOGIQUES DES "COUPLES HOMOLOGUES" PRAIRIE-FORET

41- Choix des couples et distribution

411- Echantillonnage

Le tableau 16 (a et b) présente les différents couples retenus et leurs caractéristiques.

(voir les extraits des cartes IGN en annexe 2 pour la localisation).

Pour chaque couple, la distance qui sépare les points d'observations forêt / prairie est d'une trentaine de mètres. Exceptionnellement elle dépasse 200 mètres dans le cas du couple 9/10 ("limons" sur calcaire gréseux).

Une quinzaine de types de stations sont représentées, soit 35 couples étudiés, auxquels s'ajoutent quelques répétitions isolées (n° 92-14-281-41-62-702).

Tableau 17 : échantillonnage réalisé

Calcaire		Grès		Marnes		Limens	
stations*	nb	stations*	nb	stations*	nb	stations*	nb
111.2	4	210.45	5	311.3	2	410.56	2
112.1	1	210.67	1	312.3	1		
121.34	1	220.45	2	320.3	4		
				332.34	4		
				331.4	2		
				341.3	1		
				341.4	2		
				352.45	2		
				363.1	1		
	-----		-----		-----		-----
total	6		8		19		2

* types définis dans le catalogue des stations forestières

Au total 39 fosses ont été ouvertes, parmi lesquelles s'est révélé un couple inexploitable (roche-mère différente). Les analyses de sols ont donc porté sur 37 fosses : 18 couples plus une répétition sur prairie (n° 62). La liste des résultats est donnée en annexe 3. En particulier les analyses granulométriques permettent de préciser les déterminations tactiles de terrain.

Numérotation : Les premiers chiffres désignent le n° de la fosse, n° pair sur prairie, impair sous forêt. Le dernier chiffre fait référence à la profondeur du prélèvement.

Validité d'interprétation des analyses:

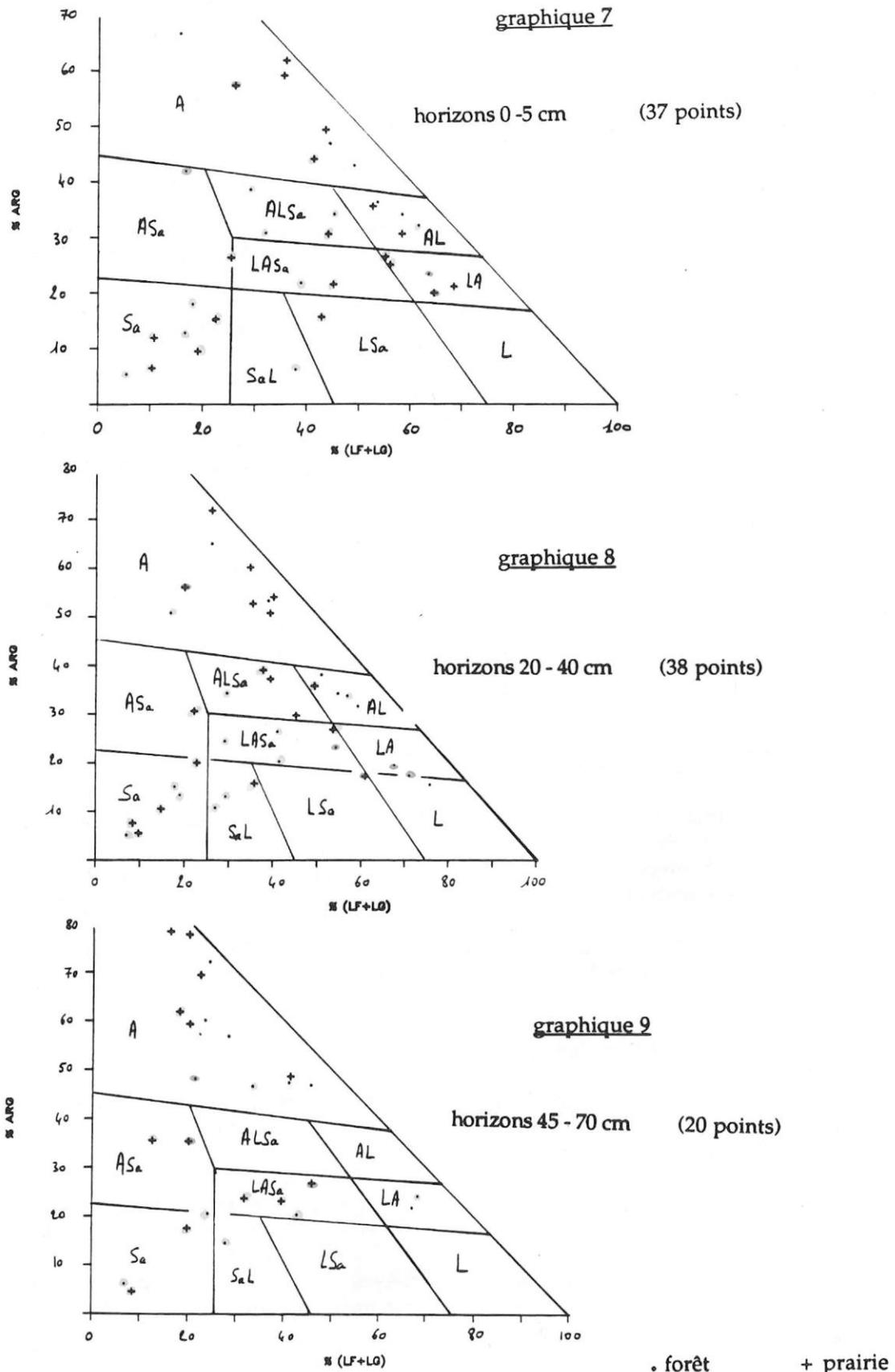
◇ Pour un même couple, les niveaux de prélèvement d'une fosse à l'autre peuvent varier dans un intervalle de 5 cm (10 cm au maximum), à l'exception du prélèvement systématique effectué à 0-5 cm.

◇ Les résultats des analyses granulométriques peuvent être biaisés par:

- la richesse de certains prélèvements en concrétions ferro-manganiques, ce qui surestime la fraction grossière,
- la manière même dont le prélèvement a été effectué. Par exemple, dans le cas des sols à caractère glossique un prélèvement important au niveau des langues décolorées (glosses) surestime la fraction argileuse.

d'échantillons analysés

Diagramme des textures (GEPPA)



en noir
en rouge
en bleu
en vert

sols sur marnes et/ou argiles
sols sur calcaires et/ou marnes
sols sur "limons" épais
sols sur grès ou sols colluviaux sableux

412- Etude globale des données analytiques quantitatives

1/ Composition granulométrique

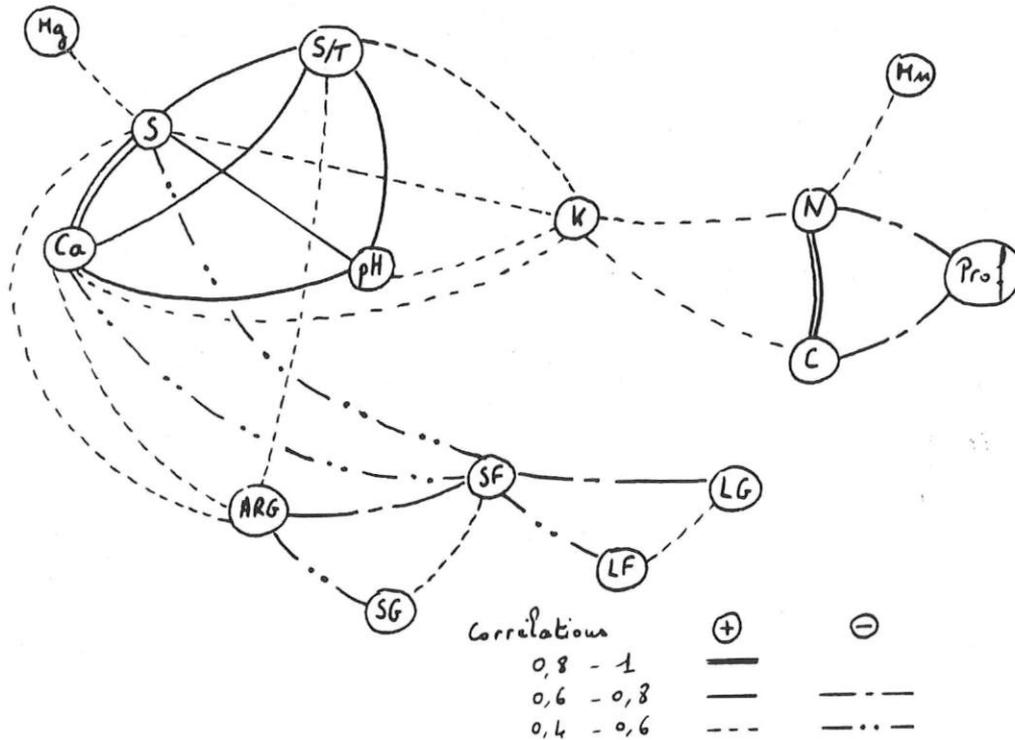
Comme attendu, la gamme texturale est large, mais 5 grandes catégories peuvent se dégager aussi bien sous forêt que sur prairie aux différentes profondeurs (cf graphiques 7, 8 et 9) :

- argile lourde (A)
- argile limoneuse, qui disparaît en profondeur (AL)
- limon argileux (LA)
- limon argilo-sableux / argile limono-sableuse (ALSa, LASa)
- sable (Sa, SaL).

Symboles : A ou ARG argile
 L limon
 Sa sable

2/ Une Analyse en Composantes Principales a été réalisée sur l'ensemble des données analytiques. Elle permet de préciser les relations entre les variables, ainsi que de visualiser la distribution des fosses en fonction de celles-ci.

◇ L'étude des corrélations fournit une indication sur l'intensité de la liaison qui existe entre les différentes variables. On peut en donner la représentation graphique suivante :

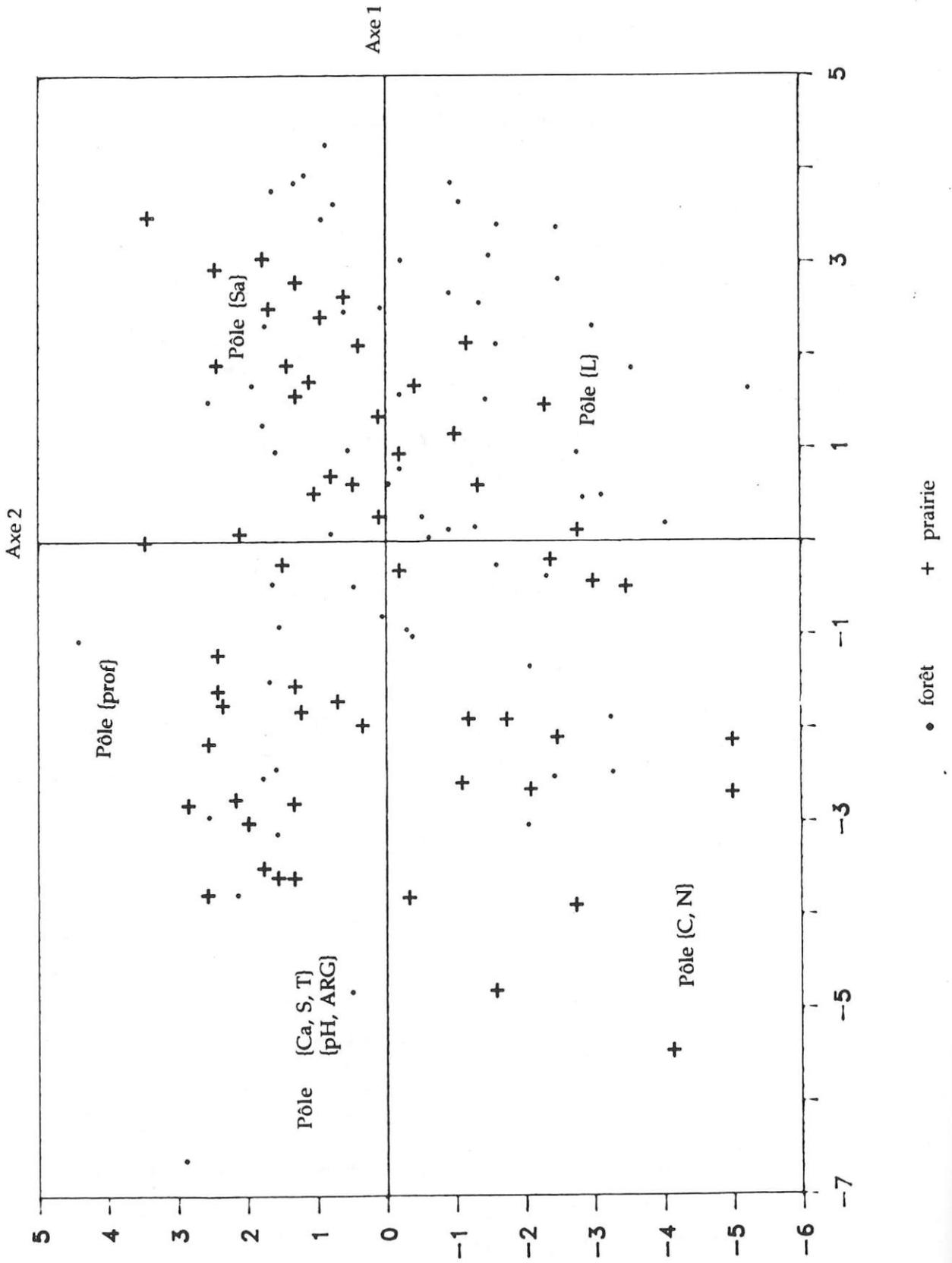


Représentation graphique des relations entre les 17 variables étudiées.

On retrouve certains résultats classiques :

- + une forte liaison positive entre
 - S, T et Ca --> part importante du Ca dans la somme des bases échangeables,
 - N et C --> teneurs plus élevées en surface qu'en profondeur,

Graphique ACP 1



- + une liaison positive entre
Ca et pH,
ARG, Ca et S ---> nature marneuse des argiles et rôle de l'argile dans le complexe absorbant,
- + une liaison négative entre
SF, Ca et S ---> pauvreté en bases échangeables des sols sableux.

◊ Etude des cercles de corrélation.

- Les deux premiers axes qui extraient 58,6% de la variabilité correspondent:
- + pour l'axe 1 ---> aux Ca, S, T, qui sont très bien représentés, ainsi qu'aux pH et à l'ARG avec une représentation imparfaite,
 - + pour l'axe 2 ---> aux C et N, avec une bonne représentation.

◊ L'étude de la représentation des composantes principales sur les 2 premiers axes permet d'individualiser 3 grands groupes que l'on peut recouper avec la nature des matériaux :

- argile dominante
- limon dominant
- sable dominant.

Une série de 5 graphiques est donnée.

Graphique ACP 1 : représentation dans le plan 1 et 2 des couples prairie-forêt.

Graphique ACP 2 : représentation des couples sur roche-mère gréseuse - pôle des limons et sables. Les forêts sont distribuées sur la droite par rapport aux prairies.

Graphique ACP 3 : représentation des couples sur "limons" profonds. Bien que de texture argileuse à argilo-limoneuse, le couple 9-10 occupe une position intermédiaire entre les "sables" (graphique 2) et les argiles (graphiques ACP 4 et 5)

---> différenciation liée à l'origine du matériau.

Graphique ACP 4 : représentation des couples issus de marnes et/ou d'argiles. Dispersion importante et décalage vers le pôle limoneux des sols forestiers.

Graphiques ACP 5 : représentation des couples issus de calcaires marneux - pôle des argiles saturées. Les couples sont relativement groupés par rapport au graphique précédent.

Dans les 2 derniers cas, les horizons superficiels pour les sols forestiers sont localisés vers le pôle limoneux.

Ces graphiques permettent de mettre en évidence :

+ des divergences forêt / prairie

Elles sont bien illustrées par le graphique ACP 4. Les sols de chaque couple homologue s'opposent par leur texture et leur fertilité. Les sols sur prairies ont une texture plus argileuse, sont plus riches en calcium, en bases échangeables, ainsi qu'en C et N, par rapport à leur homologue sous forêt, d'où leur distribution.

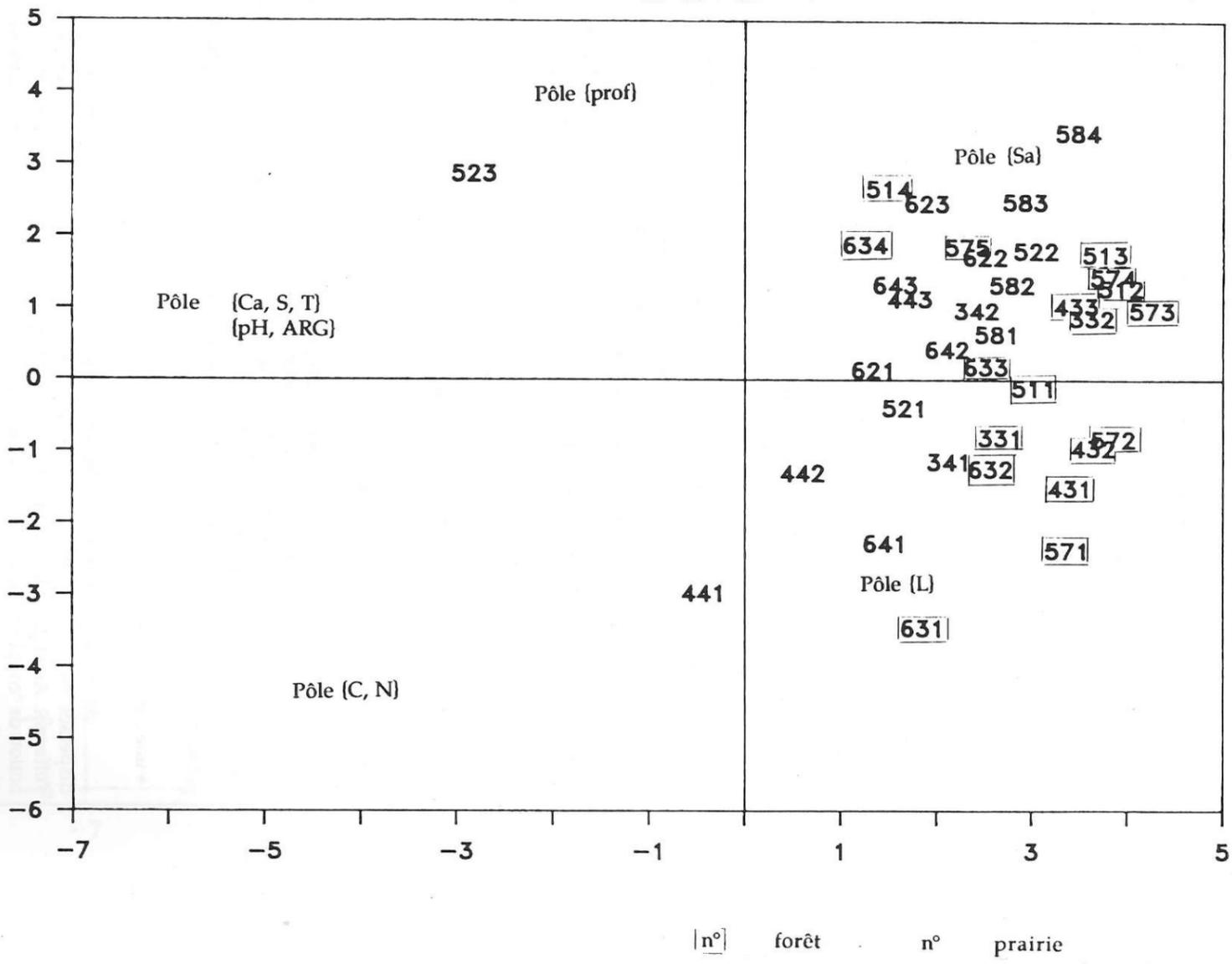
Ces divergences sont toutefois beaucoup moins nettes quand on se déplace vers les pôles "limoneux" puis "sableux".

+ une convergence en profondeur

Alors que la distribution des sols issus de marnes ou d'argiles (graphique ACP 4) est dispersée en surface, elle se resserre avec la profondeur : les divergences pédologiques s'effacent. Ainsi dans de nombreux cas, ces divergences ne semblent pas remettre en cause la notion de "couple homologue" défini par une même roche-mère, un même matériau d'origine, une même situation topographique, mais les sols sont modifiés en surface. La texture et la fertilité sont différentes. L'étude des squelettes granulométriques confirme ce résultat.

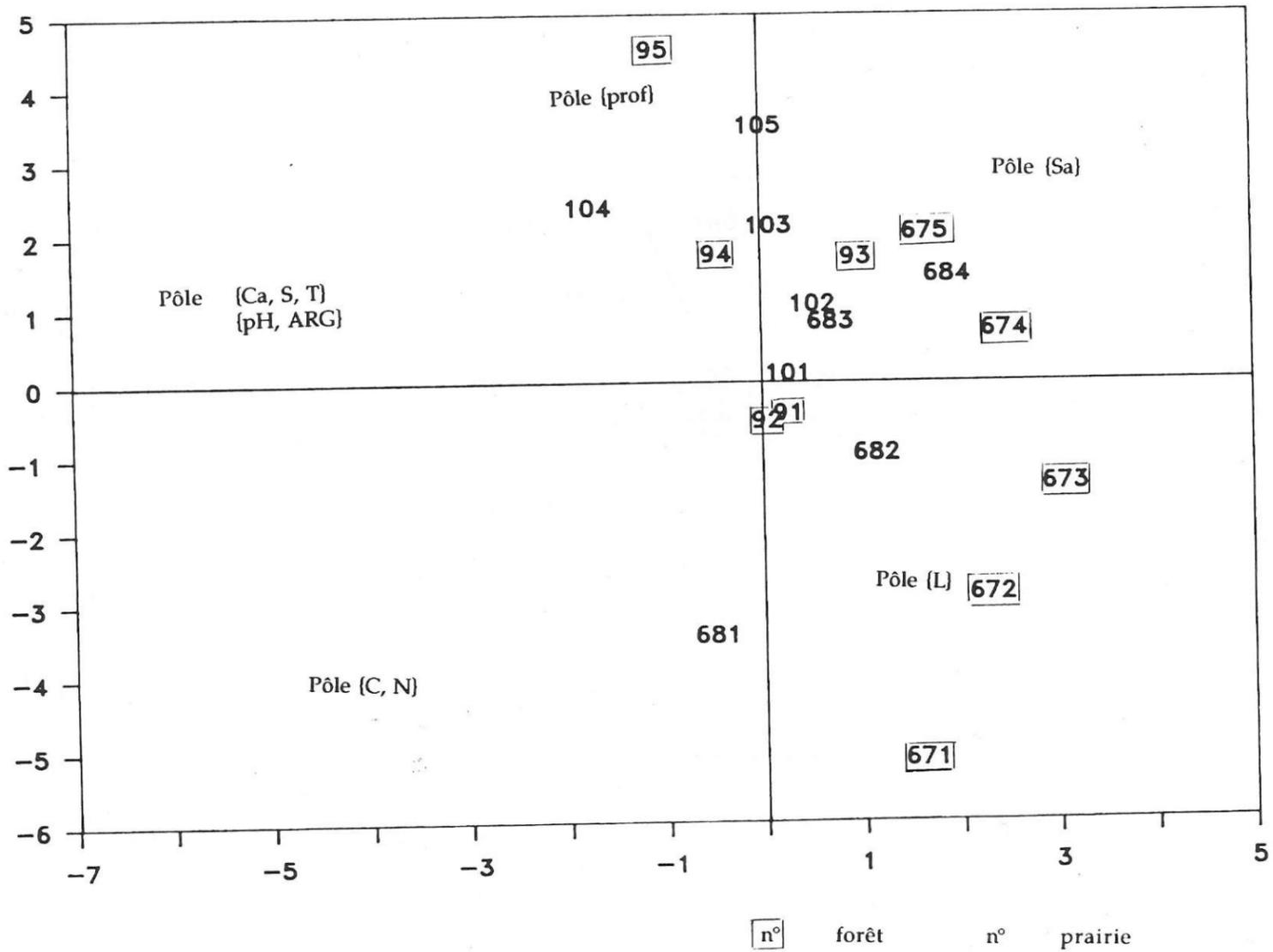
Graphique ACP 2

Couples 33 - 34 57 - 58
43 - 44 63 - 64
51 - 52 - 62



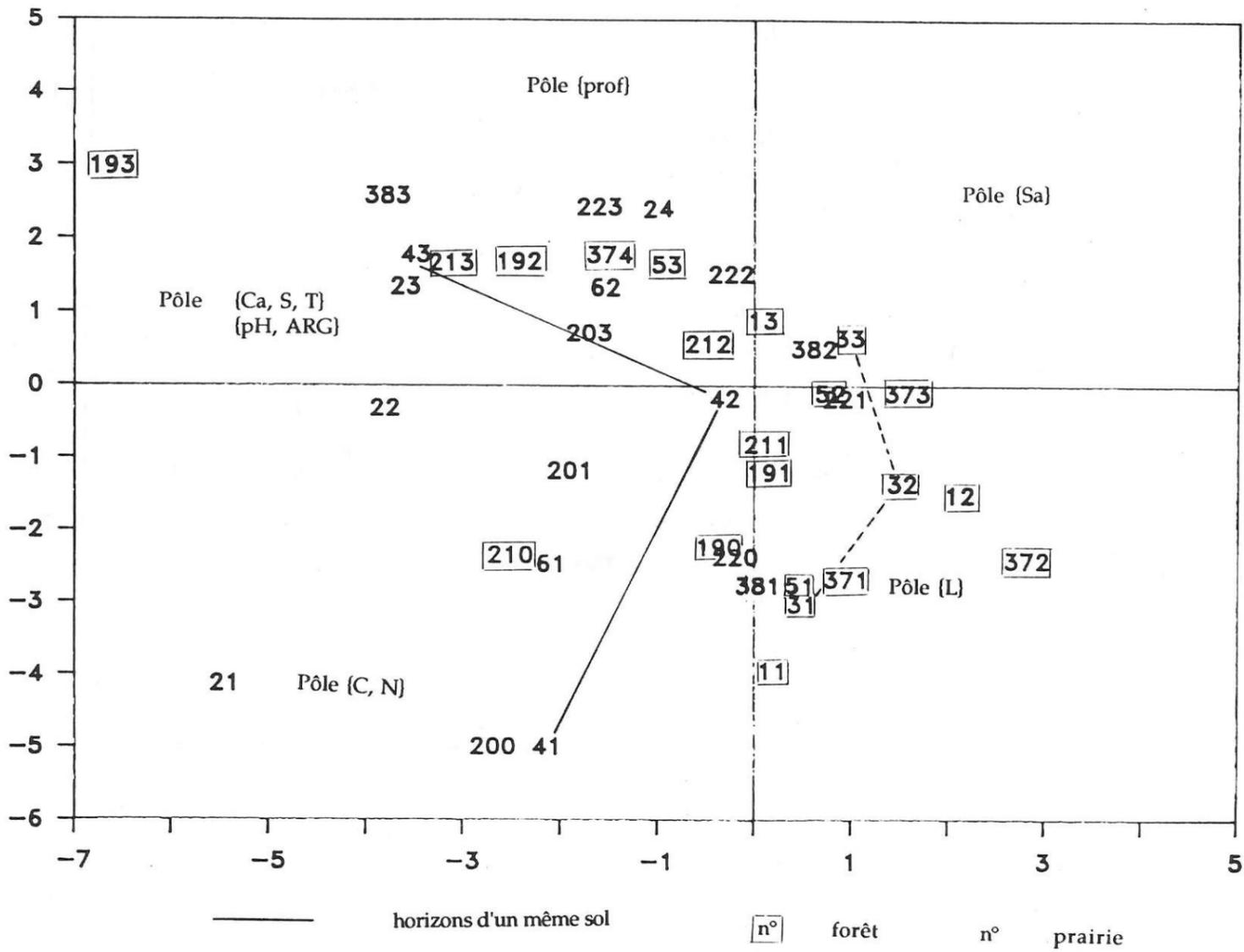
Graphique ACP 3

Couples 9 - 10 67 - 68



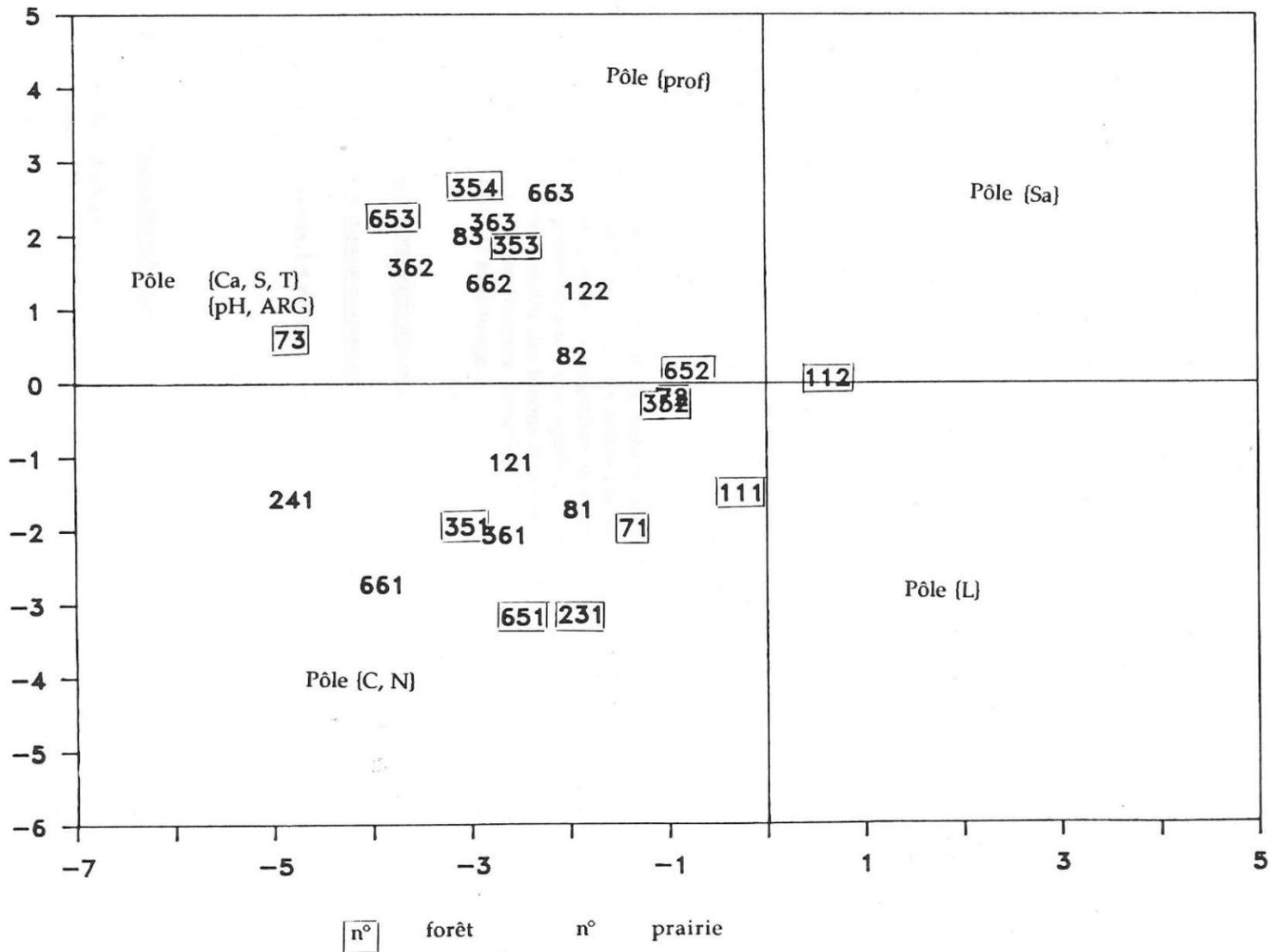
Graphique ACP 4

Couples 1-2 19-20
3-4 21-22
5-6 37-38



Graphique ACP 5

Couples 7-8 35-36
11-12 65-66
23-24



42- Etude des squelettes granulométriques

421- Utilité et limites de la méthode

Cette méthode permet d'établir des comparaisons granulométriques

- + entre différents horizons d'un même profil
---> discussion sur la filiation roche-matériau-sol
- + entre des horizons issus de profils différents
---> discussion sur l'homologie des couples.

Pour cela, les proportions relatives des fractions limoneuses (LG et LF) sont recalculées de façon à ce que leur somme soit égale à 100% , en excluant la tranche granulométrique argileuse. Cette fraction (< 2 μ) est en effet la plus sensible aux phénomènes d'évolution pédologique par illuviation (lessivage horizontal et vertical) et éventuellement néoformation. Les variations texturales qui en résultent sont ainsi gommées en première approximation.

Calcul $LF_{sq} + LG_{sq} + SF_{sq} + SG_{sq} = 100\%$

avec $LF_{sq} = LF \times 100 / (100 - ARG)$ etc...

Les résultats sont illustrés par des histogrammes de fréquences cumulées, qui permettent de visualiser efficacement les discontinuités éventuelles de matériaux. Si le squelette granulométrique de la roche-mère est connu, cette méthode permet le diagnostic rapide de la filiation roche-matériau-sol.

L'interprétation d'un changement de nature de matériau n'est fiable que si les discontinuités sont brutales et fortes. Dans les autres cas, les faibles différences s'expliquent par des remaniements, ainsi que par la migration des limons (et sables fins). En effet, si l'hypothèse sous-jacente à la comparaison des squelettes est que seule la fraction argileuse fait l'objet de migration, dans la réalité, les limons et sables fins peuvent être aussi mobilisés. L'étude des squelettes granulométriques devient alors un outil utile pour discuter de l'importance des mécanismes de sous-tirage.

422- Discussion sur l'homologie des couples

a/ Filiation directe matériaux - sols

Dans de nombreux cas, les profils présentent des horizons continus, et les profils d'un couple sont comparables.

Exemples: 3-4, 11-12, 33-34, 63-64, 67-68 (annexe 4, page 35 pour le couple 11-12, page 38 pour 63-64).

b/ Couples homologues sur matériau remanié ou apporté

Les horizons d'un profil sont discontinus mais les mêmes discontinuités s'observent d'une fosse à l'autre.

Exemples: 65-66
(bien que les prélèvements n'aient pas été faits exactement au même niveau)
21-22 (annexe 4)

Tableau 18 : Profils pédologiques des couples

n°	Type	Epaisseur des principaux horizons	marmorisation (m) à / pseudogley (ps) à / gley (g) à ..	compact (c) à .. massif (m) à ..	limite prospection racinaire bonne (b) - moyenne (m) - faible (f)	carbonation effervescence à .. faible (f) / vive (v)	type d'humus
1	sol brun lessivé hydromorphe AL	50 AL / 30 A / AA gris bleu	m 30 - ps 50	m 50	b 30 - m 50 - f 125	f 80 - v 125	mul méso-trophe
2	sol brun argileux mésotrophe hydromorphe	150 AA gris bleu feuilletés en profondeur	m 0 - ps 35	m 25 (lentes -> 70)	m 25 - f 70	f 70 - v 110	mul méso-trophe
3	sol brun lessivé hydromorphe Al	45 AL / 40 A / AA	m 35 - ps 45	m 45	b 45 - m 90	-	mul méso-trophe
4	sol brun argileux mésotrophe hydromorphe	50 A / AA gris foncé	m intense 10 -> 50	m 10	b 10 - f 40 (lentes de retrait)	-	mul méso-trophe
5	sol brun argileux mésotrophe hydromorphe	40 A / AA gris	m 35/40	m 35/40	b 35/40 - m 90 - f 120	-	mul méso-trophe
6	sol brun argileux eutrophe hydromorphe	15 A / AA gris bleu puis marne gris foncé	m 0	m 15 (lentes -> 55)	b 15 - m 55	moyenne à 55	mul méso-trophe
7	sol brun LA's lessivé hydromorphe	65 LA's / Schistes Cartons à 80 cm	m 40	m 40 (lentes -> 65)	b 40 - f 80/120	f 65	mul eutrophe
8	sol brun AL's hydromorphe	50 ALS / A gris bleu / Schistes Cartons à 90 cm	m 45	m 45/50	m 45	f 45	mul méso-trophe
9	sol lessivé à hydromorphie de profondeur	35 AL's / Br à 95 / Big sur calcaire gréseux à 190 cm	m 35 - ps 65	m 35, induré 95	b 35 - f 95	-	mul méso-trophe
10	sol lessivé à hydromorphie de profondeur	50 AL / 65 ALS sur calcaire gréseux à 195 cm	m 35 - ps 1 50-85 ps 2 115 - 150	m friable 0	b 35 - f 50	-	mul méso-trophe/calcaïque
11	sol brun calcaïque à eutrophe	50 LAS / blocs-dalles calées par un matériau ALS	-	-	b 140	terre fine 50	mul méso-trophe
12	sol brun à pellicules calcaires	30 ALS / cailloux et pierres emballés par un matériau ALS	-	-	b	terre fine 25/30	mul méso-trophe
19	sol brun A/L lessivé hydromorphe	35 AL / A / marne altérée à 80 cm	m 20 - gley oxydé 35 - niveau seulement à 40	m 35	m 35 - f 55/60	marne à 55/60	mul méso-trophe
20	sol brun argileux hydromorphe	30 A / AA gris clair à 75 cm	m 0 - gley oxydé 30 - niveau seulement à 50	m 10	feutrage - f -> 75	-	mul méso-trophe
21	sol brun argileux mésotrophe hydromorphe	30 A / AA gris foncé à 70 cm	m 25/30 - argile gris foncé baroilée ocre rouille	m 25, c 70	b 30 - f 100	f 70	mul méso-trophe
22	sol brun AL's (lessivé) hydromorphe	40 AL's / A / AA gris olive à 80/85 cm	m 10 - ps 40	m 40	m 40 - conditions asphyziantes	-	mul eutrophe
23	sol brun eutrophe	20-30 ALS / blocs enrobés de matériel de décarbonatation	-	-	b ->	-	mul eutrophe
24	sol brun calcaire	20-25 ALS / blocs	-	-	b ->	-	mul méso-trophe
33	sol brun acide	30-35 S fin / dalles	-	-	tb -> (entre blocs)	terre fine 0	mul méso-trophe
34	sol brun mésotrophe (s.b. de culture)	90 S fin + cailloux / dalles colmatés par un matériau S(a)	-	-	tb ->	-	mul méso-trophe
35	sol brun calcaïque	40 AL's / bancs marneocalcaires / marne à 70 cm	m 25/30 - liée aux bancs imperméables à 40 cm	m 25/30	b 25/30 / m à f -> 100	v 25/30	mul calcaïque
36	sol brun eutrophe à mésotrophe	ensemble argilo-marne-calcaire, texture argileuse	-	c15 (argile sèche)	m 60 -> 90	profil marneux	mul méso-trophe
372	sol brun lessivé hydromorphe	75 LA / AA gris bleu clair à 120 cm	m 5/7 - ps 35/40 - gley oxydé vers 75 cm	m 35/40	b 40 - f 75	-	mul méso-trophe
382	sol brun lessivé hydromorphe	10 LA / 40 AL's / AA gris clair à 50 cm	m 0 - ps 35 - g 50	m 35	m 35	f 90	mul méso-trophe
43	sol brun acide faiblement lessivé	45 Sal / AS	niveau max de la nappe à 45 cm	m 45	b -> 45	-	mul acide/multi-modér
44	sol brun mésotrophe colluvial	30-35 Las / AS	niveau max de la nappe temporaire à 30/35 cm	m 30/35	b -> 30/35 - f -> 70	-	mul acide
51	sol brun colluvial	75 S / SA à 90 / AS	m 60 - gley gris vert à 100 cm	c 75	b 75	-	mul acide
52	sol brun colluvial	50 S / AS à 60 / AA	m 20 - gley gris vert à 60 cm	m 45/50	m -> 45/50	-	mul acide
62	sol brun colluvial	40 S / mélange SA / AA	m 20 - ps 40 - gley 65	m 40	m -> 45 - f -> 65	-	mul acide/multi-modér
57	sol brun acide hydromorphe à multimodér	75 Sal / AS	niveau nappe à 75 cm -> glosses et niveau induré	m induré 75	tb 45 - m 75	-	mul acide
58	sol brun acide	110 S / roche mère	-	-	tb 60 - max 110/120	-	mul acide
63	sol brun ocreux hydromorphe	LAS avec quelques rares cailloux de grès	m 10 - ps avec glosses à 30 cm	c 60	b 30 - max 130	-	mul acide
64	sol brun (lessivé) mésotrophe hydromorphe	35 SAL / LAS	m 5 - ps 35 -> profil noyé à 50	m 35	b 35	-	mul calcaïque
65	sol brun eutrophe	25 AL / ALS (marne à 60 cm avec rares graviers gréseux)	m 25 légère (secteur drainé)	m 25	b 60 (racines en zigzag)	v 60	mul calcaïque
66	sol brun eutrophe	15 LA / 30 AL / ALS (marne)	m 15	c 20	b 40/45	terre fine 20	mul méso-oligotrophe
67	sol lessivé à pseudogley	50 LA / AL (s en profondeur)	ps 50 (glosses argileuses)	c 70	b -> 50 - f selon glosses -> 135	-	mul méso-oligotrophe
68	sol lessivé à pseudogley	50 LA's / ALS	ps 50 (glosses argileuses)	c 85	b -> 85	-	mul méso-oligotrophe

AA : argile lourde A : argile

L : limon

S : sable

en majuscule : fraction dominante

c/ Les divergences

Les divergences des squelettes granulométriques peuvent être dues :

◊ à des **variations latérales de faciès de la roche**, associées à l'hétérogénéité naturelle des couches géologiques

Exemples: 21-22
35-36 {35 sur bancs calcaire
{36 sur marnes calcaires.

◊ à des **positions topographiques de détail différentes** (rupture de pente, microvallonnement, axe de talweg...), donc à des conditions de circulation de l'eau différentes (colluvionnement ou ruissellement dominant)

Exemples: 43-44

Alors que la fosse 43 se localise dans l'axe du talweg (voir carte IGN), la fosse 44 est située dans un petit de bassin de réception, qui explique le recouvrement limoneux épais d'une quarantaine de cm.

9-10 (horizons de surface)

La fosse 9 en situation de tête de talweg présente un profil tronqué (décapage des éléments fins par ruissellement de surface) par rapport à la fosse homologue sur prairie en position d'interfluve (stabilité des éléments).

(annexe 4)

BILAN

En accord avec MILLOT [25], on observe que dans une couverture unique (pédologique ou d'altération selon le vocabulaire de chacun) interfèrent les phénomènes d'altération proprement hydrolytiques (ou géochimiques?) et les phénomènes proprement pédologiques.

Si tel ou tel des facteurs externes franchit un **seuil**, la couverture "tombe" en déséquilibre et change de nature, de structure et de dynamique.

Dans la plupart des cas la notion de couples homologues s'applique, mais les sols sont différents. Les principales raisons en sont les conditions de circulation de l'eau, réglée par la microtopographie, et les effets induits par la mise en culture (utilisation agricole ou pastorale).

43- Comparaisons des couples

431- Etude détaillée de 37 profils

Le tableau 18 donne pour chaque couple les principales caractéristiques observées :

- + variations de textures (appréciation tactile corrigée par les résultats d'analyse)
- + variations de l'hydromorphie
- + caractère massif/compact des horizons
- + prospection racinaire
- + type d'humus forestier.

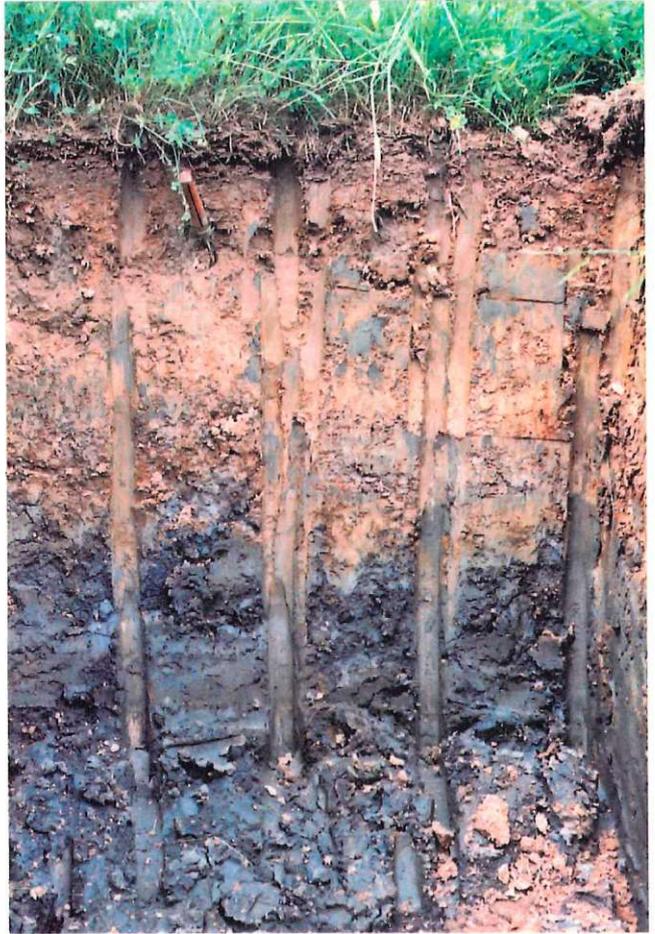
Une lecture rapide de ce tableau suffit pour extraire 3 idées majeures. Par rapport à leur homologue forestier, les sols sur prairies :

- + présentent des profils tronqués et moins évolués sur roche-mère argilo-marneuse, sur calcaires ou sur altérites gréseuses,
- + sont plus hydromorphes (hydromorphie de surface sur matériaux argileux),
- + ont un aspect plus massif / compact. Cette observation est à relier avec une moindre activité biologique qui se traduit par un moindre brassage biologique des horizons de surface et une moindre prospection racinaire des végétaux herbacés.

3



4



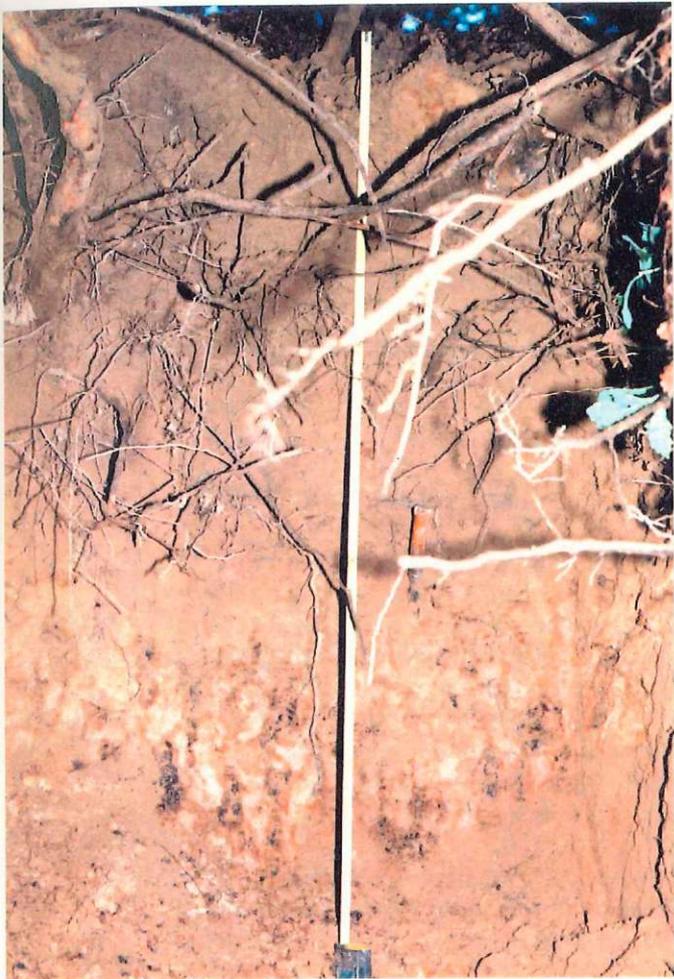
9



10



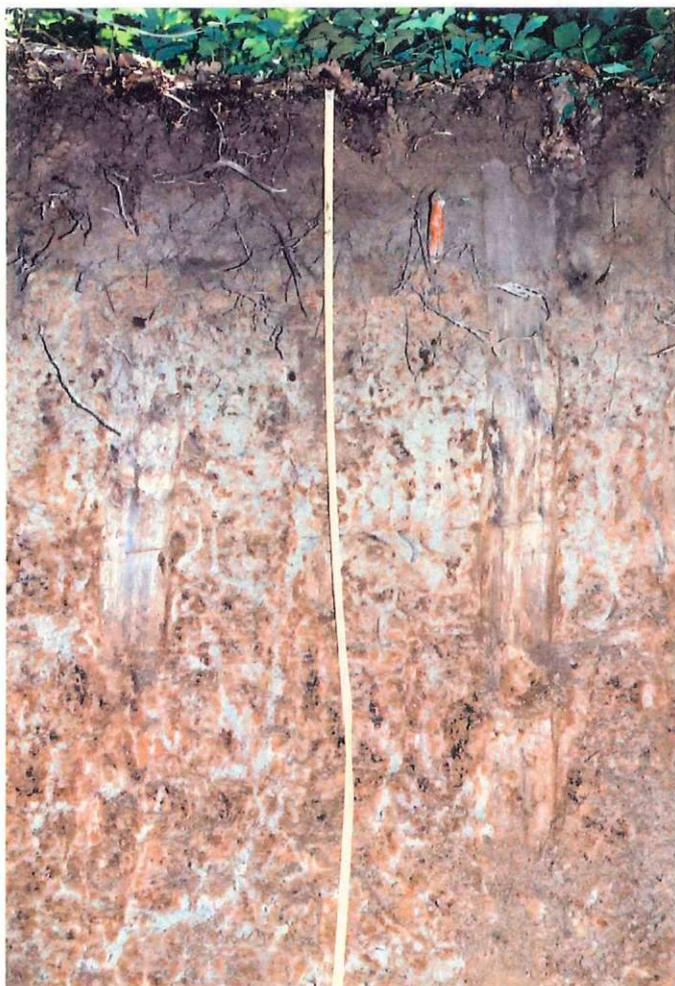
57



58



63



64



432- Etude des textures

Pour tous les couples, des graphes $\% \text{ ARG} = f(\text{Prof})$
 $\% (\text{LF} + \text{LG}) = f(\text{Prof})$ ont été tirés et analysés.

Quelques exemples - graphes 10 et 11: couples 1-2, 3-4, 5-6
 12 et 13: couples 9-10, 67-68
 14 et 15: couples 57-58, 63-64.

1/ Sols sous prairies

+ "Troncature" des profils :

Elle s'explique par une plus grande sensibilité à l'érosion des sols cultivés. Les labours répétés au cours des décennies ont eu pour conséquence la mobilisation des formations meubles, prises en charge et redistribuées par le vent et surtout l'eau : importance du ruissellement, de la solifluxion. Mais en fonction de la nature de la roche-mère, des conditions topographiques, et de l'histoire culturale, la "troncature" est plus ou moins sensible.

- Sur roche-mère argilo-marneuse : l'érosion s'y exprime avec la plus grande intensité
 profil argileux dès la surface
 sol peu épais, peu différencié. photos 3 et 4 - graphes 10 et 11

- Sur roche-mère calcaire : les 2 profils observés montrent des sols saturés à forte charge en cailloux et blocs calcaires dès la surface, conséquence de l'érosion, surtout en rebord de plateau, et de la remontée d'éléments grossiers par la charrue.

- Sur roche-mère gréseuse:

◊ Le couple 57-58 (photos 57 et 58) marque l'importance du phénomène érosif, conjugué au labour. Les langues décolorées (glosses) anciennes, de texture plus argileuse, développées à partir de 75 cm de profondeur sous forêt, ont totalement disparu sur prairie pour une distance forêt / prairie de 20 mètres. Pour l'expliquer, l'hypothèse d'un décapage superficiel d'une quarantaine de cm associé à la mobilisation des éléments fins et au brassage des horizons par le labour sur une autre quarantaine de cm est cohérente. L'effet anthropique s'est exercé par la destruction mécanique des horizons de surface et par la reconstitution d'un horizon A_p enrichi par apports organiques (resaturation).

◊ De même, le profil 64 est légèrement tronqué et la texture des horizons de surface est appauvri en éléments fins (photos 63 et 64).

Les sols sont là aussi amincis et évoluent vers une texture sableuse.

- Sur limons épais, anciens:

◊ Le profil 68 est tronqué d'environ 15/20 cm par rapport à l'homologue sous forêt, et les horizons de surface sont légèrement appauvris en argile et limon (hétérogénéité texturale ou là aussi effet d'une mobilisation des éléments fins?).

◊ Le cas particulier du couple 9/10 a été traité au paragraphe 422-c.

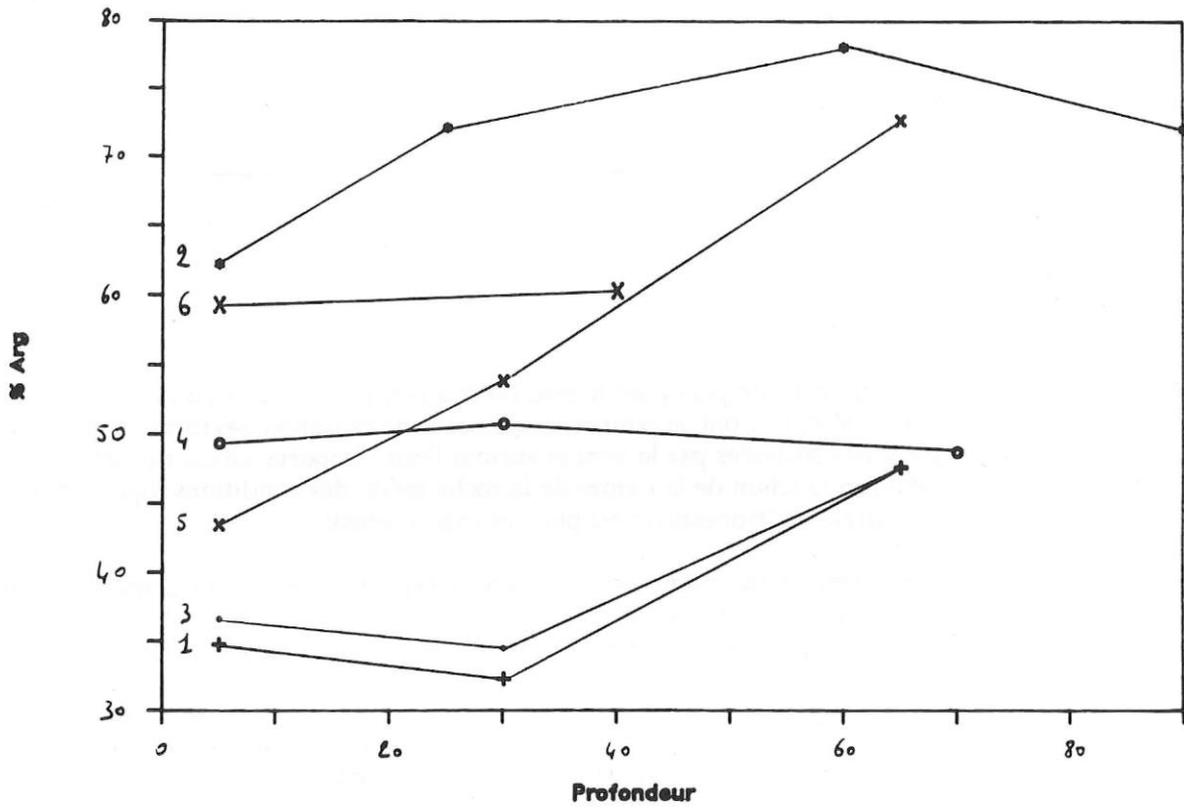
+ Les horizons labourés:

Quelques graphiques montrent une homogénéisation des horizons superficiels (4, 6, 10, 22, 64). Cependant, elle ne s'accompagne pas de celle des limons (cas 22, 64). Elle peut s'expliquer par l'affleurement de la roche-mère argileuse en 4 et 6 ... Et elle ne s'observe pas le plus fréquemment !

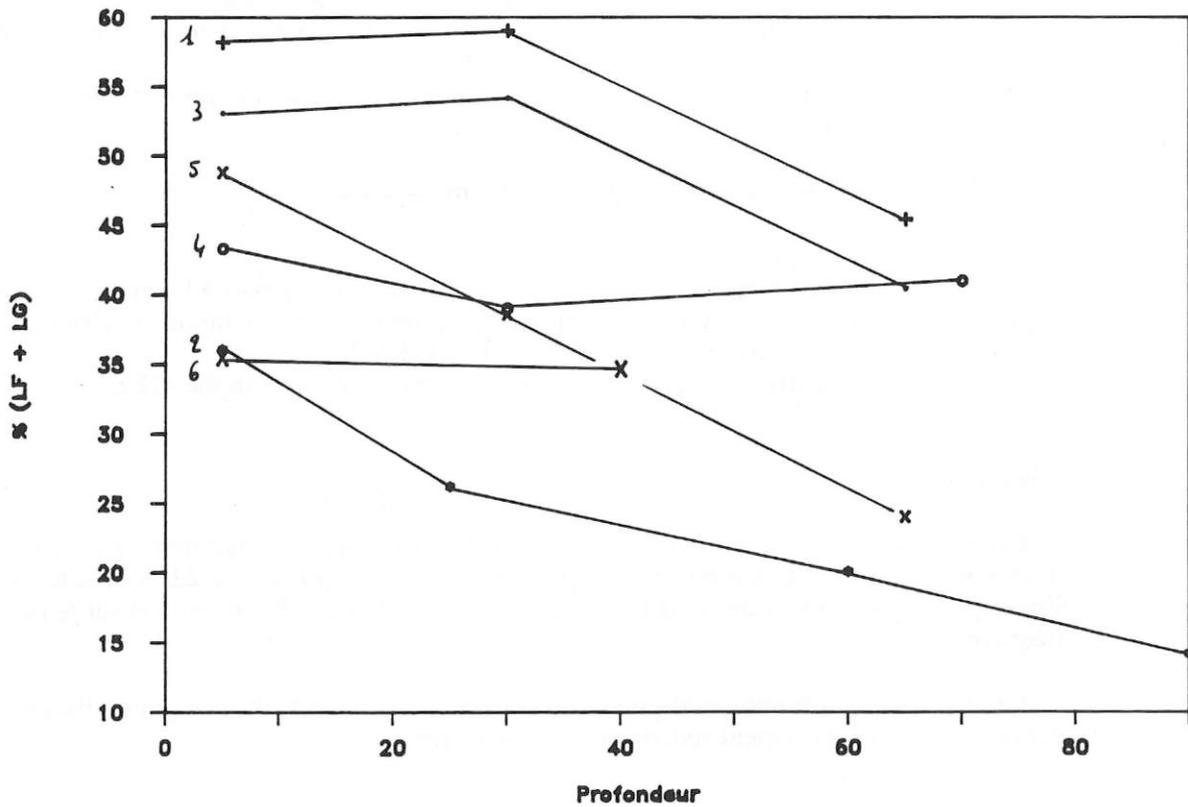
L'hypothèse de l'homogénéisation des horizons labourés n'est pas généralisable. Il semblerait qu'il y est rapidement redistribution après labour.

graphiques 10 et 11

couples 1-2, 3-4, 5-6 sur argiles et marnes du Toarcien

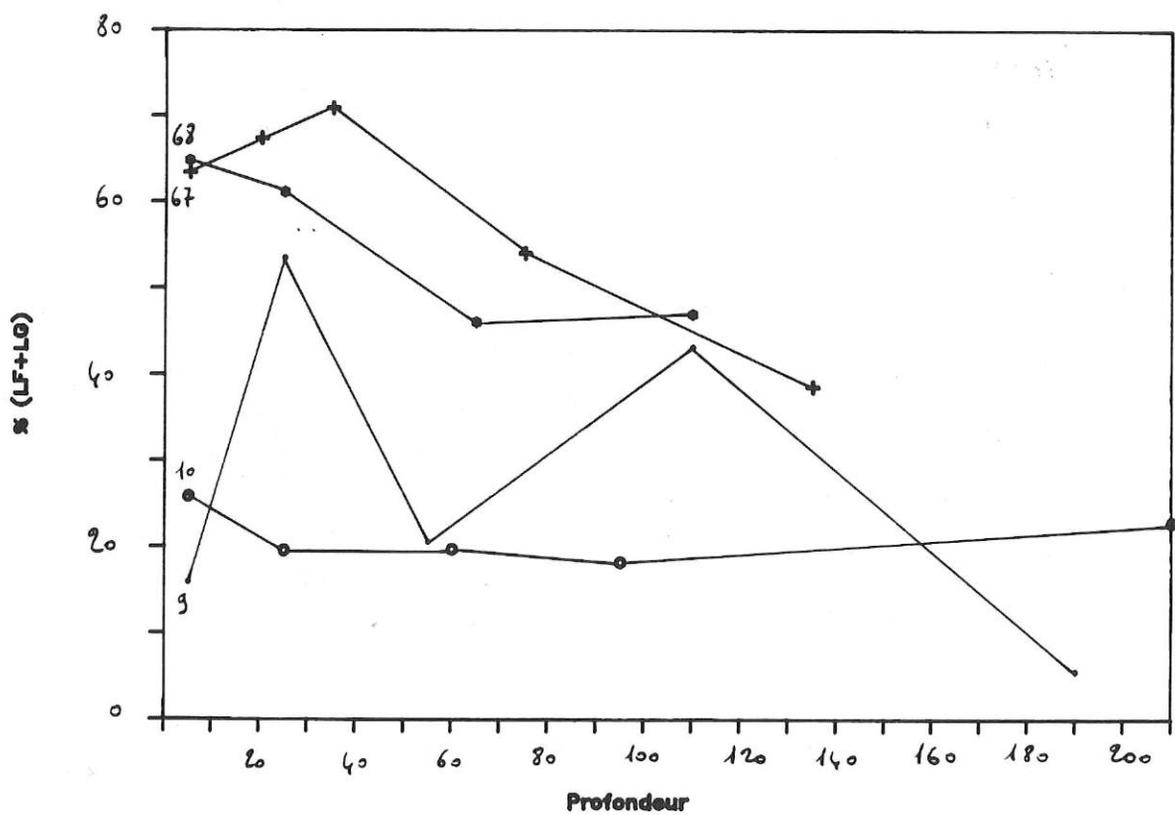
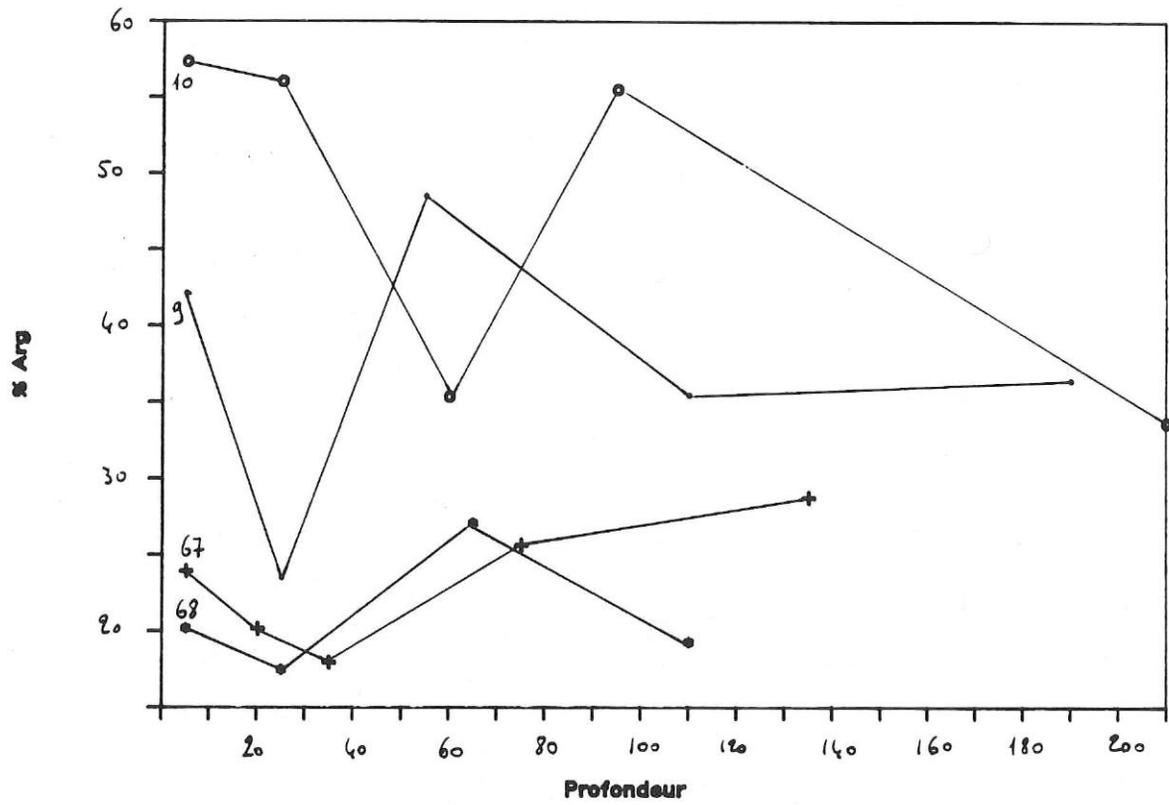


Note : le couple 1-2 montre une divergence importante en profondeur, liée à l'affleurement de la roche-mère argilo-marneuse sous prairie



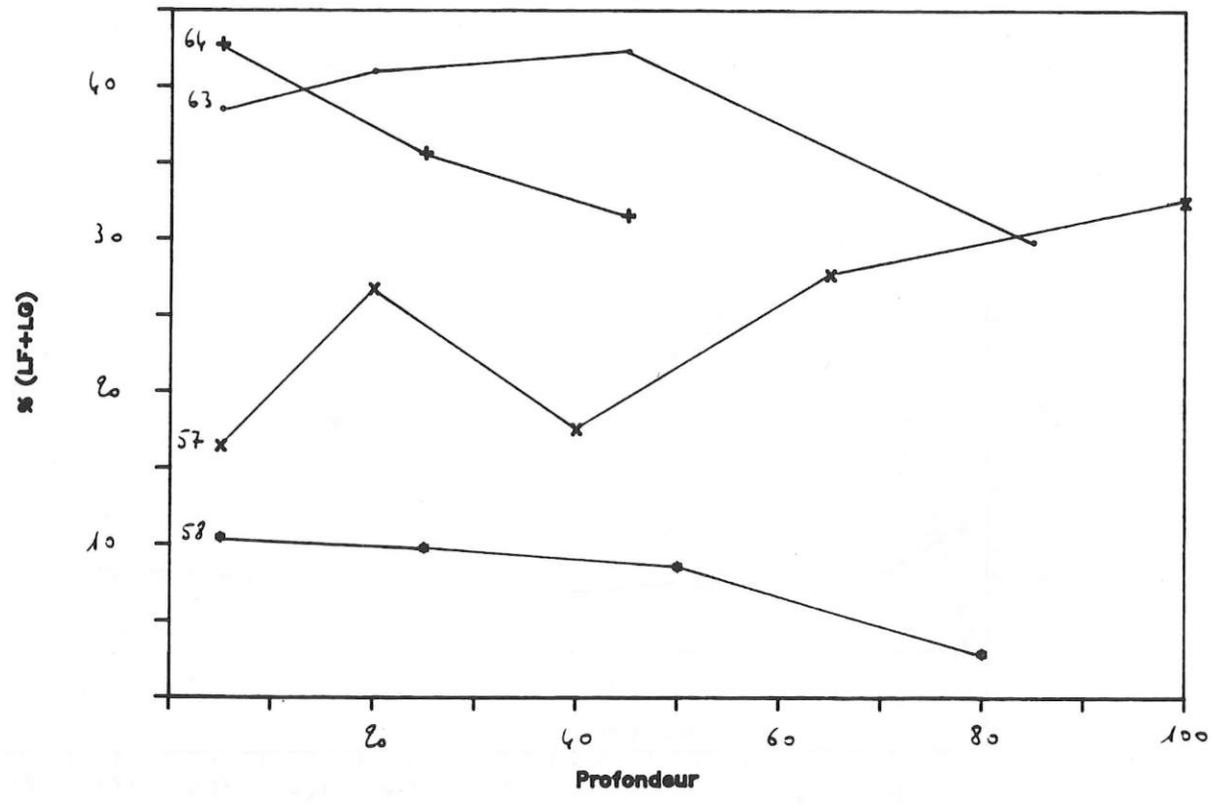
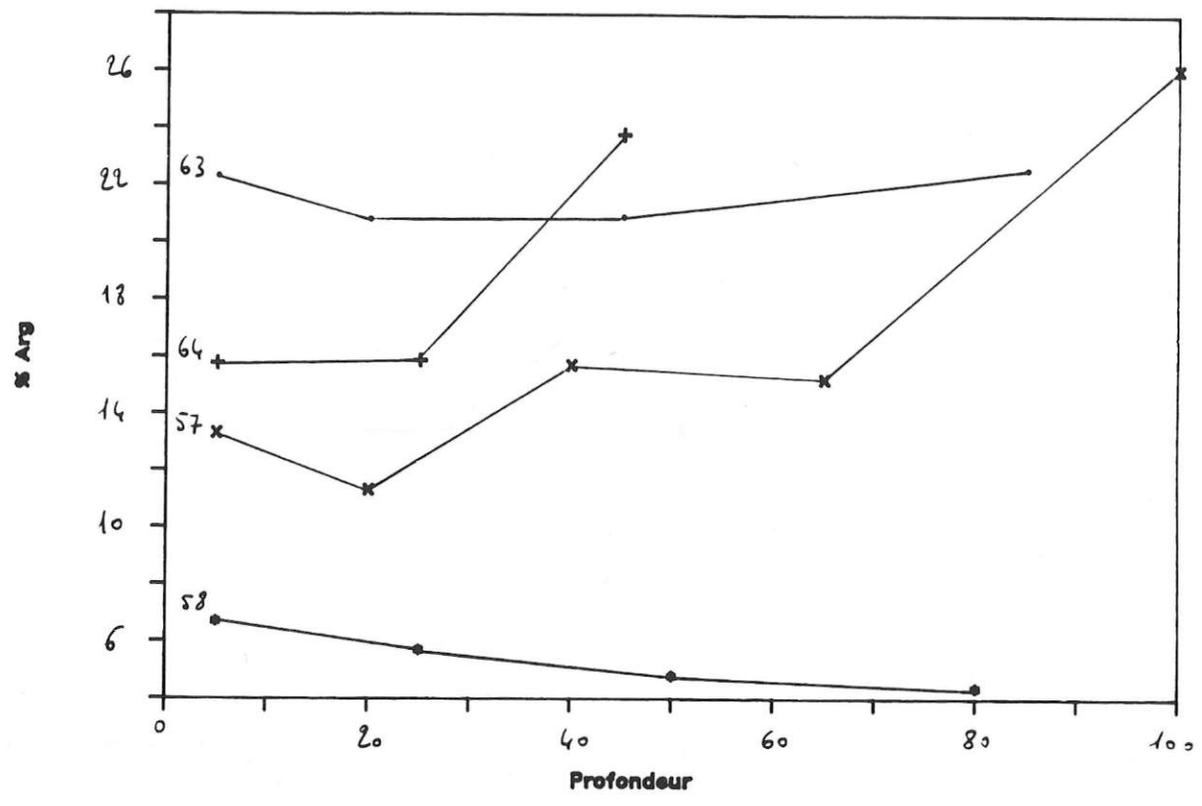
graphiques 12 et 13

couples 9-10, 67-68 sur "limons" épais



graphiques 14 et 15

couples 57-58, 63-64 sur roche-mère gréseuse



2/ Sols sous forêt

En l'absence d'effet anthropique, les sols sous forêt évoluent par lessivage (vertical et latéral) et acidification. graphes 10, 11, 14, 15

En particulier sur matériau argileux, ou argilo-sableux, les éléments fins entraînés peuvent ne pas s'accumuler en un horizon Bt, mais au contraire être évacués par sous-tirage latéral hors du profil. C'est le phénomène de planosolisation, qui aboutit à un stade avancé à la superposition de 2 pôles granulométriques.

"Les sols planosoliques sont très appauvris en argile et en fer à leur partie supérieure et présentent des horizons profonds argileux de type (B). La différenciation texturale est forte, le contact est brutal, le plus souvent sans transition" (Baize, 1983, [40]).

433- Hydromorphie

Elle est de façon générale plus accentuée sur prairie. La remontée de la nappe peut s'y expliquer par l'effet cumulé :

- de l'absence d'effet pompe des végétaux supérieurs et
- d'un plancher imperméable (argileux, bancs calcaires ou gréseux colmatés) rapproché de la surface par suite de la "troncature" des profils. (Tableau 18)

- Sur matériau argilo-marneux :

prairie	marmorisation dès la surface pseudogley/gley oxydé peu profond
forêt	marmorisation vers 30/40 pseudogley plus ou moins profond.

- Sur calcaire l'hydromorphie reste conditionnée par la profondeur et l'imperméabilité des bancs calcaires.

- Sur colluvium de pente, la profondeur à partir de laquelle apparait l'hydromorphie dépend de la profondeur du recouvrement (sableux par exemple) sur les argiles / marnes.

- Sur limons anciens, peu de différence constatée.

434- Modifications des caractéristiques chimiques

La composition chimique dépend :

- du type de sol : texture, intensité de l'hydromorphie,
- et pour un type de sol :
 - de la position topographique de détail du profil (sommet pente dépression),
 - de la profondeur de prélèvement
 - de son utilisation.

On constate :

1/ **des pH plus élevés sous prairies**

Tableau 19

Les 3 inversions (couples 35-36, 21-22, 19-20) s'expliquent simplement par la nature du matériau en profondeur carbonaté sous forêt (calcaire actif), non carbonaté sous prairie auquel s'ajoute l'état d'engorgement du profil 20.

Sur roche-mère / matériau identique, le pH des horizons superficiels des sols prairiaux est supérieur à celui des "homologues" forestiers. Différents facteurs peuvent l'expliquer comme :

- la plus forte capacité d'échange sur prairie liée à une texture plus argileuse (cas sur argiles, marnes et calcaires),
- les apports organiques (fumier, lisier), les amendements et la fertilisation qui entretiennent et améliorent le niveau trophique.

Tableau 19 : comparaison du pH des sols

Couples	Horizon 0-5		Horizon 20-40		Roche mère / matériau
	Forêt	Prairie	Forêt	Prairie	
65-66	6,2	7,1	6,1	7,6	calcaire du Muschelkalk
35-36	6,0	5,7	5,6	7,6	ensemble marnocalcaire du Carixien/Sinémurien
11-12	6,0	7,0	5,3	7,6	calcaire gréseux
9-10	5,4	5,4	5,8	5,5	"limons" épais sur calcaire gréseux
7-8	5,3	6,2	5,8	6,9	Schistes Cartons
21-22	5,3	5,2	4,1	5,0	argiles et marnes du Domérien
23-24	5,1	7,3	-	-	calcaire à Gryphées
19-20	4,7	4,5	4,8	4,6	argiles et marnes du Domérien
37-38	4,7	5,2	4,3	4,8	argiles et marnes du Sinémurien supérieur
67-68	4,6	5,8	4,4	5,4	"limons" épais sur Rhétien
1-2	4,4	5,4	4,2	5,7	argiles et marnes du Toarcien
5-6	4,4	5,0	4,7	5,4	argiles et marnes du Toarcien
3-4	4,4	4,8	4,4	4,9	argiles et marnes du Toarcien
51-52	4,4	5,2	4,2	5,4	colluvions sableuses sur marnes du Keuper
43-44	4,2	5,4	3,9	5,3	grès Rhétien / colluvium sur grès
33-34	4,1	4,4	3,9	4,3	grès Rhétien
57-58	4,1	5,1	4,0	5,4	grès Rhétien
63-64	3,6	5,2	4,1	5,0	matériau LAS sur grès Rhétien
Min	3,6	4,4	3,9	4,3	
Max	6,2	7,3	6,1	7,6	
Moy	4,8	5,5	4,7	5,7	

2/ un niveau trophique supérieur sous prairie

◇ Etude du rapport S/T

Tableau 20

A l'exception des 2 couples 35-36 et 21-22 $(S/T)_{\text{prairie}} > (S/T)_{\text{forêt}}$

◇ Comparaison de la capacité d'échange (S)

Tableau 21

Le rapport $S_{\text{prairie}}/S_{\text{forêt}}$ varie dans un intervalle de 1 à 4. Les valeurs plus élevées sur prairies s'expliquent par des teneurs supérieures en Ca (variation $Ca_{\text{prairie}}/Ca_{\text{forêt}}$ de 1 à 5), du fait de la recarbonatation des horizons :

- proximité de la roche-mère marneuse/calcaire
- richesse en cailloux calcaires.
- apport éventuel d'engrais

$$S_p \gg S_f \longleftrightarrow Cap \gg Caf$$

3/ des résultats contrastés pour le C/N

Tableau 22

L'observation du tableau aboutit aux remarques suivantes :

◇ Cas des couples sur matériau carbonaté

En l'absence de fumure $(C/N)_p > (C/N)_f$ lorsque $Ca_p > Ca_f$ ex : 1-2, 3-4, 5-6, 19-20, 65-66.

La fumure exerce un effet favorable, dans le sens d'une diminution du rapport C/N
ex : 7-8, 37-38.

◇ Cas des couples sur matériau acide, riche en sable

Les sols prairiaux évoluent vers des profils de sols bruns mésotrophes

ex : 33-34, 57-58, 63-64.

Tableau 20 : comparaison des valeurs S/T

couples	horizon 0-5		horizon 20-40		roche-mère / matériau
	forêt	prairie	forêt	prairie	
23-24	98,9	99,9	-	-	AL de décarbonatation du Calcaire à Gryphées
11-12	98,4	99,2	97,1	99,4	LAS de décarbonatation du Calcaire Gréseux
35-36 *	97,9	97,8	96,4	99,5	AL de décarb. des calcaires et marnes du Sinémurien sup.
65-66	97,5	99,3	94,8	99,5	colluvium sur AL de décarbonatation du Muschelkalksup.
21-22 *	97,3	90,7	89,3	88,2	argiles et marnes du Domérien
7-8	95,6	97,2	95,6	98,5	Schistes Cartons
9-10	94,6	97,2	97,0	96,7	"limons" épais sur Calcaire Gréseux
19-20 *	92,1	96,1	90,7	96,7	argiles et marnes du Domérien
5-6	88,1	92,9	87,1	94,8	argiles et marnes du Toarcien
51-52	84,8	95,5	71,7	88,9	colluvions sableuses sur marnes du Keuper
33-34	82,9	86,4	59,6	87,1	altérite sableuse en place
1-2	78,3	98,3	50,6	96,4	argiles et marnes du Toarcien
57-58	78,1	85,3	52,7	89,9	altérite en place sur Grès Rhétien
3-4	76,1	96,8	70,7	95,6	argiles et marnes du Toarcien
67-68	73,9	95,7	56,5	94,6	"limons" épais sur Grès Rhétien
63-64	71,5	89,6	70,5	85,2	matériau LAS sur Grès Rhétien
37-38	70,3	91,0	43,2	86,2	argiles et marnes du Sinémurien
43-44	37,8	95,5	41,6	92,8	altérite en place SA gréseuse / colluvium sur altérite
Min	37,8	85,3	41,6	85,2	
Max	98,9	99,9	97,1	99,5	
Moy	84,1	94,7	74,4	93,5	

* couples sur matériau non homologue

Tableau 21 : comparaison des valeurs S et Ca

couples	S			Ca		
	forêt	prairie	S pr / S forêt	forêt	prairie	Ca pr / Ca forêt
35-36 *	26,2	25,0	1,0	23,1	22,2	1,0
23-24	22,5	32,4	1,4	19,2	29,5	1,5
7-8	20,2	22,2	1,1	18,1	20,9	1,2
21-22 *	18,8	10,3	0,6	15,3	8,8	0,6
65-66	17,3	26,8	1,6	10,7	19,4	1,8
11-12	14,9	21,7	1,5	12,6	19,3	1,5
1-2	9,4	40,6	4,3	6,9	33,9	4,9
19-20 *	9,3	24,6	2,7	4,4	21,7	4,9
9-10 *	8,9	6,2	0,7	7,7	5,5	0,7
5-6	5,3	15,9	2,9	3,5	12,7	3,7
37-38	4,1	9,0	2,2	2,4	5,9	2,5
3-4	3,8	14,9	3,9	2,1	12,2	5,9
67-68	3,8	8,7	2,3	1,2	5,4	4,6
33-34	2,3	3,3	1,5	1,3	2,0	1,6
63-64	2,1	5,7	2,7	0,9	3,8	4,5
51-52	2,1	7,4	3,6	1,4	5,2	3,8
57-58	1,8	3,2	1,8	0,3	2,0	6,0
43-44	1,0	10,8	10,7	0,4	7,7	19,2
Min	1,0	3,2	0,6	0,3	2,0	0,6
Max	26,2	40,6	10,7	23,1	33,9	19,2
Moy	9,6	16,0		7,3	13,2	

Tableau 22 : comparaison des valeurs C/N

couples	fumure prairie	C prairie		N prairie		(C/N) prairie		C/N rapport (prairie / forêt)	Ca rapport (prairie / forêt)
		C forêt	C prairie	N forêt	N prairie	(C/N) forêt	(C/N) prairie		
7 - 8	lisier	35,9	33,1	1,5	1,7	23,9	19,5	0,8	1,2
35 - 36 *	fumier	41,1	39,3	2,0	2,3	20,6	17,1	0,8	1,0
63 - 64	scories	46,4	27,5	2,3	1,6	20,2	17,2	0,9	4,5
65 - 66		44,5	54,8	2,2	2,6	20,2	21,1	1,0	1,8
23 - 24		40,6	29,6	2,1	2,0	19,3	14,8	0,8	1,5
3 - 4		31,1	75,5	1,7	3,5	18,3	21,5	1,2	5,9
67 - 68	fumier	36,1	35,4	2,0	1,9	18,1	18,6	1,0	4,6
1 - 2		37,7	78,4	2,1	3,7	18,0	21,2	1,2	4,9
5 - 6		24,8	40,8	1,4	2,2	17,7	18,5	1,1	3,7
43 - 44		28,0	40,0	1,6	2,0	17,5	20,0	1,1	19,2
21 - 22 *	fumier	38,2	29,9	2,4	2,0	15,9	15,0	0,9	0,6
37 - 38	fumier	25,3	25,6	1,6	1,8	15,8	14,2	0,9	2,5
11 - 12	scories Ca	31,0	32,1	2,0	2,0	15,5	16,1	1,0	1,5
9 - 10		20,1	11,2	1,3	0,9	15,5	12,4	0,8	0,7
57 - 58	fumier	29,2	10,4	1,9	0,9	15,4	11,6	0,8	6,0
19 - 20 *		30,2	78,3	2,0	3,5	15,1	22,4	1,5	4,9
33 - 34		15,7	21,0	1,1	1,3	14,3	16,2	1,1	1,6
51 - 52	ammonitrates	21,2	24,0	1,5	1,4	14,1	17,1	1,2	3,8
min		15,7	10,4	1,1	0,9	14,1	11,6		
max		46,4	78,4	2,4	3,5	23,9	22,4		
moy		32,1	38,2	1,8	2,1	17,5	17,5	1,0	3,9

* couples sur matériau non homologue

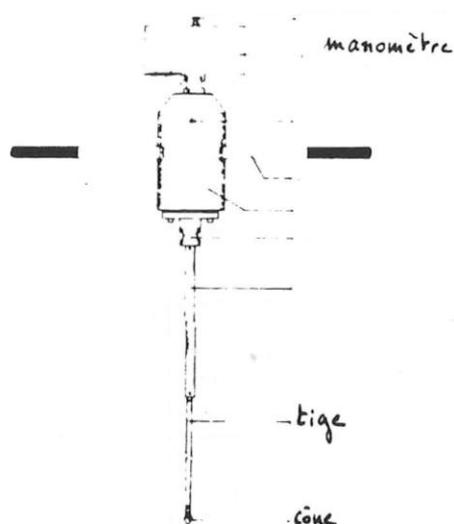
435- Etude du compactage des sols1/ Matériel utilisé et méthodes

Afin d'identifier les perturbations de structure des sols introduites par les travaux culturaux, le passage des véhicules agricoles ou le piétinement des animaux, l'étude comparative des valeurs de résistance à la pénétration a été entreprise sur un échantillon de 35 couples (plus quelques répétitions isolées) du 22 au 29 mai 1990.

Une augmentation de la résistance observée correspond à une compaction plus forte et par conséquent à une dégradation de la qualité du sol.

Le protocole a été mis en place avec l'aide de M. Delecour, chef de Travaux au centre de Pédologie de Gembloux.

Les mesures ont été effectuées au moyen d'un pénétromètre et ont intéressé les 50 premiers cm de profondeur de sol, après enlèvement de la litière sous forêt.



L'appareil, simple et maniable comprend un manomètre relié à une tige en acier graduée de 50 cm, et terminée par un cône de 2 cm², ce qui permet de réaliser les mesures dans une gamme relativement large de conditions hydriques (Delecour, 1987, [54]).

Aux profondeurs 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 cm est lue sur le manomètre la force exercée sur le cône (= la résistance à la pénétration du sol). Les résultats obtenus en kN pour une surface de cône de 2 cm² ont été convertis en MPa (1 MPa = 10⁶ Pa = 1 N/m²).

Dans la mesure du possible 8 répétitions dans un rayon d'une dizaine de mètres ont été faites à chaque fois pour tenir compte de la micro-hétérogénéité du sol, de l'influence d'éléments grossiers (cailloux, pierres...) et du système racinaire. Ces caractéristiques générales de distribution (nombre de répétition, valeur minimale, valeur maximale, moyenne, intervalle de confiance, coefficient de variation et écart-type sont donnés en annexe 5).

Enfin comme l'état hydrique du sol influence fortement la résistance à la pénétration, chaque série de mesures (6 profondeurs X 8 répétitions) a été accompagnée d'une seule détermination de la teneur en eau à 20 cm de profondeur.

Le taux d'humidité des échantillons a été obtenu par dessiccation jusqu'à poids constant à l'étuve à 105°C :

- pesées des échantillons humides
- mise à l'étuve pendant 24h à 105°C
- pesées des échantillons secs
- calcul de la teneur en eau

$$\% H = \frac{P_{\text{humide}} - P_{105^{\circ}\text{C}}}{P_{105^{\circ}\text{C}}} \times 100$$

Les résultats sont donnés en annexe 5. Les conditions pluviométriques de septembre à mai 1990 figurent dans l'annexe suivante. Le déficit est plus ou moins important en fonction des postes : mois de février bien arrosé suivi de 3 mois où les hauteurs des précipitations sont inférieures aux moyennes. La gamme d'humidité explorée est donc réduite, et dépend principalement de la capacité de rétention en eau des sols.

2/ Les variables

$$R = f(\text{texture, \%H, tassement, MO, calcaire...})$$

La résistance à la pénétration peut s'écrire comme une fonction

- du type de sol = TEXTURE

Est-il possible de classer différents groupes de sols en fonction de leur sensibilité au tassement?

Une petite étude bibliographique indique clairement les tendances suivantes :

◊ Faure et Fies (1973, [50]) observent que dans un matériau où la teneur en argile croît, la sensibilité au compactage, très marquée pour les mélanges pauvres en argile, décroît dans les échantillons moyennement argileux et disparaît pratiquement quand le matériau est riche en argile (35%).

◊ Mettauer et al (1983, [52]) ont constaté que Les matériaux les plus sableux (sable, sable argileux) se classent parmi les formations les plus sensibles au compactage, les sols marneux sont par contre très peu sensibles, quant aux sols sur limons, ils prennent une position intermédiaire.

- de son état hygrométrique = HUMIDITE

La résistance à la pénétration diminue quand le taux d'humidité s'élève, mais la relation est non-linéaire. De Crécy et al. (1984) ont proposé une équation de la forme

$$R = (H_1/H)^n$$

où H_1 est l'humidité pondérale pour une résistance à l'enfoncement de 1 bar (= 0,1 MPa).

- de son poids volumétrique = intensité du TASSEMENT (pour l'étude, utilisation prairie / forêt en première approximation).

- de sa richesse en MATIERE ORGANIQUE, en CALCAIRE... rôle de cohésion.

Ces variables ne sont pas indépendantes les unes des autres **La comparaisons des couples n'est donc possible qu'à l'intérieur de classes texturales et de classes d'humidité comparables - sans connaître à priori les seuils de variation des comportements.**

3/ Analyse des résultats

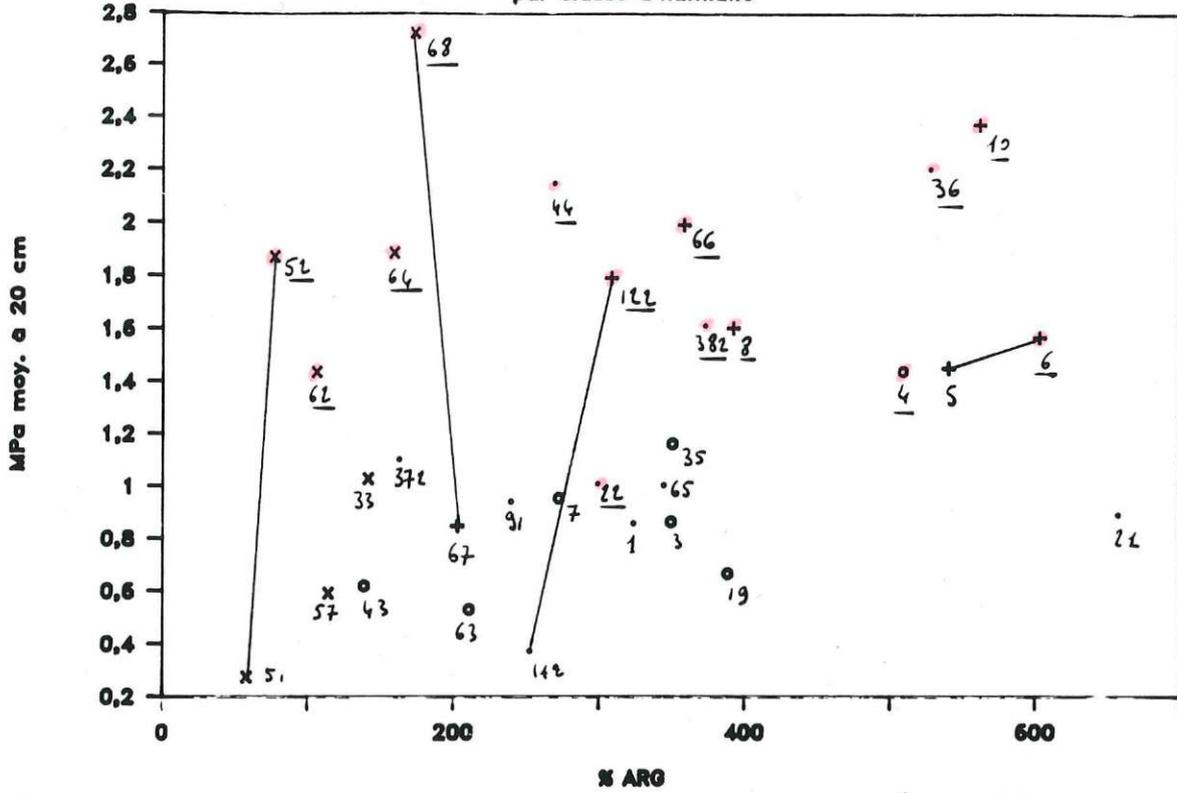
Sur une même placette, les variations de résistance à la pénétration sont importantes, ce qui justifie le nombre minimum de 6/8 répétitions pour obtenir des résultats exploitables.

- L'amplitude des variations est maximale pour les mesures faites à 5 cm de profondeur. Elle s'explique:

◊ sous forêt par la résistance faible de l'horizon de surface, ce qui rend la lecture difficile,

graphique 16

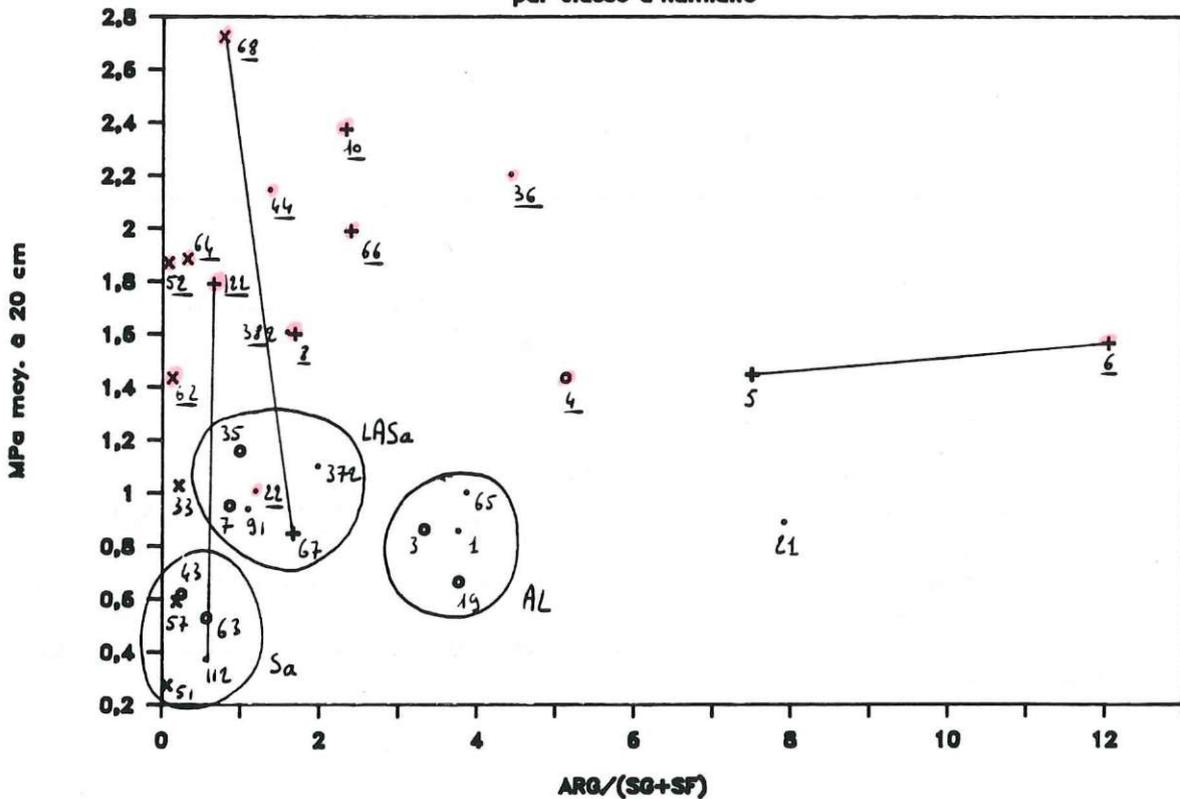
$R = f(\text{ARG})$
par classe d'humidité



- classes %H
- o 30-35 %
 - . 25-30 %
 - + 20-25 %
 - x 12-20 %

graphique 17

$R = f(\text{ARG}/(\text{SG}+\text{SF}))$
par classe d'humidité



en rouge prairie
(numéros soulignés)

◇ sous prairie par le feutrage racinaire qui représente un obstacle à la pénétration.

- Le coefficient de variation varie dans un intervalle de 15 à 60 % pour environ 90 % des mesures faites à 10, 15, 20 et 30 cm de profondeur (de 15 à 30 % pour 45 % des mesures).

- Il varie dans un intervalle de 10 à 40 % pour plus de 95 % des mesures faites à 40 et 50 cm (de 10 à 30 % pour environ 80 % des mesures).

Le resserrement des mesures en profondeur correspond à la diminution de l'hétérogénéité structurale créée par l'activité biologique.

Il ne semble pas apparaître de corrélations particulières entre de fortes amplitudes de variations et des types de sols, à l'exception des terrains pierreux où les mesures de résistance sont à considérer avec prudence.

Les comparaisons intra-couples sont donc souvent limitées du fait de fortes amplitudes de variations et de taux d'humidité significativement différents, plus ou moins liés à des textures différentes (cf chapitre précédent) et à des conditions pédo-climatiques variables.

De même les comparaisons inter-couples sont limitées par le nombre restreint de répétitions et la faible gamme d'humidité explorée pour les différentes classes texturales.

Deux types de fichiers ont été traités:

- un fichier trié par humidité décroissante, qui a permis l'étude de la résistance à la pénétration à 20 cm de profondeur en fonction de la texture pour les 37 sols analysés (annexe 7)

- un fichier trié par classes texturales (texture des horizons 15-40) qui a permis l'étude de la résistance à la pénétration à 20 cm de profondeur en fonction du taux d'humidité pour 76 sols (annexe 8).

a/ $R_{20\text{ cm}} = f(\text{texture})$ à humidité comparable

Deux graphiques ont été tirés : $R_{20} = f(\text{ARG})$ et $R_{20} = f(\text{ARG}/(\text{SG}+\text{SF}))$ (37 sols)

◇ $R_{20} = f(\text{ARG})$ graphique 16

On note une opposition nette entre la distribution des valeurs sur prairie et sous forêt, mais le manque de couples de texture et d'humidité comparables rend toute conclusion difficile.

Quatre couples sont cependant intéressants:

5-6 sur argile : proximité des valeurs de résistance,

11-12 et 67-68 de texture équilibrée LASa : différence de valeur de résistance de 1,5 à 2 MPa,

51-52 de texture sableuse (Sa) : malgré l'humidité très faible, les valeurs de résistance sont très faibles sous forêt tandis que les sols sont compactés sur prairie. Cependant pour ce dernier cas, les valeurs de résistance sont proches de celles des autres textures (environ 2 MPa).

◇ $R_{20} = f(\text{ARG}/(\text{SG}+\text{SF}))$ graphique 17

Ce graphe permet de définir trois groupes de sols homogènes quant à leur valeur de résistance :

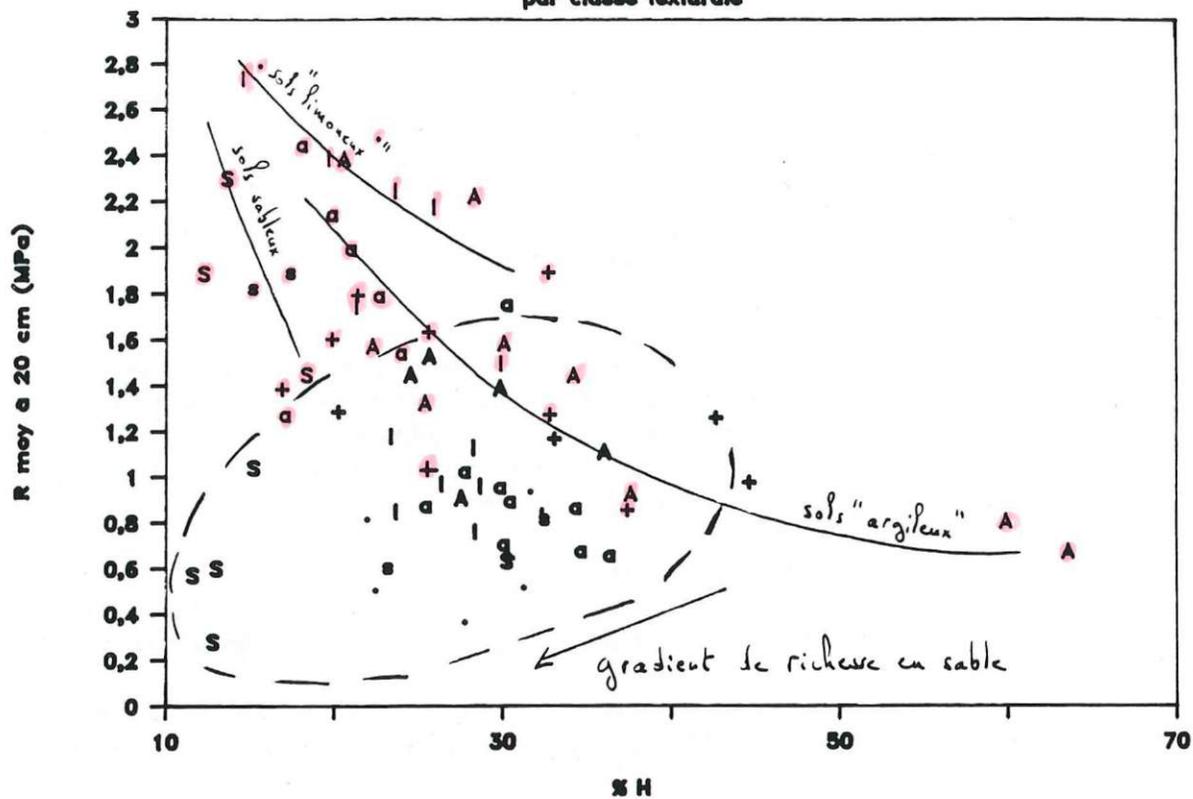
- groupe AL de résistance comprise entre 0,5 et 1 MPa
- groupe LA, LASa de résistance comprise entre 0,75 et 1,25 MPa
- groupe Sa de résistance comprise entre 0,25 et 0,5 MPa.

Les valeurs de résistance les plus élevées sur prairie concernent les textures LA et LASa pour des valeurs d'humidité faibles.

graphique 18

$$R = f (\% H)$$

par classe texturale



en rouge prairie

classes texturales	A	argile
	a	argilo-limoneux (AL)
	+	argilo-limono-sableux (ALSa)
	l	limono-argileux (LA)
	.	texture équilibrée (LASa)
	s	sablo-argilo-limoneux (SaAL)
	S	sableux (Sa)

allure des courbes de régression



b/ $R_{20\text{ cm}} = f(\%H)$ à texture comparable graphique 18 (76 sols)

- sous forêt : les valeurs de résistance sont comprises entre 0,25 et 1,5 MPa. Leur distribution est groupée et on observe un gradient de richesse en sable en progressant du pôle forte résistance et humidité vers celui de faible résistance et humidité. Ainsi les résistances les plus faibles sont enregistrées sur les sols sableux (structure particulière) et augmentent progressivement pour les textures LA, LASa / AL / ALSa, A.

L'activité biologique structure le sol et l'aère (photos 9 et 10 : brassage biologique profond sous forêt qui explique la répartition importante des taches noires, cette répartition ne se retrouve pas sous prairie où les limites entre horizons sont nettes).

- sur prairie : les valeurs élevées de résistance, 1 à 3 MPa, exprime le tassement par le matériel agricole ou par le piétinement des animaux, qui se traduit par une baisse de la porosité (disparition des pores les plus grossiers).

En accord avec les observations de de Crécy et al. (1984), trois courbes de type $R = (H_1/H)^n$ peuvent se distinguer, et laissent supposer un comportement différent au compactage pour les trois grands groupes texturaux correspondants Sa, SaAL / A, AL, ALSa / LA, LASa.

Régression sur prairie $\ln(R) = f(\ln H)$

- pour les textures Sa, SaAL le nombre des données est insuffisant,

- pour les textures A, AL, ALSa et fosses 38, 70 la droite de régression est :

$$\ln(R) = -0,9 \ln(H) + 3,37 \quad \text{avec un ajustement } R^2 \text{ égale à } 0,728,$$

- pour les textures LA et LASa (fosses 68, 40, 702, 44, 32, 12) la droite de régression est :

$$\ln(R) = -0,41 \ln(H) + 2,14 \quad \text{avec un ajustement } R^2 \text{ égale à } 0,853.$$

c/ $R = f(\text{profondeur})$

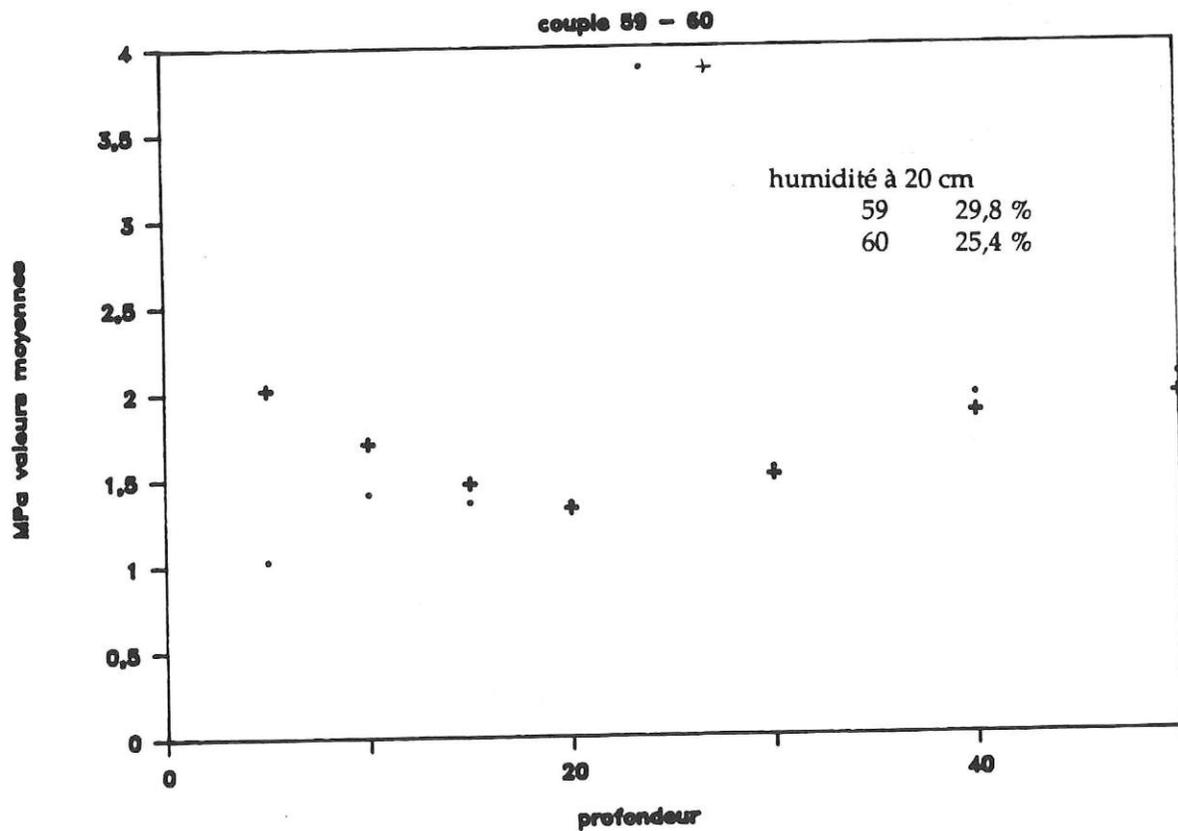
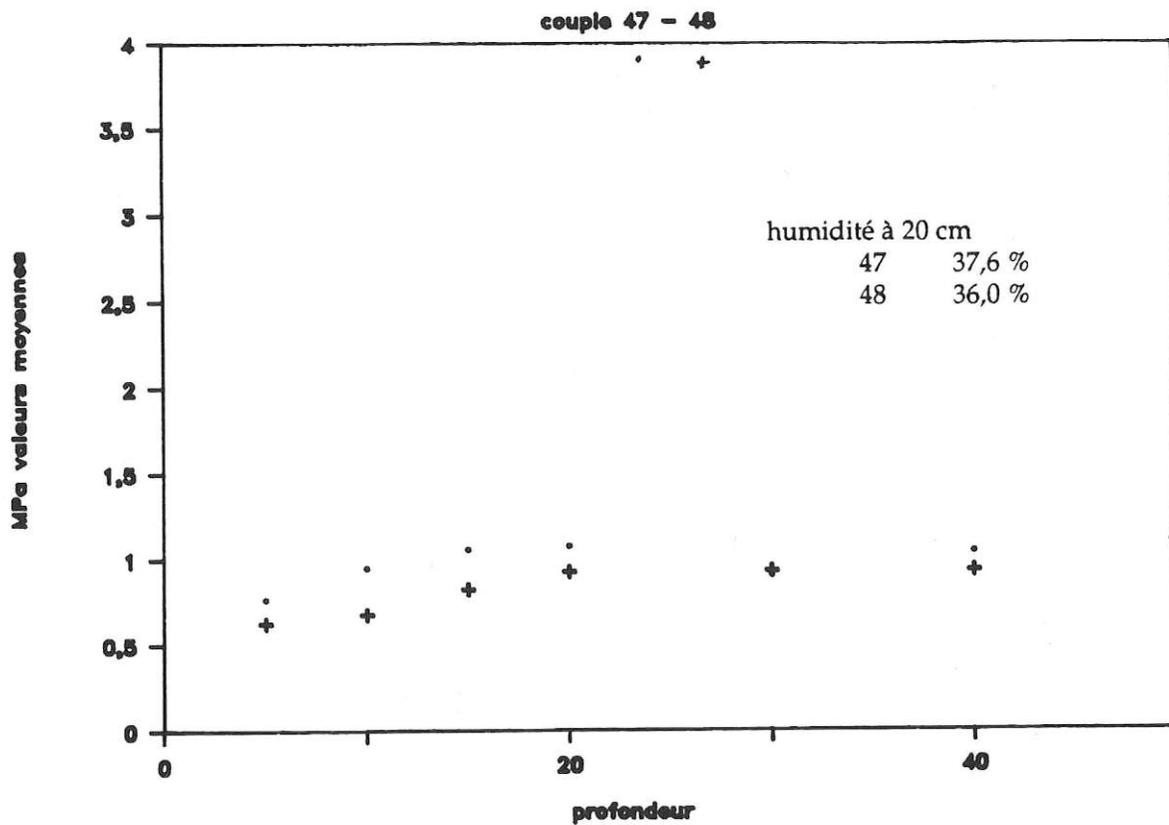
graphiques 19 à 28

Sont données les courbes les plus caractéristiques de couples de texture et d'humidité comparables avec des coefficients de variation "acceptables", le plus souvent inférieurs à 30 %

	◊ sur A / AL / ALSa :	
couples	47-48	pélosols de bas de côte
	59-60	pélosols de pente forte
	21-22	sol brun argileux/brun lessivé hydromorphe
	3-4	sol brun lessivé/brun argileux hydromorphe
	65-66	sols bruns eutrophes
	◊ sur LA / LASa :	
couples	491-501 et 492-502	sols lessivés hydromorphes LA/AL sur grès
	37-38	sols bruns lessivés hydromorphes
	91,92-10	sols lessivés hydromorphes
	69-70, 702	sols lessivés hydromorphes
	◊ sur Sa :	
couples	51-52 et 53-54	sols bruns colluviaux sur marnes du Keuper

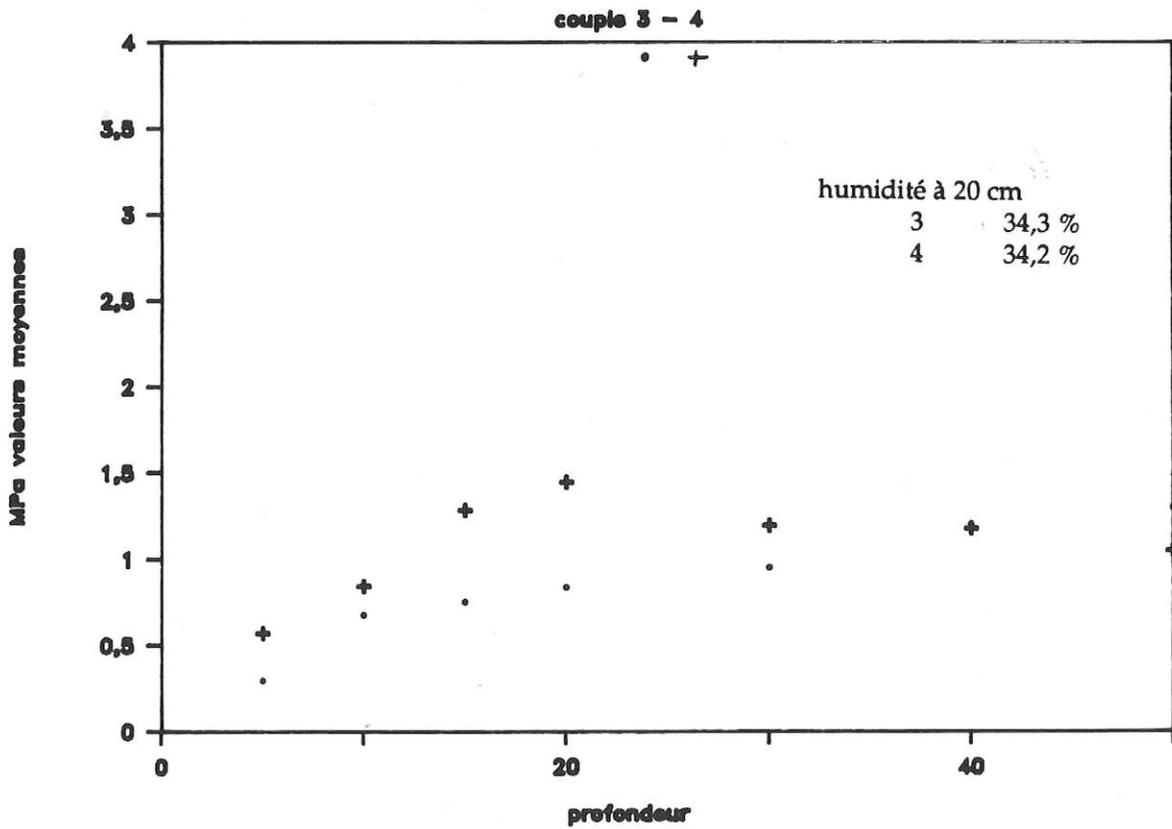
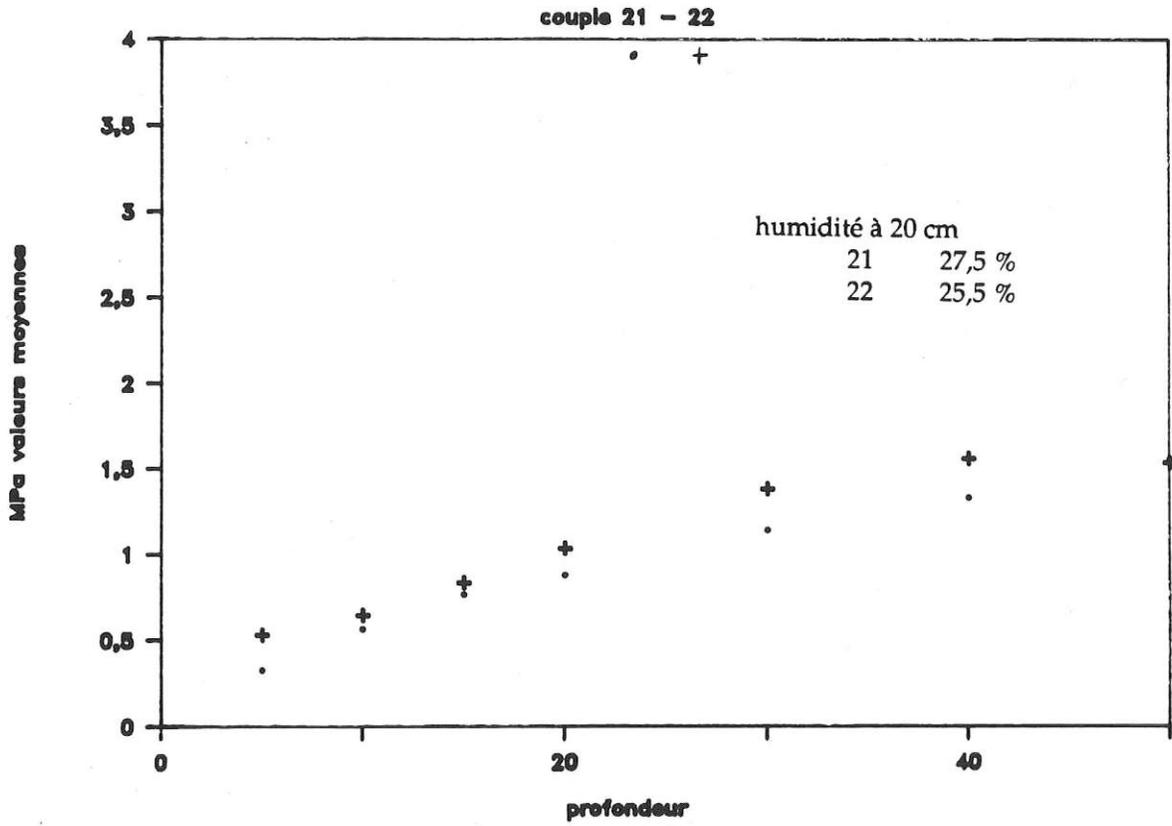
graphiques 19 et 20

+ prairie • forêt

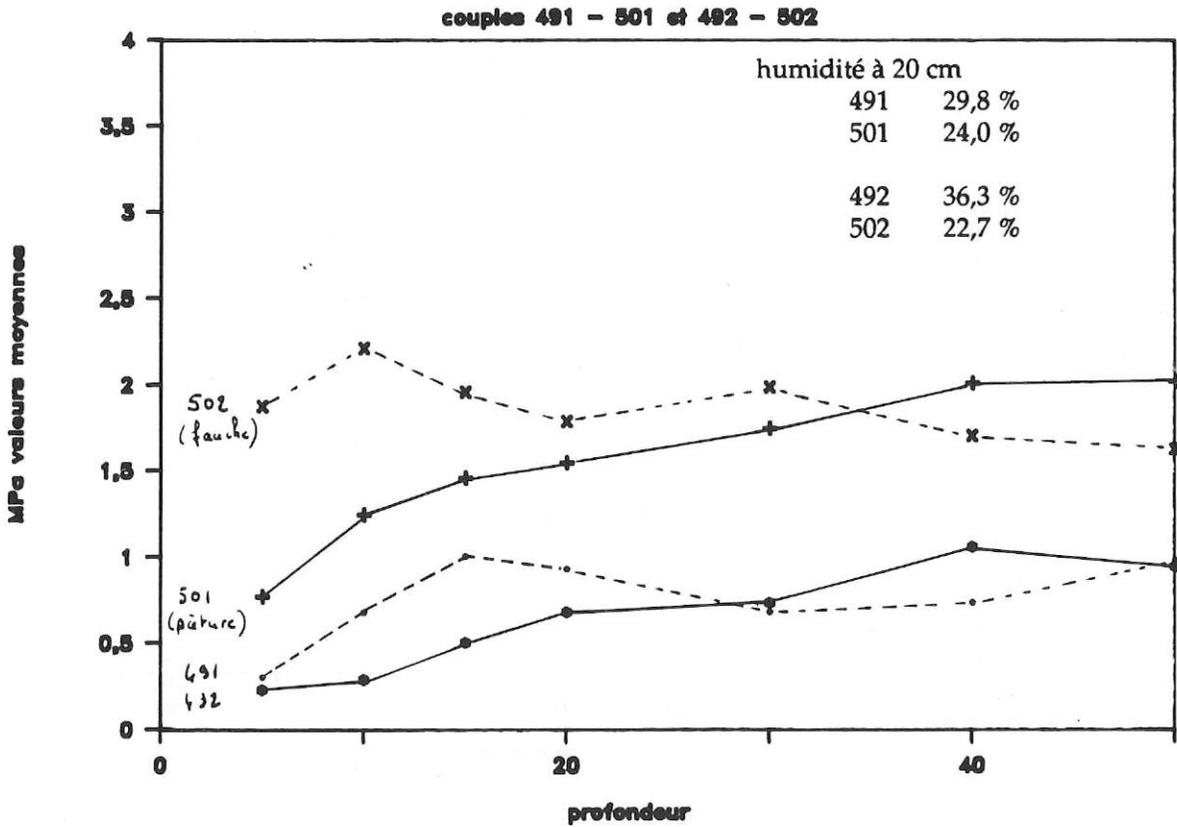
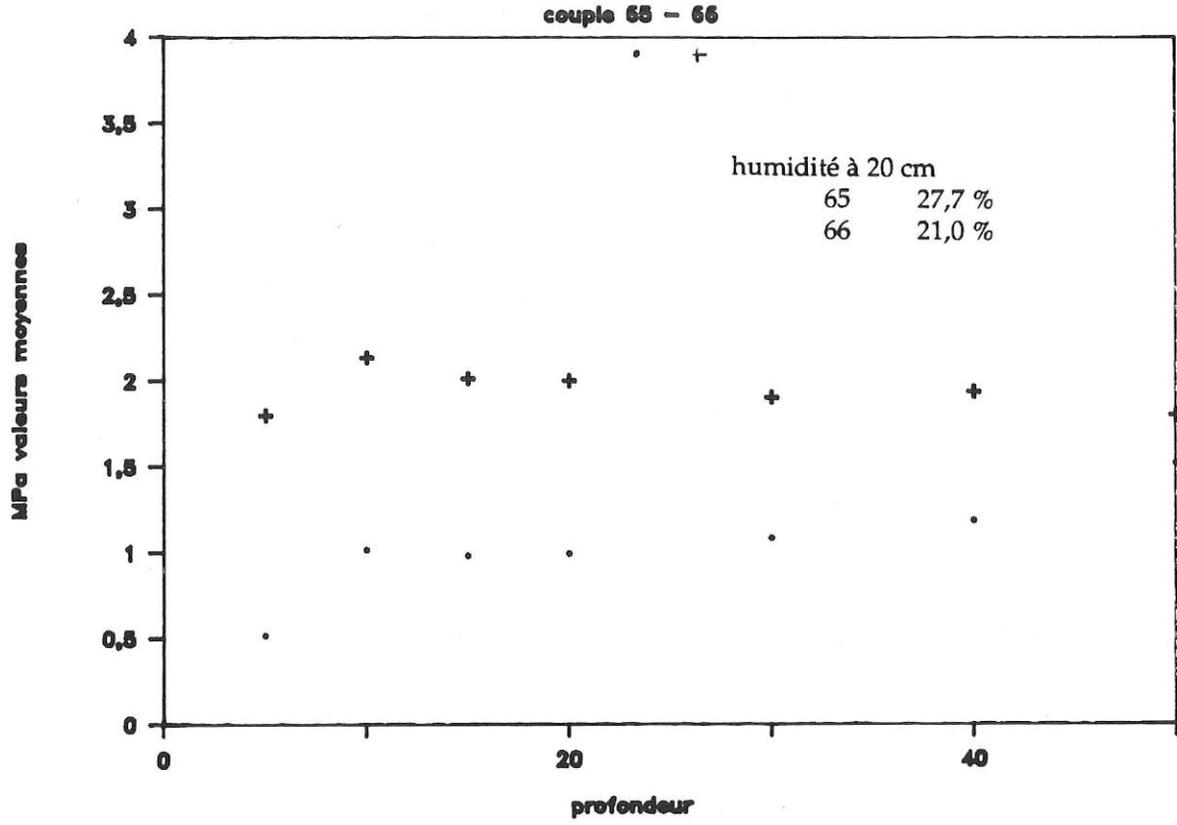


graphiques 21 et 22

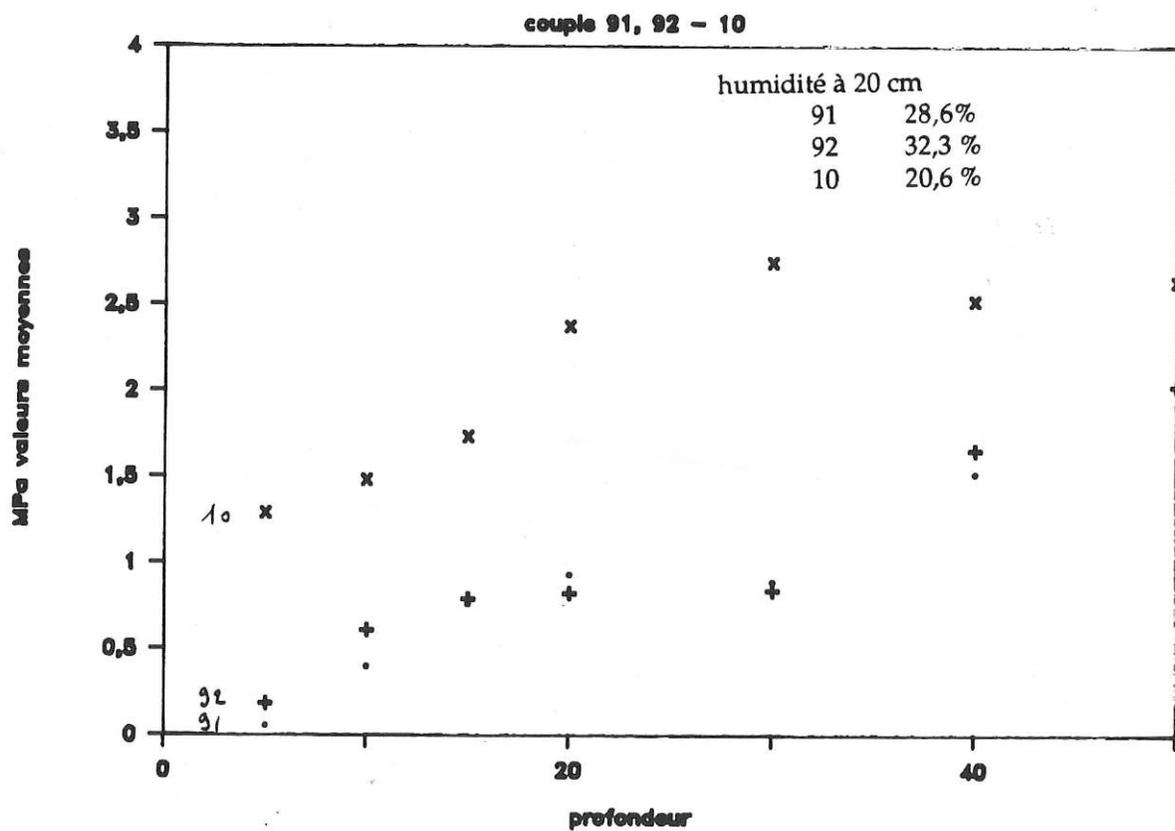
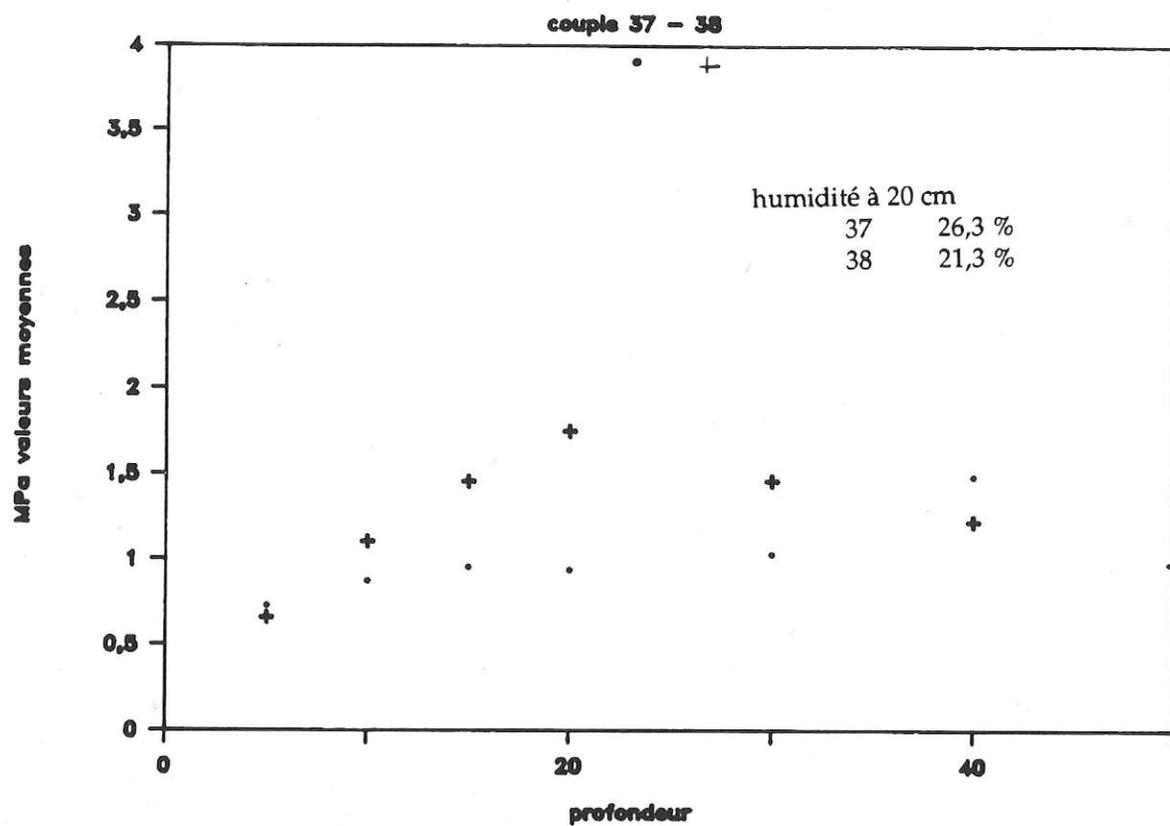
+ prairie • forêt



graphiques 23 et 24



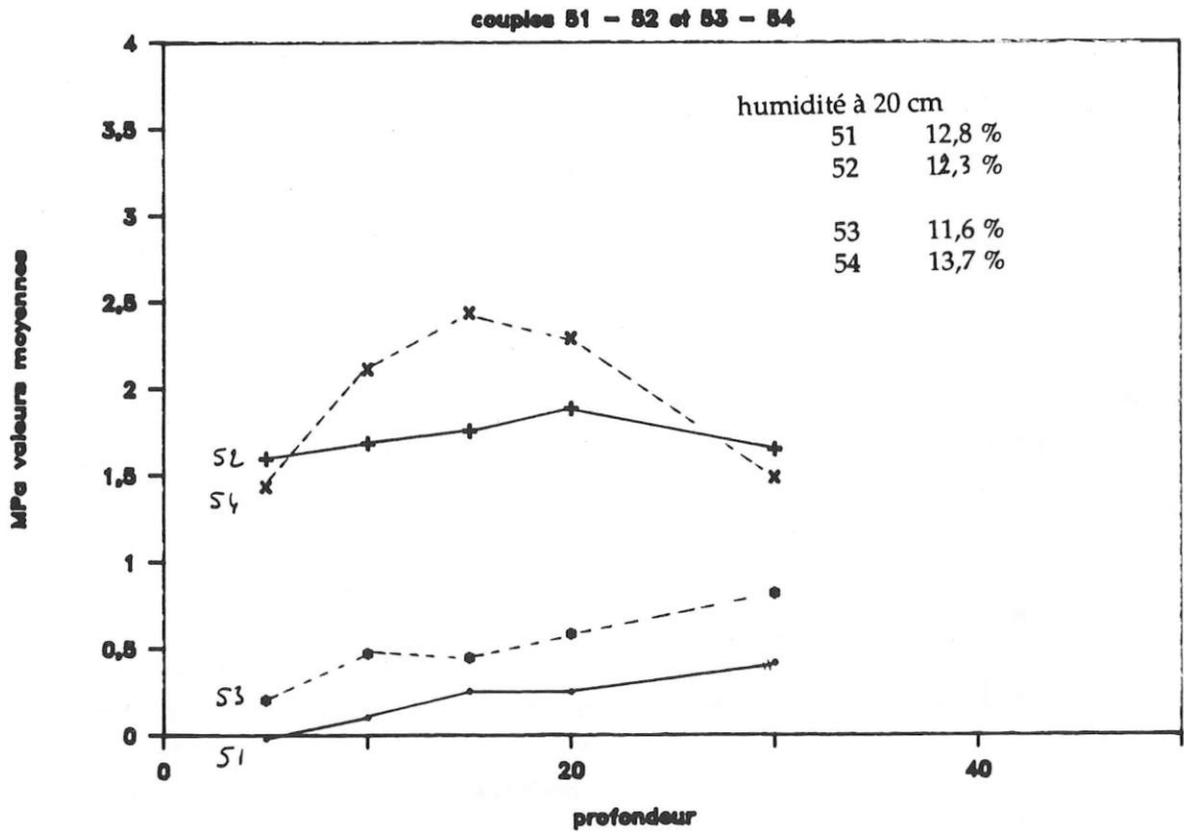
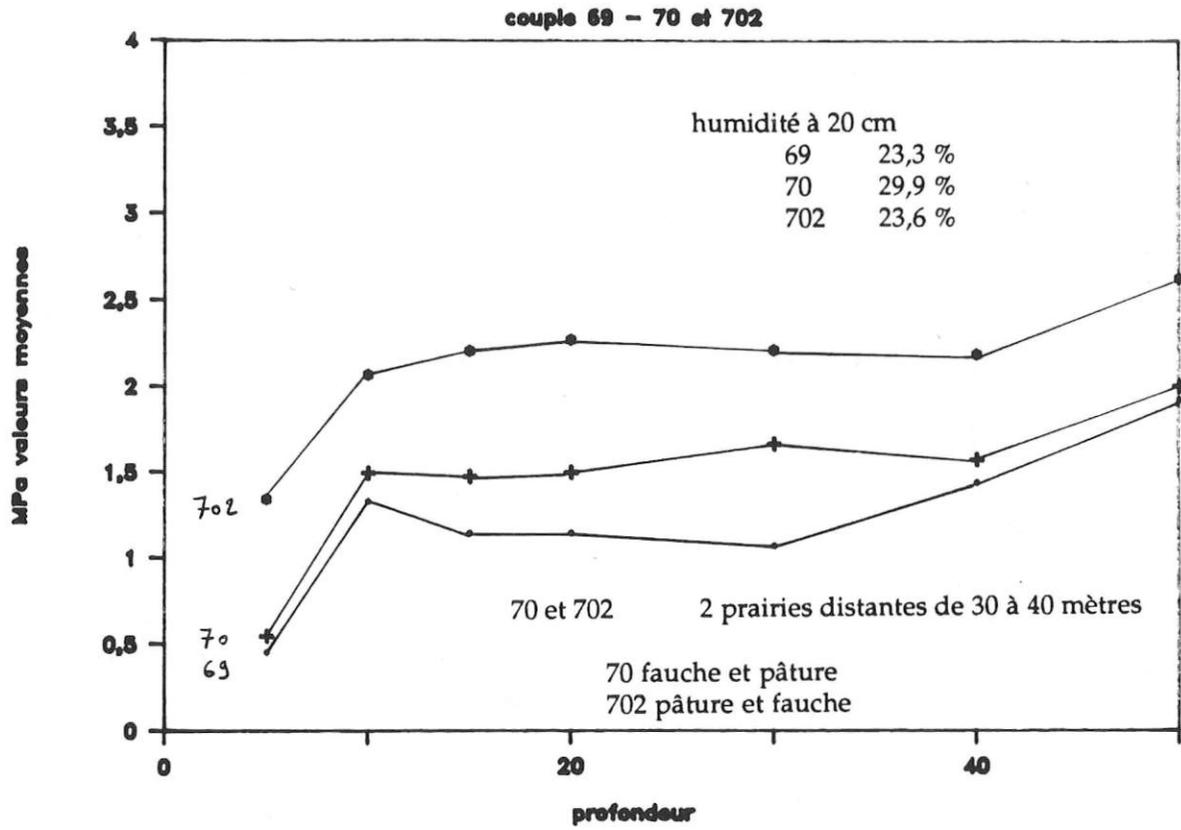
graphiques 25 et 26



• et + 2 séries de 8 répétitions sous forêt, espacées d'une vingtaine de mètres

x prairie

graphiques 27 et 28



Conclusion

- Sur texture riche en argile (A, AL, ALSa)
 - ◊ sous forêt, les valeurs de résistance sont relativement fortes de 0,5 à 1,5 MPa, du fait de la cohésion des agrégats (cf distribution de la classe texturale argileuse entre 1 et 1,5 MPa),
 - ◊ sur prairie, à texture et humidité comparables, les valeurs de résistance sont peu modifiées,
 - > faible sensibilité au tassement.

- Sur textures LA, LASa
 - ◊ sous forêt, les valeurs de résistance sont comparables à celles des textures argileuses, mais elles tendent à diminuer quand la teneur en sable augmente, ce qui accroît la macro-porosité et diminue la cohésion,
 - ◊ sur prairie, on observe au contraire un compactage net des horizons superficiels jusqu'à des valeurs de 2 à 3 MPa, pouvant constituer un obstacle au développement racinaire,
 - > sensibilité au tassement.

- Sur texture Sa
 - ◊ sous forêt sont enregistrées les valeurs de résistance les plus faibles (structure particulière),
 - ◊ sur prairie, les horizons superficiels sont nettement compactés, mais les valeurs atteintes sont comparables à celles enregistrées sur texture LA, LASa malgré une humidité plus faible (2 à 3 MPa - valeur limite de pénétration de l'appareil),
 - > sensibilité au tassement.

5- BILAN GENERAL

51- Résultats par rapport à l'objectif initial

Les conclusions principales de cette étude sont les suivantes :

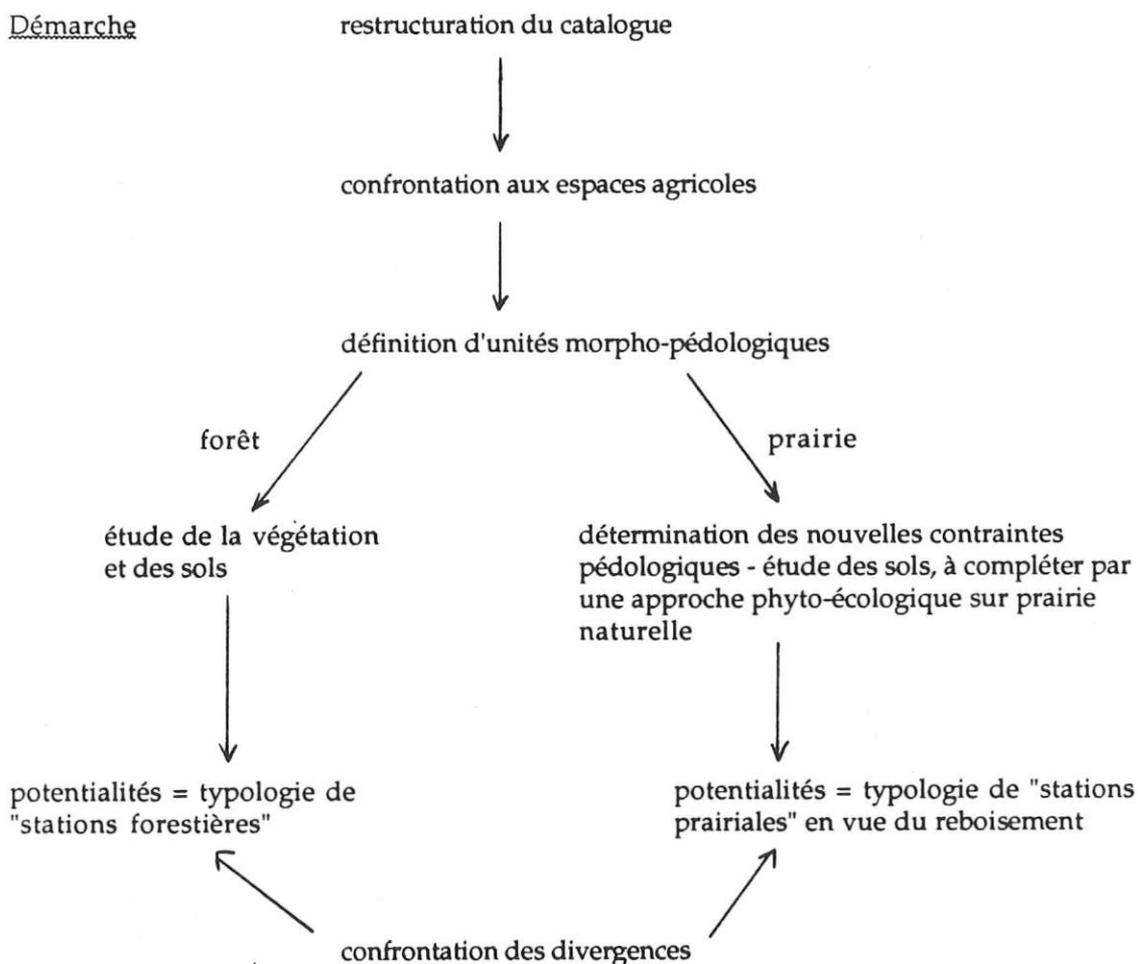
On ne peut donner une réponse simple à la question posée initialement, à savoir comment lier la typologie réalisée en milieu forestier aux terrains agricoles ?. Les couples homologues étudiés n'ont pas les mêmes potentialités. Les caractéristiques principales de profondeur et de texture des sols sont le plus souvent modifiées, et si la classe texturale est la même, le niveau trophique est dans tous les cas différent.

----> Il est difficilement possible de raccrocher les placettes situées sur prairie aux types de stations définis dans le catalogue.

Par contre ce travail illustre l'intérêt d'une approche intégrant l'étude des roches, des matériaux, des sols et de la topographie pour structurer et formaliser un découpage morpho-pédologique de l'espace forestier et agricole.

----> Quelle que soit l'utilisation du territoire, les relations roches-matériaux-(sols)-topographie restent les mêmes.

Ce découpage existe déjà dans un catalogue de stations forestières. Il "suffit" de l'affiner, de l'organiser et de l'étendre aux espaces agricoles.



La confrontation des divergences permet de dégager des tendances générales. Ainsi, sur terrains agricoles par rapport aux "homologues" forestiers, les résultats sont les suivants :

◇ le niveau trophique est relevé à la suite de l'utilisation agricole (fertilisation, amendement),

◇ sur les sols les plus argileux, les nouvelles contraintes sont liées à l'érosion (aminçissement des sols et accentuation de l'hydromorphie), alors que la structure des sols est peu altérée par le passage des engins ou par le pâturage,

◇ sur les sols limoneux et les sols sableux, la contrainte essentielle est liée aux modifications de structure des sols (compactage), tandis que l'érosion est plus ou moins forte en fonction des conditions topographiques et de l'histoire culturale, et l'hydromorphie est variable.

52- Modalités de reboisement sur terrains agricoles

L'étude de ces contraintes pédologiques amène d'une part à définir les surfaces à reboiser, et d'autre part à proposer des essences de reboisement possibles.

521- Choix des surfaces à replanter dans le cadre de la déprise agricole

Un travail bibliographique réalisé en fin d'année 1989 sur l'agriculture et la forêt dans la CEE, [63], réunissait quelques réflexions sur ce sujet.

Il y est exposé qu'en aucun cas, le reboisement ne doit apparaître comme une alternative proposée aux agriculteurs dans le cadre d'un ensemble de mesures à caractère conjoncturel, visant à réduire la production agricole. Au contraire, il est impératif de prendre en compte les potentialités -définies par les contraintes- et les particularités régionales.

Le reboisement implique au niveau socio-économique que soient prévues et engagées les mesures d'accompagnement indispensable en matière d'organisation foncière, technique et commerciale des producteurs au regard des débouchés et, bien entendu, aussi en matière de développement industriel.

Au niveau environnemental, il doit être conduit avec beaucoup de précaution et de prudence pour éviter les conséquences néfastes de mitage et de compétitivité avec les exploitations agricoles elles-mêmes (effets de voisinage des parcelles boisées sur les cultures...).

Il convient donc de **choisir des terres suffisamment productives et de reboiser en lisière de forêt**, afin non seulement de bénéficier d'une ambiance forestière, mais aussi de réaliser des unités de gestion de taille suffisante.

Mais un deuxième aspect doit être pris en compte. Les terrains agricoles les plus sensibles à l'érosion sont également à reboiser en priorité. Ainsi en fonction des conditions topographiques et de la nature des matériaux, des phénomènes d'érosion, de ruissellement, de glissement... ont été observés. Ces phénomènes restent relativement mineurs dans le Bassigny, Amance-Apance, ils sont très importants en zones montagneuses.

Ce qui amène à distinguer 2 catégories de reboisements :

◇ des reboisements de production sur des terrains productifs avec des essences économiquement intéressantes (feuillus précieux) en lisière de forêt,

◇ des reboisement de "protection" et de production, par exemple sur les sommets de buttes, les pentes argilo-marneuses.

Tableaux 23 (a..g) - Relations roche-matériau-sols : les variables

Tab 23 a

Roches
Argiles et marnes
Marno-calcaires, Calcaires, Dolomie
Calcaire gréseux
Grès

Tab 23 b

Caractéristiques topographiques	
Position topographique	Exposition
Plateau	Nord (NO-NE)
Haut de versant	Est (NE-SE)
Mi-versant	Sud (SE-SO)
Bas de versant	Ouest (SO-NO)

Tab 23 d

Epaisseur des matériaux
nulle
épaisseur < 20-40 cm
épaisseur < 50-70 cm
épaisseur < 100 cm
épaisseur > 100 cm
variable

Tab 23 g

Compacité / sensibilité au tassement	texture
faible	A/AL
moyenne	A riche en L et S
forte	S/L

Tab 23 c

Texture des matériaux	
Allirites en place	Dépôts / Matériaux remaniés
Argile évoluée	1- formations de pente
A/AL de décarbonatation	<ul style="list-style-type: none"> ∅ éboulis de gravité ∅ dépôts de solifluxion ∅ colluvions
LAS de décarbonatation	2- plateau
S/SA/AS	<ul style="list-style-type: none"> ∅ limons épais

A : argile
L : limon
S : sable

Tab 23 f

Types de sol (selon la classification de Duchaufour)	
Sols peu évolués colluviaux	
sols calci-magnésiques	<ul style="list-style-type: none"> ∅ rendzine ∅ sol brun calcaire ∅ sol brun à pellicules calcaires ∅ sol brun calcaire
sols brunifiés	<ul style="list-style-type: none"> ∅ sol brun eutrophe ∅ sol brun mésotrophe ∅ sol brun lessivé ∅ sol lessivé ∅ sol lessivé acide ∅ sol brun acide ∅ sol brun ocreux
sols podzolisés	<ul style="list-style-type: none"> ∅ sol ocre podzologique ∅ podzol
sols hydromorphes sur matériaux argileux	<ul style="list-style-type: none"> ∅ pélosol calcaire ∅ pélosol verticale, faiblement hydromorphe ∅ pélosol ∅ pélosol-pseudogley, très hydromorphe

Tab 23 e

Hydromorphie
Gley < 50 cm
[marmorisation dès la surface]pseudogley vers 30 cm
[marmorisation vers 30 cm]pseudogley vers 50/60 cm
[hydromorphie de profondeur]pseudogley vers 80 cm
non hydromorphe

522- Perspectives : essences de reboisement à préconiser en fonction des unités morpho-pédologiques

Sur chaque unité morpho-pédologique, l'étude de la profondeur, de la texture et de l'intensité de l'hydromorphie des sols permet d'évaluer la réserve utile, un intervalle de fertilité et les conditions de développement racinaire (compactage, conditions asphyxiantes). En fonction de l'autécologie des essences peuvent être alors élaborées des solutions de reboisement.

La série de tableaux 23 (a.g), inspirée par la démarche de Franc, 1989, dans "Le Massif Central Cristallin - Analyse du milieu - Choix des essences", [33], récapitule les variables déterminantes dans les régions étudiées (*conditions pédoclimatiques spécifiques*).

Note : - la réserve utile peut être appréciée en fonction de :

- ◇ la teneur en cailloux
- ◇ la texture
- ◇ l'épaisseur du matériau
- ◇ la position topographique (conditions de drainage).
- la compacité découle de :
 - ◇ la texture
 - ◇ l'hydromorphie.
- le développement du système racinaire est conditionné par :
 - ◇ l'épaisseur du sol
 - ◇ sa compacité
 - ◇ la profondeur de l'hydromorphie.
- le niveau trophique peut être estimé par :
 - ◇ la nature de la roche-mère
 - ◇ la nature du matériau
 - ◇ l'épaisseur du matériau
 - ◇ la charge en éléments grossiers calcaires
 - ◇ l'étude de la flore.

Selon cette logique, une clef de reconnaissance des unités et d'essences de reboisement possibles sera élaborée avec l'aide de M.RAMEAU dans le cadre de la partie appliquée de ce travail : proposition d'essences de reboisement (feuillus précieux) sur terrains agricoles et techniques de plantations.

53- Points à compléter - Suites à donner

531- En matière d'études des relations roches-matériaux-sols

- ◇ Extension et validation de l'approche aux régions couvertes par le catalogue
 - > élargissement de l'échantillonnage
- ◇ Etude de détail des unités morpho-pédologiques
 - > variations de pente, contrastes d'exposition, dynamique de l'eau... lien avec un changement éventuel de nature de matériau,
 - > évaluation de certaines valeurs seuils (ex : valeur minimale de la pente pour laquelle s'observe une solifluxion, un glissement de terrain...), teneurs en éléments texturaux type argile, ou en éléments chimiques, Fe ou Al par exemple.
- ◇ Approche historique de l'utilisation des sols afin de resituer les périodes d'érosion au moment des mises en culture
- ◇ Extension et origine des limons épais
 - > morphoscopie des grains de quartz, étude des minéraux lourds.

532- En matière d'étude du compactage des sols prairiaux

- ◇ Relations entre le mode d'exploitation de la prairie (utilisation pâture/fauche, pression de pâturage), le type de sols et l'importance du compactage
- ◇ Etude de la résistance à la pénétration dans une gamme d'humidité large (travailler à différentes périodes de l'année), et pour un échantillonnage représentatif de texture
- ◇ Détermination de valeurs seuils de pénétration pour lesquelles se poseraient des problèmes de développement racinaire.

533- En matière de potentialités forestières des prairies

- ◇ Evaluation de la réserve utile à partir de la profondeur, de la texture et de la charge en éléments grossiers du sol
- ◇ Evaluation du niveau trophique à partir de la nature de la roche-mère, de la nature et de la profondeur du matériau, de la charge en éléments grossiers calcaire, et à partir d'une approche phytoécologique sur prairies naturelles :
 - utilisation de plantes indicatrices de tassement, de l'intensité de l'hydromorphie, du niveau trophique... des horizons superficiels,
 - interférence avec le mode d'exploitation, un abrutissement préférentiel, la fertilisation...
- ◇ Etablissement d'une typologie des stations prairiales en vue de reboisement.

ANNEXE 1 : SONDAGES

4 DAMP 11 : Dampierre (Champ Roue) sur argiles et marnes du Toarcien

profondeur (en m)	description géologique et géotechnique
de 0 à 1,40	Limon ocre argileux, moyennement consistant avec passages de nodules (mm à cm) de calcaires sableux et ferrugineux ; traces noires ferromagnésiennes.
de 1,40 à 1,60	Argile barriolée grise et ocre moyennement consistante.
de 1,60 à 2,20	Limon ocre argileux, consistant avec nodules et blocailles de calcaires roux sableux (cm à dm) ; traces de gypse pulvérulent à la base (passage progressif).
de 2,20 à 2,60	Argile grise, moyennement consistante à consistante avec passages irréguliers d'argile ocre, présence de gypse pulvérulent blanchâtre.
de 2,60 à 4,00	Argile grise, consistante, avec rares passages d'altération ocre, présence de zones gypseuses peu nombreuses.
de 4,00 à 6,40	Argile grise marneuse avec rares passages de gypse pulvérulent et zones d'altération gris clair. L'ensemble est de plus en plus consistant vers la base.
de 6,40 à 8,80	Marne grise à gris foncé, raide, présentant un litage horizontal irrégulier.
plus de 8,80	Marne grise à gris foncé, très raide, présentant un litage de plus en plus marqué vers la base.

4 FREC 3 : Frécourt (Mont Chatoy, plateau) sur Calcaires Gréseux

profondeur (en m)	description géologique et géotechnique
de 0 à 0,2	Terre végétale
de 0,2 à 0,4	Limon brun
de 0,4 à 1 m	Argile brun jaune avec éboulis gréseux décimétriques
de 1 à 4,1	Grès jaune rouille calcaire très fracturé
de 4,1 à 6,6	Grès jaune rouille avec passées grises
de 6,6 à 10,3	Grès rouille avec alternance de bancs plus calcaires gris très fossilifères (petits Lamellibranches + rostrés de Bélemnites), présence d'Entroques.
de 10,3 à 10,6	Grès argileux micacé, rouille, triable
de 10,6 à 10,9	Banc de calcaire à Entroques
de 10,9 à 11,4	Grès marno-calcaire gris noir micacé à Entroques
de 11,4 à 12,5	Grès altéré très fracturé et désagrégé
de 12,5 à 15,5	Marne gris noir gréseuse à Entroques et rostrés de Bélemnites

4 PROV 4 : Provençères sur Meuse (Dampfal, vallon)
sur Calcaires à Gryphées, Argiles et grès Rhétien

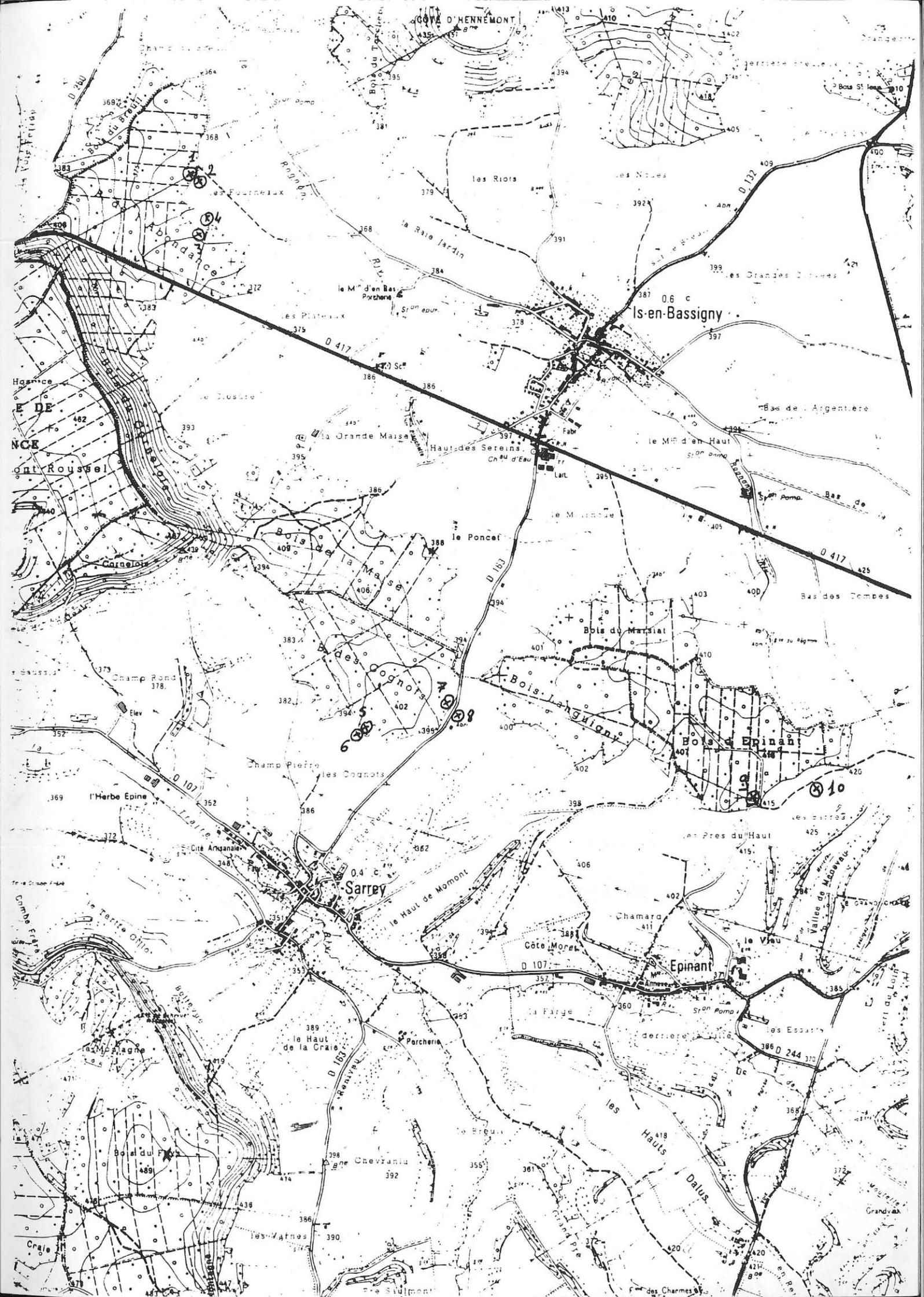
profondeur (en m)	description géologique et géotechnique
de 0 à 0,2	Terre végétale
de 0,2 à 3,6	Limon argileux brun humide avec pigmentation ferrugineuse rouille
de 3,6 à 5	Argile bleu vert finement sableuse assez consistante et grumeleuse (Argiles de Levallois)
de 5 à 5,4	Calcaire gréseux gris à grain fin très fracturé
de 5,4 à 6,8	Argile marneuse noire feuilletée à litage horizontal, très grumeleuse : se désagrège facilement
de 6,8 à 9,6	Grès gris blanc fin fracturé horizontal avec enduit d'argile très noire dans les fractures
de 9,6 à 11,6	Marne noire micacée à litage horizontal avec intercalations de niveau gréseux (mm)
de 11,6 à 13,2	Grès fin gris noir rubéfié par des niveaux marneux noir A 12,6 m passée humide sur 5 cm avec marne grumeleuse noire
de 13,2 à 14,8	Grès gris vert à grains visibles, très dur
de 14,8 à 15,2	Grès gris vert rubéfié avec intercalations de grès noir

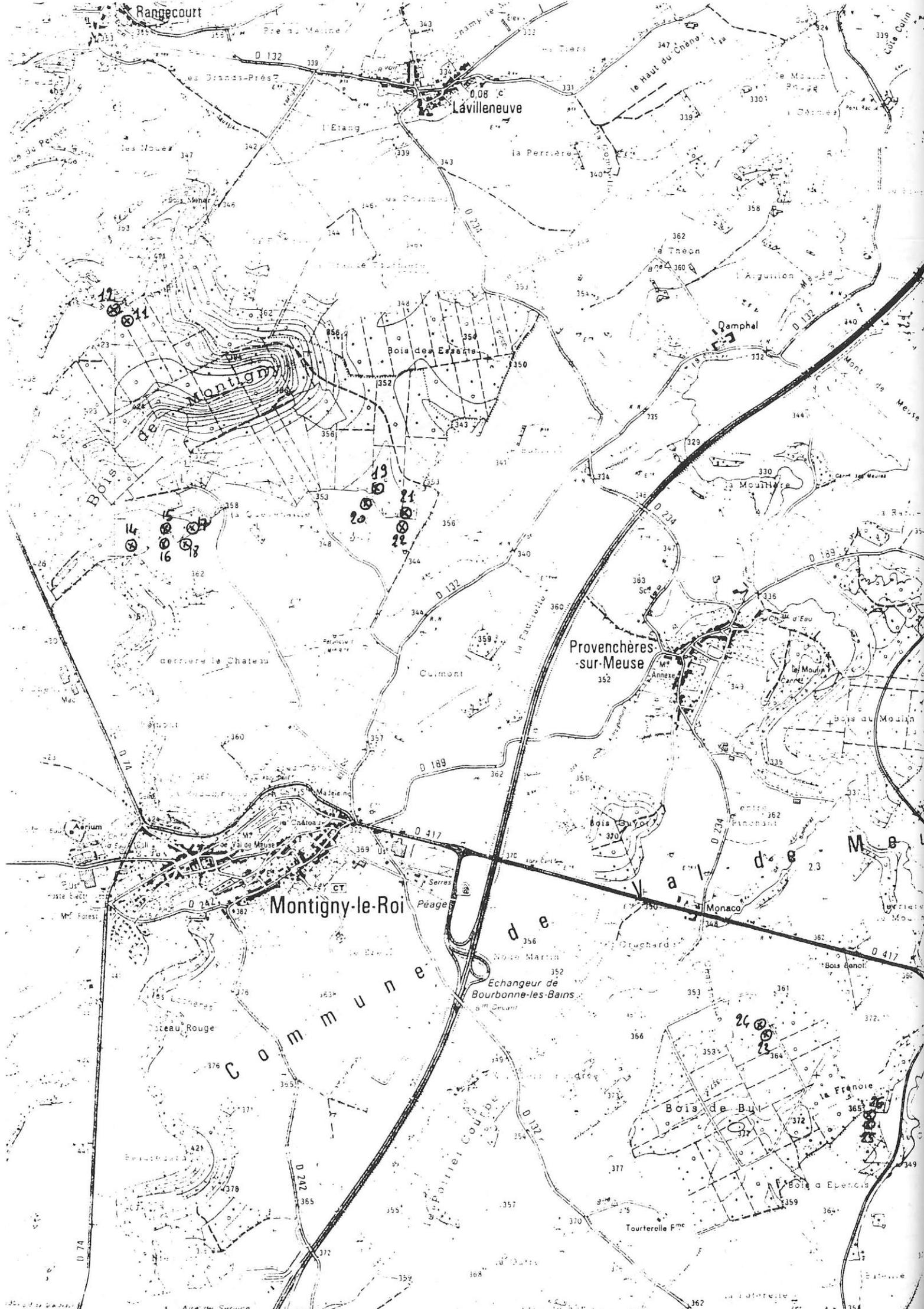
4 PROV 5 : Provençères sur Meuse (Dampfal, plateau)
sur Calcaires à Gryphées / Argiles de Levallois et "grès Rhétien"

profondeur (en m)	description géologique et géotechnique
de 0,20 à 0,50	Limon jaune avec quelques pigmentations noires et ocre.
de 0,50 à 0,90	Limon argileux brun. Nombreuses concrétions ferrugineuses rouilles noires - humide.
de 0,90 à 1,60	Limon argileux jaune bariolé de beige et d'ocre quelques concrétions ferrugineuses rouilles à noires assez humide.
de 1,60 à 2,20	Limon argileux brun bariolé de beige et d'ocre très mou et très humide. Nombreuses concrétions ferrugineuses pulvérulentes.
de 2,20 à 3,40	Limon brun très humide sans consistance (boueux) renfermant des concrétions ferrugineuses rouilles.
de 3,40 à 5,40	Calcaire noir dur à grain fin avec nombreux fossiles recristallisés en calcite. Très fissuré.
de 5,40 à 6,10	Argile marneuse gris bleu grumeleuse (A. de Levallois)
de 6,10 à 10	Argile feuilletée. Litage horizontal - de 6,10 à 8 m : argile rouge feuilletée ou grumeleuse par endroit. - de 8 à 8,60 m : argile rouge désagrégée humide - de 8,60 à 9,25 m : argile rouge feuilletée sèche peu fracturée. - de 9,25 à 10 m : argile noire très raide, litage horizontal, pas de fractures.
de 10 à 20 m	Argile bleutée grisâtre, noirâtre compacte

ANNEXE 2

Extraits des cartes IGN au 1/25 000





Rangecourt

Lavilleneuve

Montigny

Provençères-sur-Meuse

Montigny-le-Roi

Commune de

Echangeur de Bourbonne-les-Bains

Bois de Bu

la Frenole

Bois de Montigny

Bois de Esbarts

Dampfal

Culmont

Bois de Bu

Bois de Moulin

derrière le Château

D 189

D 417

D 242

D 189

D 132

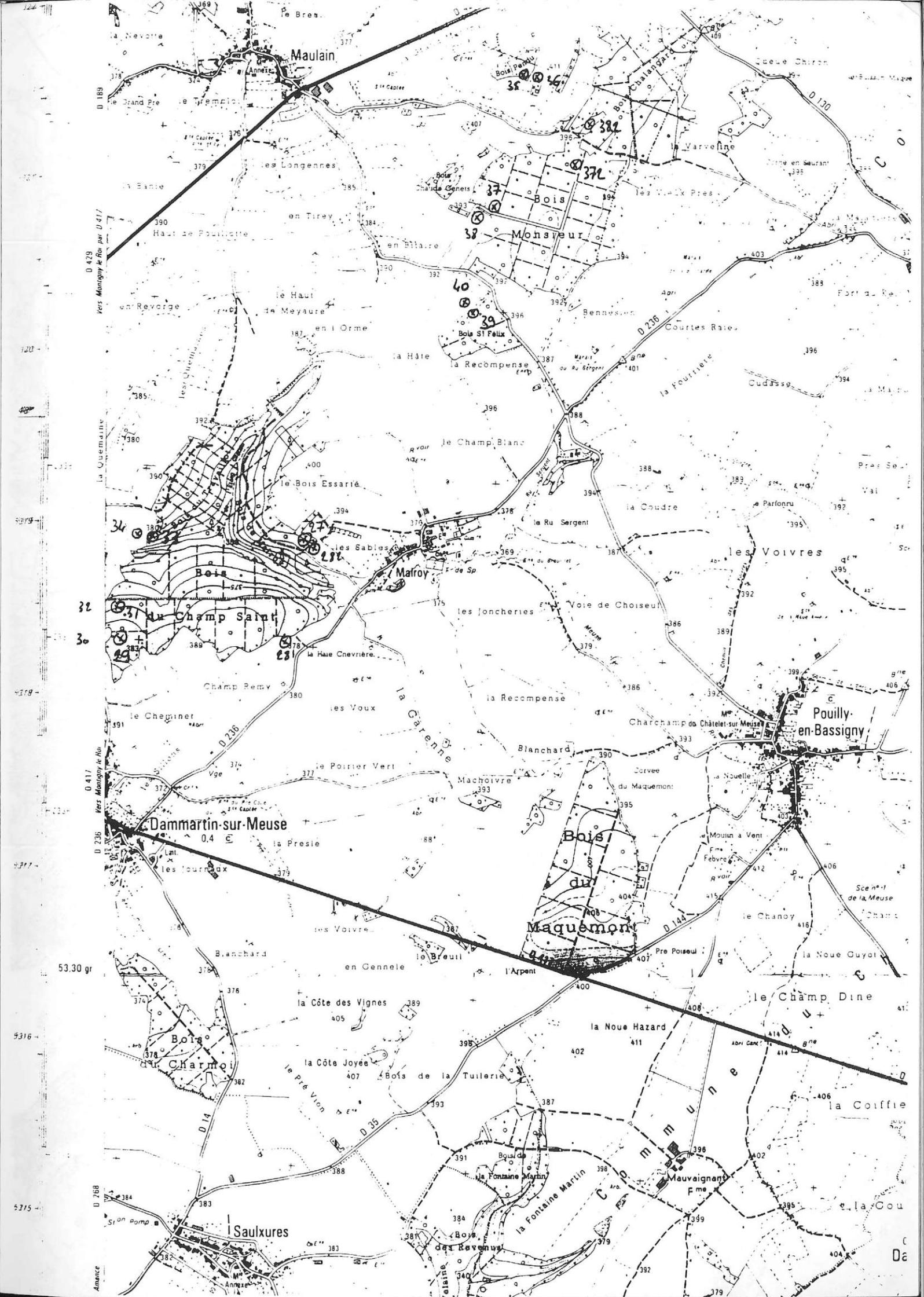
Aire de Service

11
12
13
14
15
16
17
18

19
20
21
22

23
24
25

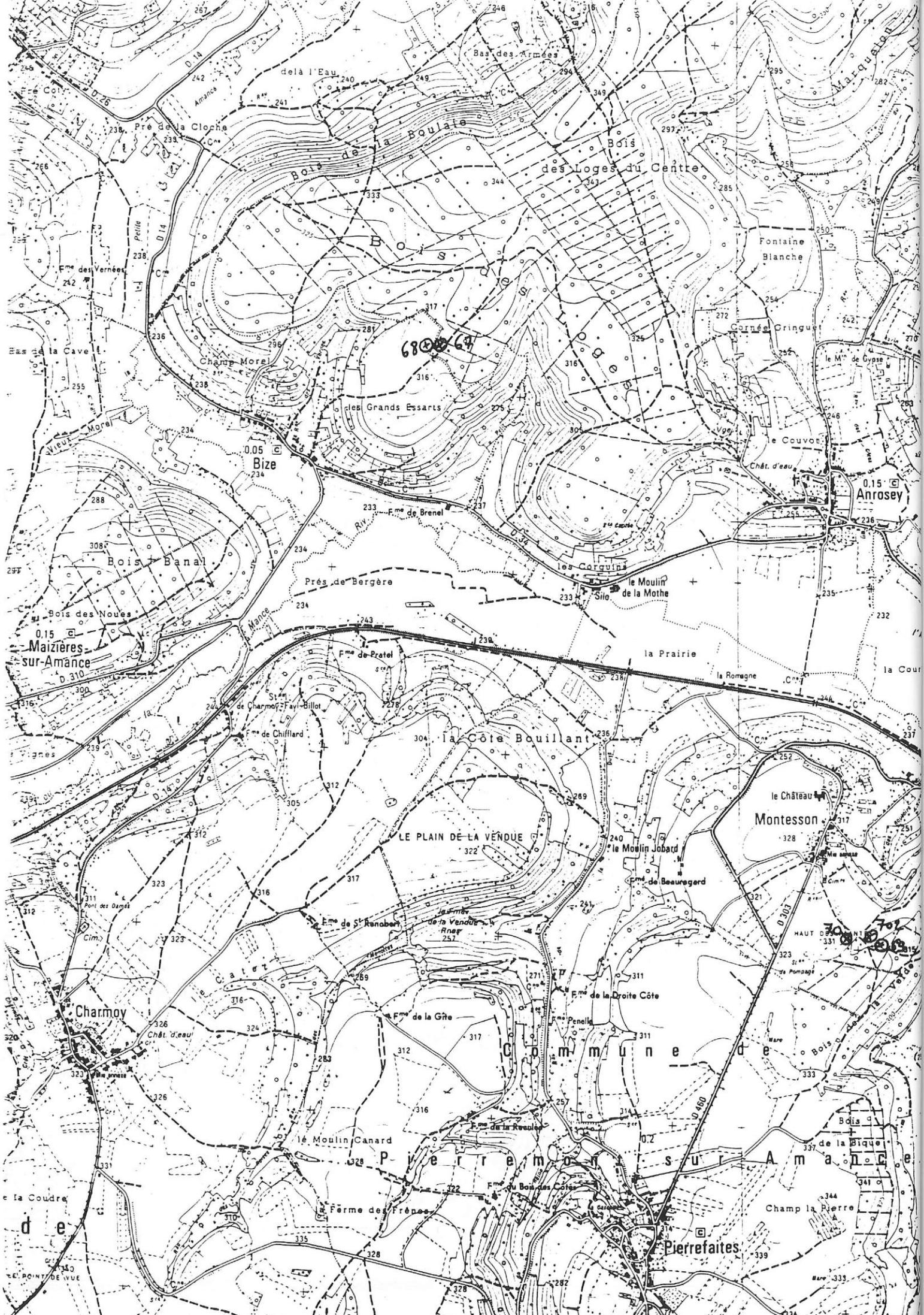
M e u s e



524
520
518
517
516
53.30 gr
5316
5275
Amance

D 189
D 429
D 417
D 236
D 417
D 236
D 144
D 14
D 35
D 768

la Nevoite
Pa Brea
Maulain
Annet
le Grand Pre
le Tremblay
les Longennes
en Tiry
en Billaire
le Haut
de Meyaur
en l'Orme
la Hâte
le Bois Essarié
le Bois du Champ Saint
Champ Remy
le Cheminier
la Presie
les Jourdax
Blanchard
en Gennele
la Côte des Vignes
la Côte Joyée
Bois de la Tuilerie
la Fontaine Martin
Bois des Revenus
Saulxures
Bois de la Recompense
le Champ Blanc
le Ru Sargent
les Joncherie
la Recompense
Blanchard
Machoirve
l'Arpent
la Fontaine Martin
Bois du Maquemont
le Chanoy
la Noue Guyot
le Champ Dine
la Coiffie
e la Cou
D 130
la Varveine
les Vaux Pres
Bennes
Courtes Rale
la Fourtiere
Cudasse
la Ma
Pres Se
Val
le Parfonru
les Voivres
Charchamp de Chatelet-sur-Meuse
la Nouvelle
le Moulin a Vent
Fme Febvre
Pre Poiseul
la Noue Hazard
la Noue Guyot
la Coiffie
e la Cou



680064

701
702
703

d e

Pierrefaites

ANNEXE 3

Résultats des analyses chimiques et granulométriques

Ref	Prof	pH eau	BASES ECHANGEABLES							S/T	Carbone Orga.	Azote Total	C/N
			K	Ca	Mg	Mn	S	T					
11	5	4,4	0,42	6,88	1,40	0,69	9,39	11,99	78,3	37,70	2,10	18,00	
12	30	4,2	0,21	1,17	0,53	0,12	2,03	4,01	50,6	14,20	1,10	12,90	
13	65	4,9	0,38	6,87	2,37	0,01	9,63	11,98	80,4	4,30	0,50	8,60	
21	5	5,4	0,47	33,92	5,91	0,27	40,57	41,27	98,3	78,40	3,70	21,20	
22	25	5,7	0,37	27,97	4,20	0,03	32,57	33,78	96,4	22,10	1,10	20,10	
23	60	5,7	0,37	28,90	2,03	0,00	31,30	31,75	98,6	13,50	1,10	12,30	
24	90	6,1	0,22	15,33	0,85	0,00	16,40	16,79	97,7	5,40	0,60	9,00	
31	5	4,4	0,65	2,05	0,98	0,15	3,83	5,03	76,1	31,10	1,70	18,30	
32	30	4,4	0,26	1,19	0,67	0,05	2,17	3,07	70,7	17,20	1,30	13,20	
33	65	5,0	0,26	2,62	1,43	0,04	4,35	5,51	78,9	6,70	0,70	9,50	
41	5	4,8	0,64	12,16	1,76	0,37	14,93	15,42	96,8	75,50	3,50	21,50	
42	30	4,9	0,30	9,65	1,14	0,08	11,17	11,69	95,6	11,80	0,80	14,80	
43	70	6,5	0,59	22,21	6,96	0,00	29,76	30,13	98,8	5,10	0,50	10,20	
51	5	4,4	0,48	3,47	1,02	0,56	5,53	6,28	88,1	24,80	1,40	17,70	
52	30	4,7	0,25	2,40	0,85	0,09	3,59	4,12	87,1	10,10	0,80	12,60	
53	65	4,9	0,37	9,81	3,33	0,00	13,51	14,76	91,5	4,40	0,50	8,80	
61	5	5,0	0,68	12,72	2,29	0,20	15,89	17,11	92,9	40,80	2,20	18,50	
62	40	5,4	0,40	14,40	3,62	0,04	18,46	19,47	94,8	3,70	0,40	9,30	
71	5	5,3	0,48	18,12	1,45	0,15	20,20	21,14	95,6	35,90	1,50	23,90	
72	35	5,8	0,30	19,05	0,63	0,01	19,99	20,90	95,6	16,90	1,00	16,90	
73	65	7,5	0,32	41,55	0,51	0,00	42,38	42,58	99,5	15,60	1,20	13,00	
81	5	6,2	0,38	20,91	0,83	0,07	22,19	22,84	97,2	33,10	1,70	19,50	
82	30	6,9	0,39	20,90	0,37	0,03	21,69	22,01	98,5	14,60	1,00	14,60	
83	70	7,2	0,33	28,16	0,46	0,00	28,95	29,25	99,0	9,90	0,90	11,00	
91	5	5,4	0,44	7,66	0,72	0,11	8,93	9,44	94,6	20,10	1,30	15,50	
92	25	5,8	0,24	9,81	0,30	0,12	10,47	10,79	97,0	14,80	1,20	12,30	
93	55	5,3	0,25	5,25	0,35	0,07	5,92	6,59	89,8	4,30	0,60	7,20	
94	110	5,2	0,39	13,83	0,81	0,09	15,12	15,91	95,0	4,00	0,60	6,70	
95	190	7,0	0,31	19,61	1,47	0,00	21,39	21,48	99,6	3,00	0,50	6,00	
101	5	5,4	0,27	5,47	0,38	0,11	6,23	6,41	97,2	11,20	0,90	12,40	
102	25	5,5	0,22	6,21	0,29	0,07	6,79	7,02	96,7	7,30	0,80	9,10	
103	60	5,7	0,33	12,54	0,63	0,08	13,58	13,79	98,5	4,20	0,60	7,00	
104	95	5,6	0,50	20,91	1,53	0,04	22,98	23,16	99,2	2,70	0,27	10,00	
105	210	6,1	0,25	11,37	0,56	0,04	12,22	12,33	99,1	4,50	0,40	11,30	
111	5	6,0	0,36	12,56	1,53	0,46	14,91	15,16	98,4	31,00	2,00	15,50	
112	35	5,3	0,27	9,09	0,71	0,45	10,52	10,83	97,1	14,40	1,40	10,30	
121	5	7,0	1,01	19,29	1,37	0,04	21,71	21,89	99,2	32,10	2,00	16,10	
122	30	7,6	0,48	22,02	0,49	0,03	23,02	23,15	99,4	11,80	1,10	10,70	
190	5	4,7	0,61	4,38	3,35	0,92	9,26	10,05	92,1	30,20	2,00	15,10	
191	20	4,8	0,36	2,49	3,34	0,25	6,44	7,10	90,7	19,40	1,50	12,90	
192	45	6,1	0,47	10,68	10,65	0,08	21,88	22,11	99,0	7,40	0,90	8,20	
193	85	7,7	0,43	28,91	20,19	0,03	49,56	49,68	99,8	6,90	0,80	8,60	
200	5	4,5	0,37	21,65	2,08	0,50	24,60	25,59	96,1	78,30	3,50	22,40	
201	20	4,6	0,34	19,05	1,62	0,15	21,16	21,88	96,7	25,30	1,40	18,10	
203	60	5,1	0,39	17,19	1,51	0,08	19,17	19,70	97,3	14,30	1,30	11,00	
210	5	5,3	0,79	15,33	2,53	0,12	18,77	19,29	97,3	38,20	2,40	15,90	
211	15	4,1	0,24	7,70	1,10	0,44	9,48	10,61	89,3	18,00	1,40	12,90	
212	45	4,6	0,28	12,35	1,31	0,25	14,19	15,26	93,0	11,50	1,00	11,50	
213	80	5,0	0,37	29,65	1,83	0,01	31,86	32,33	98,5	6,10	0,60	10,20	
220	5	5,2	0,28	8,82	0,85	0,31	10,26	11,31	90,7	29,90	2,00	15,00	
221	20	5,0	0,16	7,33	0,31	0,21	8,01	9,08	88,2	10,70	0,90	11,90	
222	45	5,6	0,23	10,12	0,94	0,04	11,33	11,81	95,9	6,40	0,60	10,70	
223	80	6,0	0,44	16,82	1,83	0,05	19,14	19,52	98,1	2,90	0,40	7,30	

Ref	Prof	pH eau	BASES ECHANGEABLES							Carbone	Azote	C/N
			K	Ca	Mg	Mn	S	T	S/T	Orga.	Total	
231	5	5,1	0,59	19,23	2,12	0,60	22,54	22,78	98,9	40,60	2,10	19,30
241	5	7,3	1,63	29,46	1,24	0,03	32,36	32,40	99,9	29,60	2,00	14,80
331	5	4,1	0,29	1,29	0,31	0,39	2,28	2,75	82,9	15,70	1,10	14,30
332	35	3,9	0,13	0,57	0,21	0,15	1,06	1,78	59,6	7,00	0,90	7,80
341	5	4,4	0,34	2,00	0,53	0,44	3,31	3,83	86,4	21,00	1,30	16,20
342	35	4,3	0,23	2,37	0,51	0,13	3,24	3,72	87,1	5,00	0,50	10,00
351	5	6,0	0,85	23,14	2,08	0,11	26,18	26,73	97,9	41,10	2,00	20,60
352	20	5,6	0,33	19,98	1,01	0,08	21,40	22,19	96,4	18,50	1,10	16,80
353	40	6,3	0,53	27,42	0,94	0,03	28,92	29,23	98,9	7,10	0,80	8,90
354	80	7,8	0,28	26,11	0,83	0,01	27,23	27,37	99,5	4,60	0,60	7,70
361	5	5,7	0,43	22,21	2,13	0,19	24,96	25,52	97,8	39,30	2,30	17,10
362	40	7,6	0,37	31,51	0,62	0,01	32,51	32,66	99,5	6,00	0,50	12,00
363	75	7,6	0,34	23,14	0,78	0,03	24,29	24,47	99,3	5,00	0,50	10,00
371	5	4,7	0,45	2,37	0,85	0,43	4,10	5,83	70,3	25,30	1,60	15,80
372	20	4,3	0,17	0,37	0,33	0,09	0,96	2,22	43,2	14,30	1,10	13,00
373	60	4,4	0,21	2,10	1,99	0,07	4,37	5,35	81,7	3,90	0,40	9,80
374	100	4,7	0,54	8,63	7,38	0,05	16,60	18,23	91,1	3,20	0,40	8,00
381	5	5,2	0,40	5,88	2,31	0,41	9,00	9,89	91,0	25,60	1,80	14,20
382	40	4,8	0,34	3,96	3,17	0,23	7,70	8,93	86,2	6,30	0,50	12,60
383	70	6,2	0,51	11,79	16,49	0,03	28,82	30,06	95,9	5,30	0,60	8,80
431	5	4,2	0,18	0,40	0,24	0,19	1,01	2,67	37,8	28,00	1,60	17,50
432	25	3,9	0,09	0,11	0,08	0,04	0,32	0,77	41,6	20,20	1,20	16,80
433	60	4,2	0,12	0,16	0,23	0,02	0,53	0,96	55,2	6,00	0,60	10,00
441	5	5,4	0,32	7,68	2,53	0,25	10,78	11,29	95,5	40,00	2,00	20,00
442	20	5,3	0,17	4,80	2,14	0,19	7,30	7,87	92,8	19,20	1,20	16,00
443	45	4,4	0,17	3,04	1,73	0,16	5,10	5,40	94,4	11,00	1,10	10,00
511	5	4,4	0,17	1,36	0,37	0,16	2,06	2,43	84,8	21,20	1,50	14,10
512	25	4,2	0,09	0,17	0,07	0,05	0,38	0,53	71,7	7,20	0,90	8,00
513	50	4,2	0,09	0,17	0,11	0,05	0,42	0,54	77,8	6,10	0,80	7,60
514	85	5,0	0,28	4,27	3,08	0,08	7,71	8,31	92,8	2,70	0,40	6,80
521	5	5,2	0,20	5,15	1,91	0,16	7,42	7,77	95,5	24,00	1,40	17,10
522	30	5,4	0,12	1,63	0,65	0,08	2,48	2,79	88,9	4,10	0,40	10,30
523	80	6,7	0,56	15,65	11,84	0,02	28,07	28,27	99,3	4,00	0,50	8,00
571	5	4,1	0,17	0,33	0,16	1,12	1,78	2,28	78,1	29,20	1,90	15,40
572	20	4,0	0,11	0,09	0,07	0,41	0,68	1,29	52,7	15,40	1,20	12,80
573	40	3,9	0,09	0,13	0,06	0,16	0,44	1,09	40,4	5,20	0,60	8,70
574	65	3,8	0,11	0,13	0,24	0,12	0,60	1,05	57,1	1,30	0,16	8,10
575	100	3,9	0,27	0,71	1,85	0,16	2,99	3,61	82,8	1,10	0,15	7,30
581	5	5,1	0,40	1,97	0,58	0,23	3,18	3,73	85,3	10,40	0,90	11,60
582	25	5,4	0,18	2,77	0,56	0,22	3,73	4,15	89,9	8,50	0,90	9,40
583	50	5,8	0,17	2,31	0,54	0,05	3,07	3,39	90,6	2,60	0,30	8,70
584	80	5,8	0,17	1,32	0,42	0,08	1,99	2,48	80,2	0,10	0,02	5,00
621	5	6,2	0,22	4,80	1,89	0,13	7,04	7,31	96,3	18,80	1,50	12,50
622	30	5,8	0,12	2,32	0,90	0,08	3,42	3,83	89,3	3,20	0,30	10,70
623	60	5,9	0,17	3,42	1,76	0,11	5,46	5,79	94,3	1,20	0,20	6,00
631	5	3,6	0,36	0,86	0,56	0,30	2,08	2,91	71,5	46,40	2,30	20,20
632	20	4,1	0,20	0,79	0,58	0,46	2,03	2,88	70,5	16,50	1,60	10,30
633	45	4,1	0,21	0,82	0,81	0,41	2,25	2,76	81,5	5,30	0,60	8,80
634	85	4,6	0,33	4,69	3,27	0,19	8,48	8,71	97,4	1,60	0,20	8,00
641	5	5,2	0,20	3,84	0,87	0,76	5,67	6,33	89,6	27,50	1,60	17,20
642	25	5,0	0,15	2,93	0,69	0,19	3,96	4,65	85,2	6,40	0,50	12,80
643	45	4,7	0,22	4,80	2,69	0,22	7,93	9,03	87,8	1,80	0,20	9,00
651	5	6,2	0,62	10,70	5,58	0,38	17,28	17,73	97,5	44,50	2,20	20,20

BASES ECHANGEABLES

Ref	Prof	pH eau	BASES ECHANGEABLES							S/T	Carbone	Azote	C/N
			K	Ca	Mg	Mn	S	T	Orga.		Total		
652	20	6,1	0,36	6,48	4,94	0,16	11,94	12,60	94,8	8,30	0,80	10,40	
653	45	7,2	0,61	19,63	11,09	0,02	31,35	31,65	99,1	4,30	0,50	8,60	
661	5	7,1	0,64	19,41	6,68	0,05	26,78	26,98	99,3	54,80	2,60	21,10	
662	30	7,6	0,40	20,01	5,04	0,00	25,45	25,57	99,5	6,70	0,70	9,60	
663	60	7,8	0,37	21,52	4,43	0,05	26,37	26,46	99,7	2,30	0,30	7,70	
671	5	4,6	0,39	1,17	0,53	1,67	3,76	5,09	73,9	36,10	2,00	18,10	
672	20	4,4	0,21	0,56	0,30	0,76	1,83	3,24	56,5	19,20	1,20	16,00	
673	35	4,1	0,11	0,29	0,20	0,41	1,01	2,46	41,1	7,70	0,90	8,60	
674	75	4,6	0,15	0,59	1,09	0,27	2,10	3,15	66,7	1,00	0,14	7,10	
675	135	4,6	0,21	3,31	1,57	0,35	5,44	6,02	90,4	1,00	0,15	6,70	
681	5	5,8	0,62	5,37	2,13	0,60	8,72	9,11	95,7	35,40	1,90	18,60	
682	25	5,4	0,17	3,73	1,23	0,29	5,42	5,73	94,6	12,00	0,90	13,30	
683	65	5,3	0,22	5,83	3,18	0,37	9,60	10,08	95,2	3,90	0,40	9,80	
684	110	4,6	0,21	3,38	1,54	0,42	5,55	5,93	93,6	1,10	0,17	6,50	

Ref	Prof	GRANULOMETRIE					ARG
		SG	SF	LG	LF		
11	5	29	40	247	336	348	
12	30	39	47	228	363	323	
13	65	19	50	148	307	476	
21	5	11	10	151	208	620	
22	25	4	17	121	139	719	
23	60	2	20	30	169	779	
24	90	40	101	54	86	719	
31	5	42	53	231	304	370	
32	30	43	62	208	338	349	
33	65	54	56	153	256	481	
41	5	24	46	147	288	495	
42	30	57	42	129	263	509	
43	70	25	75	78	334	488	
51	5	15	59	204	286	436	
52	30	13	59	113	275	540	
53	65	8	21	83	159	729	
61	5	15	37	77	278	593	
62	40	16	34	86	261	603	
71	5	296	69	117	203	315	
72	35	234	84	164	246	272	
73	65	19	50	85	597	249	
81	5	123	128	167	274	308	
82	30	115	117	94	282	392	
83	70	47	153	66	114	620	
91	5	160	249	98	68	425	
92	25	53	166	155	387	239	
93	55	99	199	65	148	489	
94	110	42	161	118	321	358	
95	190	131	438	11	52	368	
101	5	53	111	92	169	575	
102	25	67	173	91	107	562	
103	60	113	332	40	160	355	
104	95	52	206	82	103	557	
105	210	166	264	18	214	338	
111	5	58	493	34	345	69	
112	35	37	420	45	246	252	
121	5	65	417	77	177	265	
122	30	72	399	87	133	308	
190	5	95	76	69	86	674	
191	20	33	70	96	413	388	
192	45	77	64	39	244	576	
193	85	24	36	8	405	528	
200	5	80	36	82	444	358	
201	20	20	38	77	323	542	
203	60	28	53	86	137	696	
210	5	42	39	107	337	475	
211	15	39	44	54	206	657	
212	45	54	104	39	194	609	
213	80	16	19	16	424	525	
220	5	65	44	157	426	308	
221	20	157	93	102	350	299	
222	45	119	85	40	161	595	
223	80	76	85	48	158	633	

Ref	Prof	GRANULOMETRIE					ARG
		SG	SF	LG	LF		
231	5	162	37	194	258	349	
241	5	183	150	122	328	217	
331	5	109	513	105	115	157	
332	35	79	591	51	138	141	
341	5	73	548	58	167	154	
342	35	54	517	90	137	202	
351	5	245	70	101	190	393	
352	20	282	74	165	130	350	
353	40	183	135	51	116	515	
354	80	35	83	97	114	671	
361	5	50	94	125	288	443	
362	40	22	97	91	262	528	
363	75	9	70	94	158	669	
371	5	38	43	262	181	476	
372	20	41	41	401	356	162	
373	60	54	52	274	396	225	
374	100	2	9	80	325	583	
381	5	58	46	275	409	212	
382	40	176	58	28	365	373	
383	70	27	28	54	106	785	
431	5	187	447	61	119	186	
432	25	164	406	97	195	138	
433	60	191	355	96	145	213	
441	5	71	117	199	361	252	
442	20	82	114	198	337	269	
443	45	239	279	14	111	357	
511	5	110	775	27	27	60	
512	25	90	783	61	8	58	
513	50	86	778	44	24	69	
514	85	107	517	42	49	284	
521	5	173	600	89	18	120	
522	30	286	553	64	19	77	
523	80	149	193	84	74	500	
571	5	313	387	91	75	134	
572	20	260	357	118	151	114	
573	40	254	410	54	123	158	
574	65	247	322	93	185	153	
575	100	162	250	85	241	262	
581	5	344	486	23	80	66	
582	25	344	504	31	65	56	
583	50	463	407	34	50	47	
584	80	467	463	8	19	43	
621	5	131	584	82	108	96	
622	30	121	626	70	77	106	
623	60	141	484	76	122	177	
631	5	160	226	127	262	225	
632	20	146	230	134	280	210	
633	45	180	182	122	305	211	
634	85	136	334	99	203	228	
641	5	173	241	110	318	158	
642	25	169	315	81	276	159	
643	45	157	289	91	225	238	
651	5	18	38	106	510	328	

GRANULOMETRIE

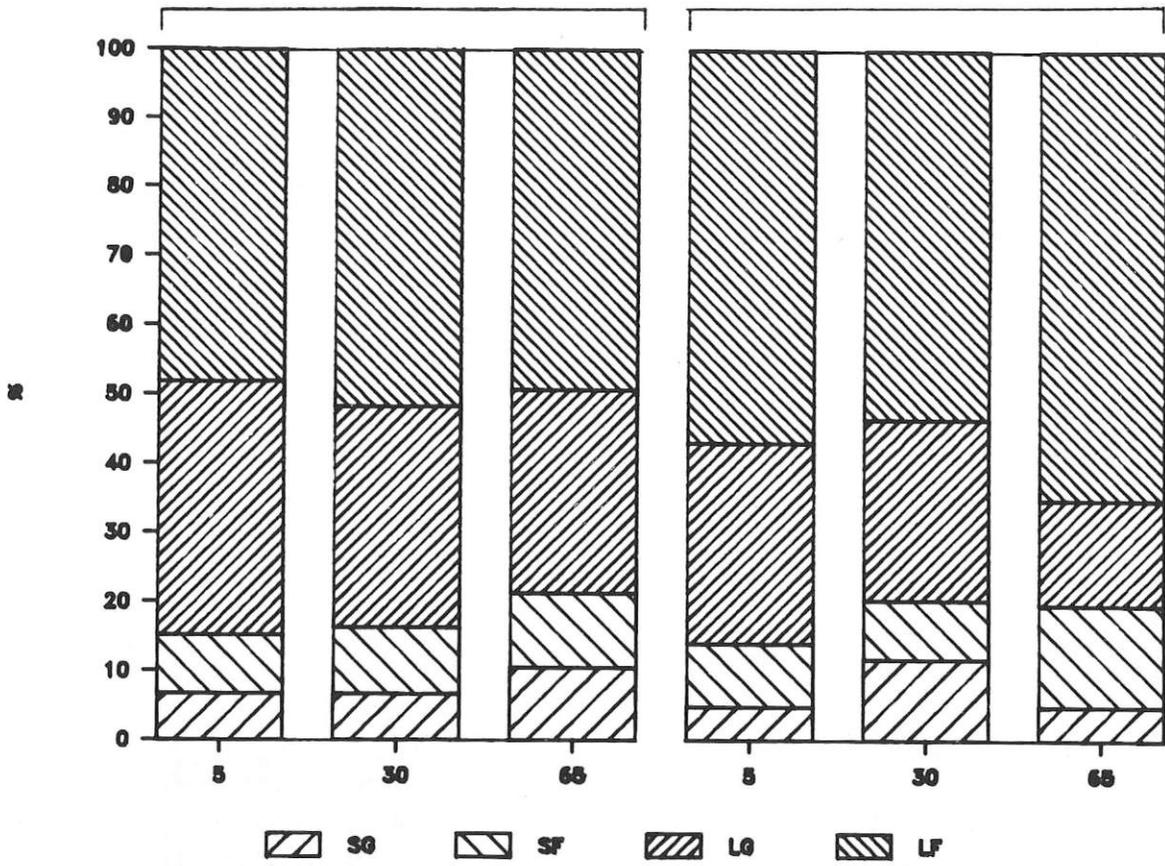
Ref	Prof	SG	SF	LG	LF	ARG
652	20	42	47	83	484	344
653	45	125	68	39	294	474
661	5	140	42	75	476	267
662	30	107	42	68	425	358
663	60	252	121	39	355	233
671	5	48	77	215	420	240
672	20	51	71	201	474	202
673	35	41	69	232	478	180
674	75	96	105	197	345	257
675	135	110	215	113	274	288
681	5	56	99	199	446	200
682	25	108	111	218	390	173
683	65	112	160	132	326	269
684	110	195	147	162	305	191

ANNEXE 4

Comparaison de squelettes granulométriques

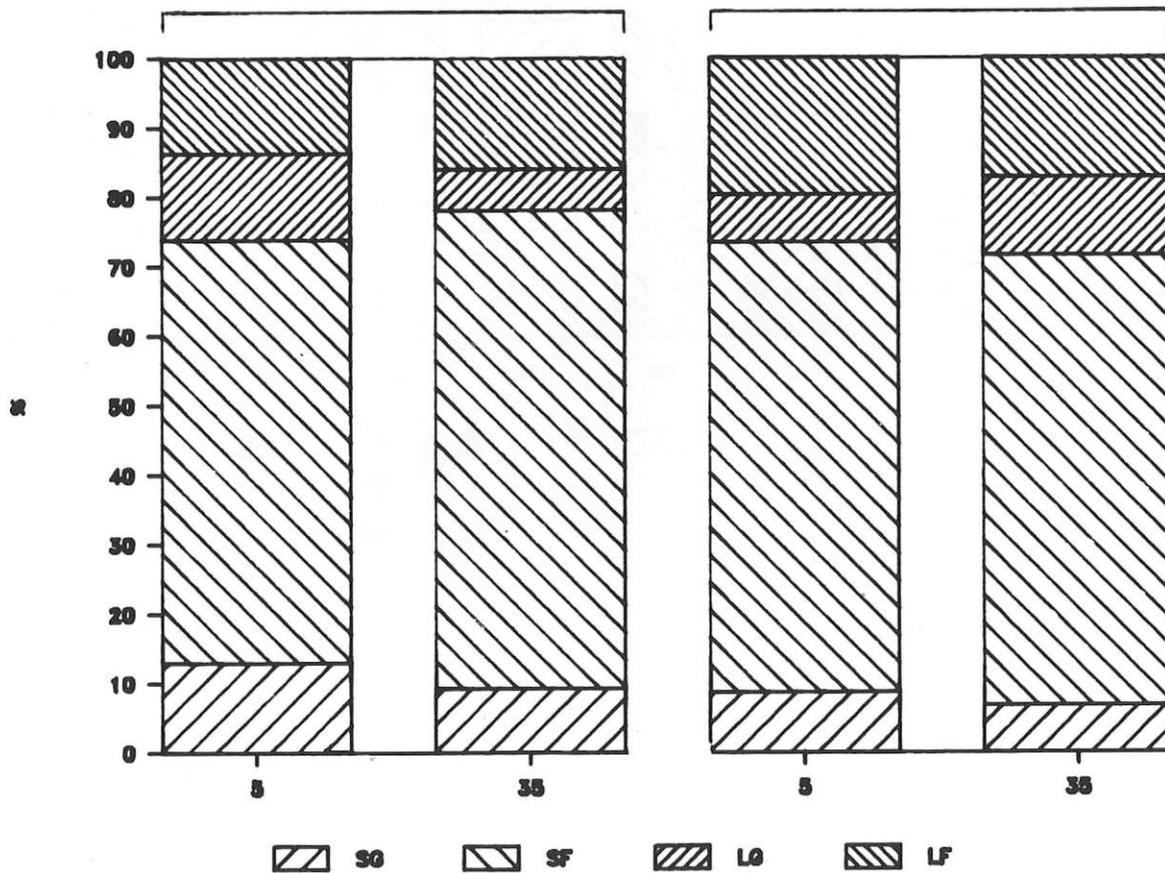
3

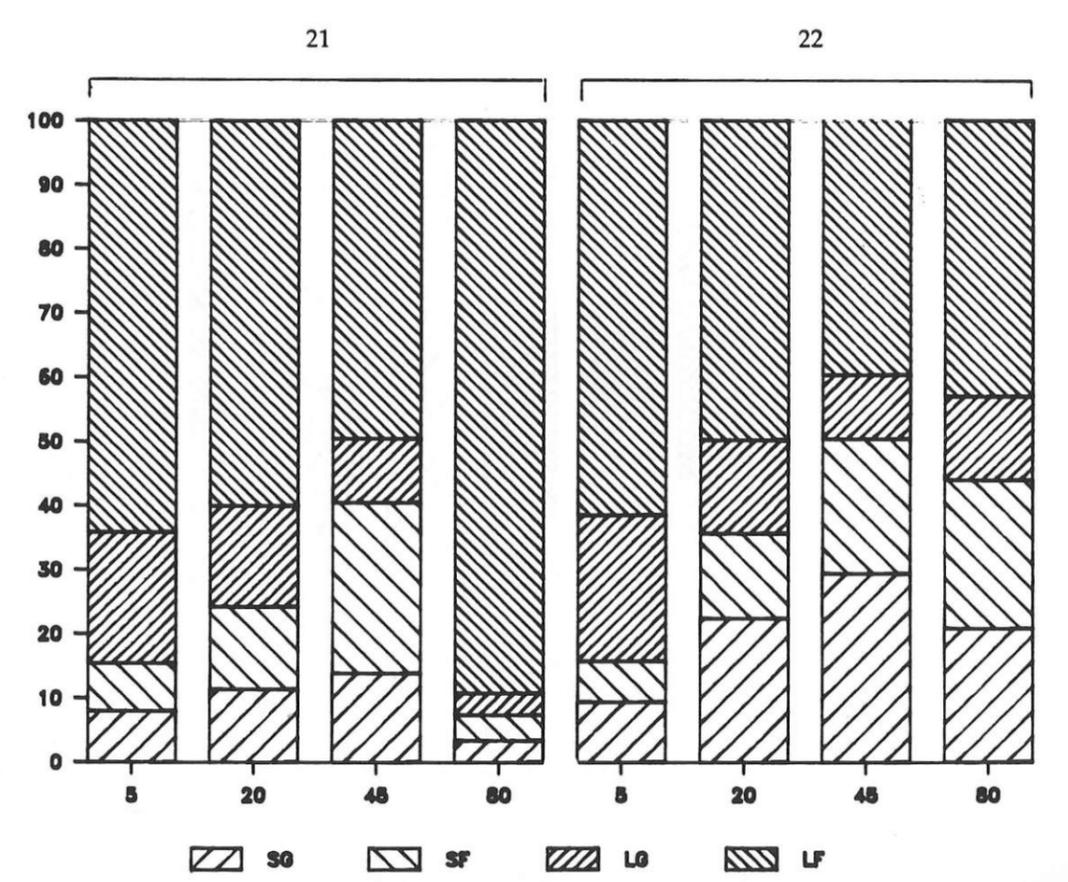
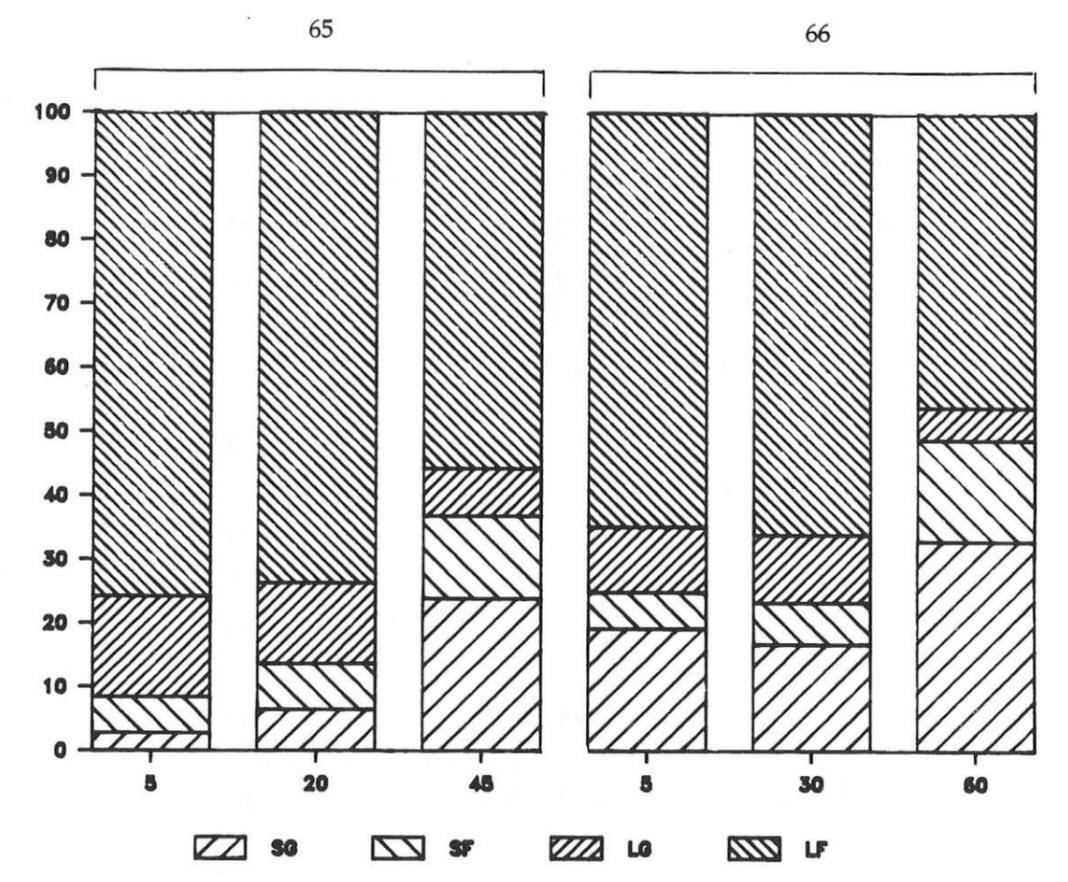
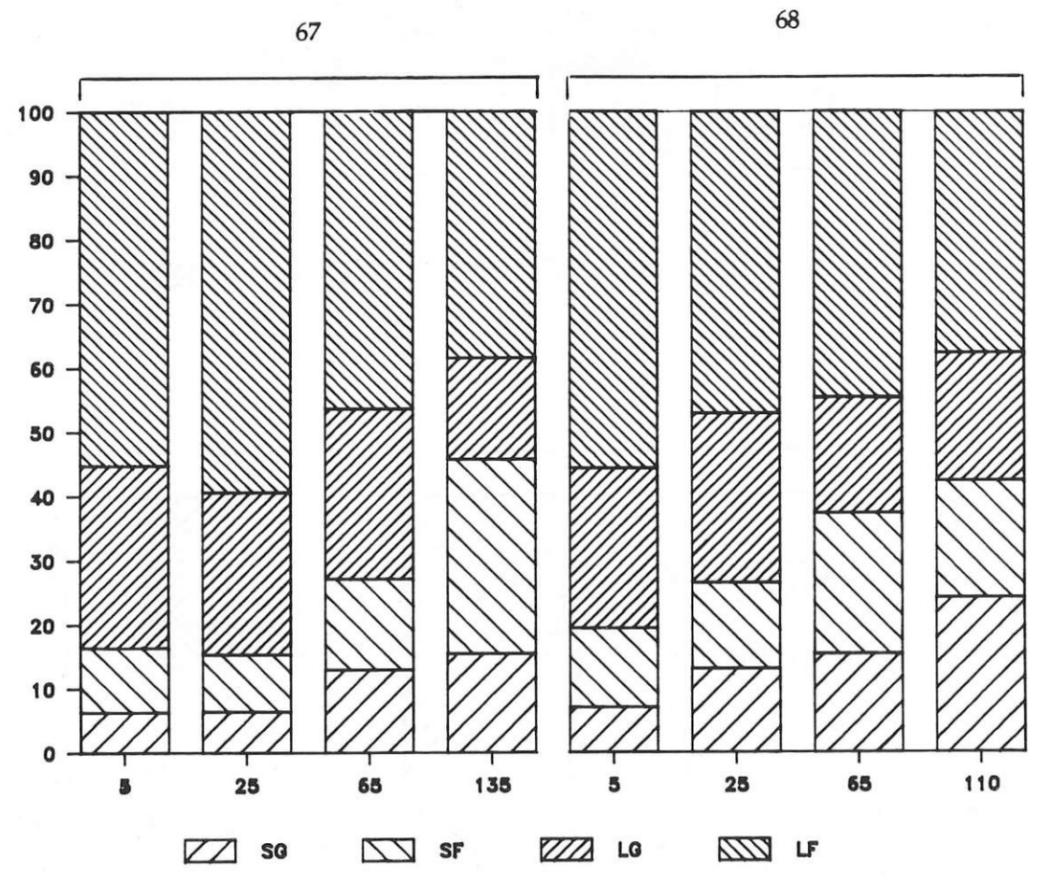
4



33

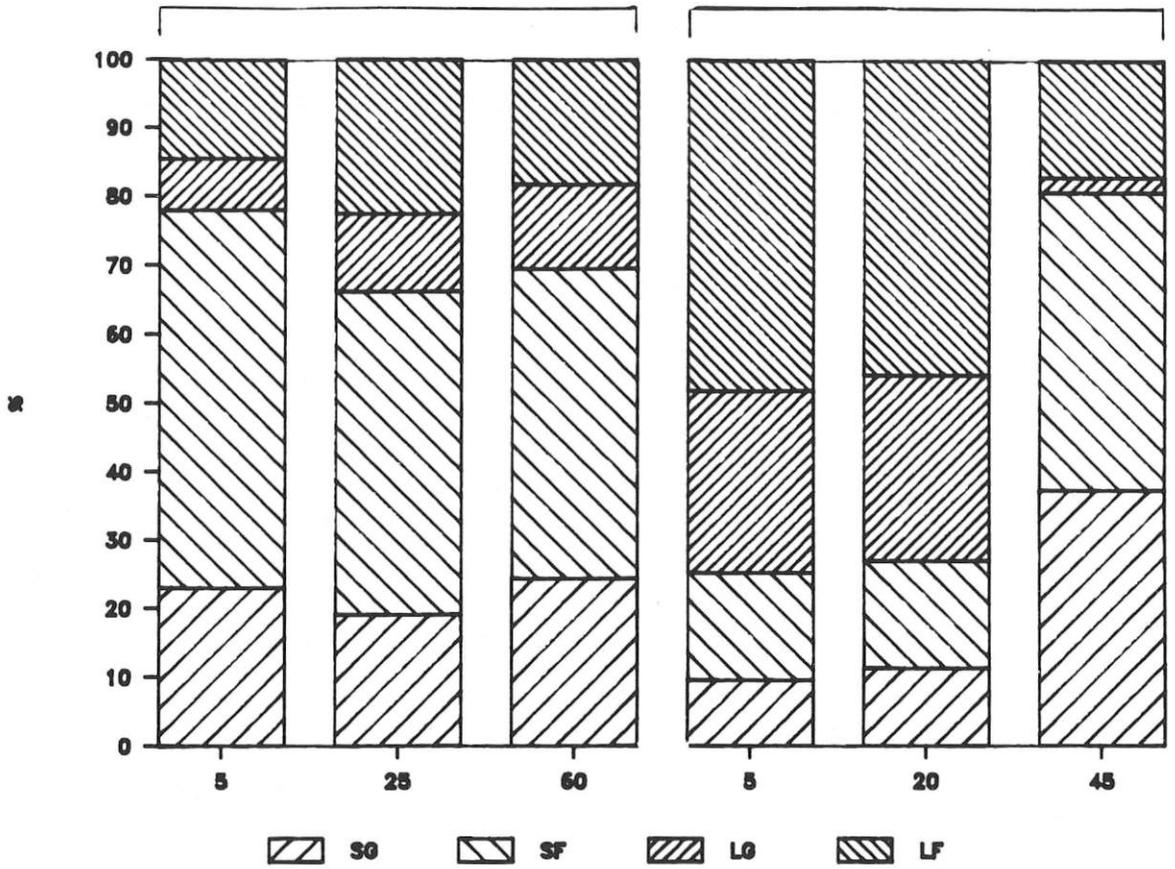
34





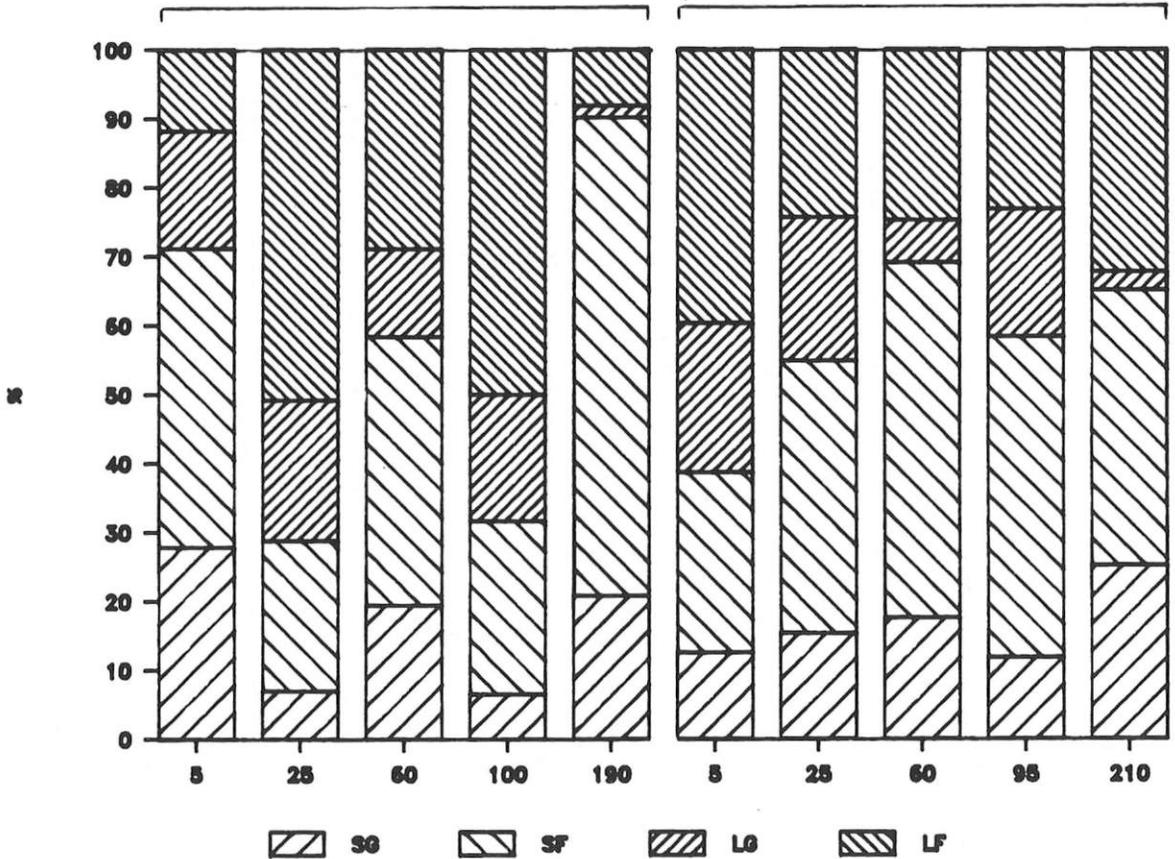
43

44



9

10



ANNEXE 5

Résultats des tests pénétrométriques en MPa

et

des mesures de l'humidité à 20 cm de profondeur

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
1	5	8		0,00	0,80	0,33	0,21	76,70	0,25
	10	8		0,20	1,30	0,58	0,34	71,25	0,41
	15	6		0,30	1,10	0,63	0,29	44,29	0,28
	20	7	25,4	0,60	1,50	0,88	0,28	34,44	0,30
	30	7		0,20	1,40	0,85	0,38	47,91	0,41
	40	7		0,20	1,70	0,90	0,41	48,86	0,44
2	50	7		0,20	1,80	1,10	0,49	48,10	0,53
	5	8		0,20	0,70	0,43	0,14	39,27	0,17
	10	8		0,30	1,20	0,64	0,22	41,87	0,27
	15	8		0,50	1,30	0,85	0,22	31,44	0,27
	20	8	59,9	0,50	1,10	0,81	0,18	25,85	0,21
	30	8		0,50	0,90	0,76	0,12	18,46	0,14
3	40	8		0,50	0,80	0,73	0,10	16,07	0,12
	50	8		0,50	0,80	0,73	0,10	16,07	0,12
	5	8		0,00	1,00	0,33	0,28	101,72	0,34
	10	8		0,40	1,20	0,71	0,22	37,09	0,26
	15	7		0,60	1,10	0,79	0,18	25,11	0,20
	20	7	34,3	0,60	1,40	0,87	0,27	32,94	0,29
4	30	7		0,70	1,50	0,99	0,27	29,54	0,29
	40	7		0,80	1,60	1,24	0,25	22,25	0,27
	50	7		0,90	1,90	1,34	0,28	22,53	0,30
	5	8		0,30	0,90	0,58	0,16	33,19	0,19
	10	8		0,60	1,10	0,85	0,14	19,89	0,17
	15	8		1,00	1,50	1,29	0,19	17,34	0,22
5	20	7	34,2	1,05	1,80	1,45	0,28	20,59	0,30
	30	8		0,70	1,80	1,20	0,28	27,46	0,33
	40	8		0,70	1,70	1,18	0,26	26,76	0,32
	50	8		0,70	1,40	1,06	0,17	19,51	0,21
	5	8		0,00	1,40	0,61	0,42	81,60	0,50
	10	8		0,00	1,50	0,82	0,49	71,06	0,58
6	15	8		0,20	1,90	1,34	0,55	49,42	0,66
	20	8	24,5	0,70	2,25	1,45	0,47	38,35	0,56
	30	8		0,50	1,80	1,31	0,37	33,52	0,44
	40	8		1,00	2,30	1,71	0,38	26,75	0,46
	50	7		1,30	2,00	1,76	0,27	16,38	0,29
	5	8		0,60	2,00	1,17	0,39	40,32	0,47
7	10	8		0,70	2,30	1,40	0,43	36,42	0,51
	15	8		0,80	2,10	1,39	0,40	34,77	0,48
	20	8	22,3	0,20	2,70	1,58	0,69	52,55	0,83
	30	8		0,55	2,10	1,27	0,45	42,81	0,54
	40	8		0,50	1,40	0,94	0,28	35,31	0,33
	50	8		0,70	1,40	1,06	0,18	20,15	0,21
8	5	8		0,00	0,70	0,33	0,22	80,25	0,27
	10	8		0,40	1,40	0,78	0,26	40,07	0,31
	15	8		0,40	1,50	0,93	0,29	37,34	0,35
	20	8	31,6	0,40	1,70	0,96	0,35	43,71	0,42
	30	8		0,40	1,90	1,10	0,50	54,55	0,60
	40	8		0,50	2,40	1,23	0,61	59,31	0,73
8	50	8		0,70	1,40	0,94	0,19	23,98	0,22
	5	8		0,60	1,60	0,98	0,28	34,02	0,33
	10	7		0,70	2,60	1,51	0,55	39,18	0,59
	15	6		0,80	2,40	1,63	0,60	34,78	0,57
	20	5	19,9	1,15	2,10	1,61	0,52	26,20	0,42

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
		30		1,10	2,00	1,48	0,46	25,01	0,37
		40		0,90	1,90	1,36	0,52	31,02	0,42
		50		0,90	1,60	1,26	0,36	22,86	0,29
91		5		0,00	0,50	0,09	0,15	206,60	0,18
		10		0,00	0,90	0,43	0,26	72,52	0,31
		15		0,00	1,80	0,79	0,53	79,35	0,63
		20	28,6	0,25	2,10	0,96	0,50	61,89	0,60
		30		0,40	1,70	0,92	0,43	50,89	0,47
		40		1,50	1,60	1,55	0,12	3,23	0,05
		50		2,00	2,10	2,03	0,14	2,84	0,06
92		5		0,00	0,50	0,19	0,18	114,70	0,22
		10		0,40	0,80	0,61	0,16	30,78	0,19
		15		0,10	1,05	0,79	0,26	39,62	0,31
		20	32,3	0,40	1,30	0,83	0,27	39,81	0,33
		30		0,50	1,20	0,84	0,23	29,75	0,25
		40		1,20	2,10	1,66	0,29	19,04	0,32
		50		1,20	2,90	2,03	0,51	27,40	0,56
10		5		0,25	2,20	1,30	0,63	57,82	0,75
		10		0,25	2,90	1,49	0,69	55,33	0,83
		15		0,85	2,50	1,74	0,47	29,09	0,51
		20	20,6	1,70	2,90	2,39	0,44	20,16	0,48
		30		2,10	3,10	2,76	0,40	13,68	0,38
		40		2,25	2,80	2,53	0,68	10,87	0,28
		50		2,25	2,90	2,65	0,87	13,21	0,35
11		5		0,00	0,50	0,21	0,20	110,90	0,24
		10		0,00	0,70	0,46	0,22	56,54	0,26
		15		0,00	1,10	0,70	0,33	57,14	0,40
		20	21,9	0,40	1,00	0,84	0,23	28,95	0,24
		30		1,00	2,00	1,52	0,52	27,68	0,42
		40		1,50	2,50	1,98	0,65	20,83	0,41
		50		2,20	2,80	2,50	3,81	16,97	0,42
12		5		0,50	1,10	0,88	0,17	22,65	0,20
		10		1,00	1,50	1,17	0,17	15,36	0,18
		15		1,30	1,70	1,43	0,57	16,11	0,23
		20	22,6	2,20	2,80	2,50	3,81	16,97	0,42
		30		2,90	2,90	2,90			
		40							
		50							
112		5		0,00	0,70	0,39	0,25	76,92	0,30
		10		0,00	1,10	0,62	0,27	52,54	0,33
		15		0,00	1,10	0,51	0,32	75,35	0,39
		20	27,7	0,05	1,15	0,39	0,32	95,86	0,38
		30		0,05	1,20	0,69	0,33	58,02	0,40
		40		0,55	1,80	1,43	0,33	27,76	0,40
		50		1,10	2,60	1,98	0,41	25,06	0,49
122		5		0,80	1,80	1,36	0,28	24,79	0,34
		10		1,40	2,15	1,82	0,27	16,15	0,29
		15		1,60	2,80	2,13	1,52	28,64	0,61
		20	21,4	1,30	2,30	1,80	6,35	39,28	0,71
		30		2,30	2,70	2,50	2,54	11,31	0,28
		40							
		50							
14		5		0,00	0,40	0,19	0,19	93,94	0,18

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1	
		10	6	0,00	0,60	0,27	0,23	81,01	0,22	
		15	6	0,30	0,70	0,44	0,18	38,17	0,17	
		20	5	30,3	0,40	0,95	0,65	0,28	34,83	0,23
		30	4	0,60	1,20	0,86	0,46	33,26	0,29	
		40	4	0,60	1,45	1,09	0,57	32,81	0,36	
		50	3	1,00	2,10	1,67	1,46	35,16	0,59	
15		5	8	0,35	0,80	0,51	0,14	33,57	0,17	
		10	8	0,50	1,10	0,81	0,16	24,12	0,20	
		15	7	0,70	1,50	1,09	0,32	31,65	0,34	
		20	7	20,2	0,50	2,20	1,29	0,53	44,46	0,57
		30	5	0,80	2,00	1,26	0,57	36,20	0,46	
		40	5	1,40	2,10	1,64	0,36	17,57	0,29	
		50	5	1,70	2,40	1,98	0,34	14,01	0,28	
16		5	8	0,25	0,90	0,43	0,18	50,70	0,22	
		10	8	0,30	1,15	0,69	0,24	42,18	0,29	
		15	8	0,70	1,50	1,03	0,24	28,56	0,29	
		20	8	16,9	0,90	2,40	1,39	0,40	33,89	0,47
		30	6	1,20	2,50	1,81	0,46	24,26	0,44	
		40	6	1,25	1,65	1,55	0,16	9,57	0,15	
		50	6	1,10	2,40	1,63	0,45	26,24	0,43	
17		5	8	0,00	0,65	0,32	0,17	64,91	0,21	
		10	8	0,30	1,10	0,55	0,21	46,10	0,25	
		15	8	0,40	1,10	0,66	0,20	35,34	0,23	
		20	8	30	0,55	1,10	0,71	0,15	25,37	0,18
		30	8	0,55	1,50	0,88	0,31	42,67	0,38	
		40	8	0,70	1,45	0,94	0,19	24,43	0,23	
		50	8	0,70	1,45	1,04	0,21	24,49	0,26	
18		5	8	0,60	1,30	0,83	0,19	28,24	0,23	
		10	8	0,70	1,50	0,99	0,22	26,21	0,26	
		15	8	0,70	2,00	1,25	0,40	38,19	0,48	
		20	8	17,1	0,70	2,05	1,28	0,42	39,41	0,50
		30	7	0,90	2,55	1,41	0,51	38,66	0,55	
		40	7	1,05	2,00	1,42	0,31	23,76	0,34	
		50	7	1,05	1,90	1,46	0,24	17,93	0,26	
19		5	8	0,00	0,60	0,25	0,20	97,98	0,24	
		10	8	0,20	0,80	0,48	0,18	46,06	0,22	
		15	8	0,25	1,00	0,69	0,19	33,01	0,23	
		20	8	34,6	0,40	1,00	0,68	0,19	34,52	0,23
		30	8	0,40	0,90	0,64	0,15	28,59	0,18	
		40	7	0,40	0,90	0,63	0,17	30,07	0,19	
		50	7	0,60	0,90	0,79	0,11	15,46	0,12	
20		5	8	0,20	0,60	0,38	0,12	37,03	0,14	
		10	8	0,40	0,70	0,54	0,09	19,73	0,11	
		15	8	0,40	0,80	0,61	0,12	23,51	0,14	
		20	8	63,6	0,50	1,00	0,68	0,13	23,42	0,16
		30	8	0,55	0,80	0,66	0,08	14,93	0,10	
		40	8	0,50	2,10	0,84	0,44	62,19	0,52	
		50	8	0,50	0,90	0,66	0,11	19,66	0,13	
21		5	8	0,00	0,50	0,36	0,15	48,77	0,18	
		10	8	0,30	0,80	0,60	0,14	28,17	0,17	
		15	8	0,40	1,20	0,80	0,22	33,41	0,27	
		20	8	27,5	0,40	1,20	0,91	0,23	29,54	0,27
		30	8	0,80	1,80	1,18	0,31	31,76	0,37	

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
	40	8		0,80	1,80	1,36	0,30	26,30	0,36
	50	8		1,20	2,10	1,59	0,24	18,27	0,29
22	5	8		0,20	1,00	0,54	0,19	42,12	0,23
	10	8		0,40	0,90	0,65	0,15	28,49	0,19
	15	8		0,70	1,20	0,84	0,14	20,12	0,17
	20	8	25,5	0,80	1,50	1,04	0,24	27,71	0,29
	30	8		0,90	1,50	1,39	0,19	16,09	0,22
	40	8		1,10	2,20	1,56	0,30	22,93	0,36
	50	8		1,00	1,80	1,54	0,24	18,38	0,28
23	5	8		0,00	0,90	0,38	0,29	90,99	0,34
	10	8		0,10	1,00	0,65	0,23	42,73	0,28
	15	7		0,75	1,50	1,06	0,26	26,67	0,28
	20	7	42,6	0,90	1,70	1,26	0,28	23,80	0,30
	30	0							
	40	0							
	50	0							
24	5	8		0,50	1,10	0,81	0,19	27,47	0,22
	10	8		0,90	1,90	1,24	0,27	26,25	0,32
	15	4		1,00	1,70	1,40	0,47	21,03	0,29
	20	1	24,3	1,00	1,00	1,00			
	30	0							
	40	0							
	50	0							
25	5	8		0,00	0,70	0,36	0,19	62,01	0,22
	10	8		0,40	0,95	0,74	0,15	24,49	0,18
	15	8		0,70	1,40	0,98	0,20	24,21	0,24
	20	4	44,6	0,90	1,00	0,98	0,08	5,13	0,05
	30	1		1,20	1,20	1,20			
	40	0							
	50	0							
26	5	8		0,60	1,40	0,91	0,26	34,95	0,32
	10	6		0,90	1,50	1,16	0,27	22,58	0,26
	15	4		1,30	1,90	1,61	0,45	17,61	0,28
	20	2	32,7	1,80	2,00	1,90	1,27	7,44	0,14
	30	0							
	40	0							
	50	0							
27	5	7		0,00	0,50	0,14	0,18	137,69	0,20
	10	8		0,25	1,30	0,54	0,30	66,75	0,36
	15	8		0,30	1,00	0,54	0,19	41,54	0,23
	20	8	23,1	0,40	0,75	0,61	0,11	21,26	0,13
	30	7		0,50	1,00	0,75	0,16	23,41	0,18
	40	6		0,75	1,25	1,08	0,20	17,34	0,19
	50	3		1,10	1,60	1,43	0,72	20,14	0,29
282	5	8		0,50	2,50	1,89	0,53	33,59	0,64
	10	5		1,10	2,60	2,10	0,73	27,97	0,59
	15	5		1,25	3,30	2,59	1,02	31,67	0,82
	20	3	15,2	1,50	2,20	1,83	0,87	19,16	0,35
	30	1		2,50	2,50	2,50			
	40	1		2,30	2,30	2,30			
	50	1		3,50	3,50	3,50			
281	5	8		0,50	1,30	0,80	0,20	29,32	0,23
	10	8		0,60	1,75	1,02	0,30	35,09	0,36

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
		15		0,90	1,30	1,11	0,15	14,12	0,16
		20	32,8	0,90	1,70	1,28	0,26	21,64	0,28
		30		0,90	1,70	1,38	0,55	25,28	0,35
		40		1,10	1,80	1,42	0,88	25,04	0,35
		50		1,15	1,50	1,28	0,47	14,75	0,19
29		5		0,00	0,80	0,33	0,21	76,94	0,25
		10		0,10	1,85	0,91	0,44	58,50	0,53
		15		0,30	1,95	1,37	0,44	38,80	0,53
		20	30,4	0,20	1,70	0,90	0,45	59,69	0,54
		30		0,75	1,55	1,03	0,23	26,17	0,27
		40		0,70	1,65	1,17	0,30	30,84	0,36
		50		0,75	1,35	0,97	0,21	25,57	0,25
30		5		0,60	1,20	0,92	0,17	20,27	0,19
		10		1,00	1,90	1,55	0,23	17,50	0,27
		15		1,30	2,40	2,04	0,29	17,22	0,35
		20	19,9	1,10	2,70	2,15	0,59	26,31	0,57
		30		0,40	2,10	1,36	0,66	46,12	0,63
		40		0,20	1,20	0,83	0,37	42,98	0,35
		50		0,70	1,35	0,92	0,25	26,42	0,24
31		5		0,05	0,80	0,33	0,22	78,20	0,26
		10		0,40	1,05	0,68	0,22	38,39	0,26
		15		0,30	1,30	0,81	0,32	46,37	0,38
		20	22,4	0,25	1,00	0,53	0,30	52,92	0,28
		30		0,10	1,80	0,76	0,44	69,38	0,52
		40		0,65	1,70	1,20	0,37	33,76	0,41
		50		1,10	2,70	1,93	0,95	39,61	0,76
32		5		0,60	2,30	1,33	0,46	41,83	0,55
		10		1,40	3,00	1,96	0,43	26,50	0,52
		15		1,80	3,75	2,50	0,61	29,41	0,74
		20	15,6	1,80	3,75	2,82	0,55	23,53	0,66
		30		1,80	3,90	3,14	0,65	24,79	0,78
		40		1,75	3,75	2,56	0,54	25,18	0,65
		50		1,50	2,70	1,97	0,30	18,16	0,36
33		5		0,00	0,40	0,13	0,12	119,04	0,15
		10		0,30	1,00	0,65	0,25	46,52	0,30
		15		0,30	1,10	0,80	0,24	36,60	0,29
		20	15,2	0,40	1,30	1,04	0,25	29,12	0,30
		30		0,40	1,70	1,03	0,50	52,57	0,54
		40		0,60	1,60	1,03	0,35	37,11	0,38
		50		0,50	1,30	0,98	0,39	31,78	0,31
34		5		1,50	2,70	2,17	0,37	20,51	0,44
		10		1,50	3,00	2,50	0,88	28,28	0,71
		15		1,50	3,00	2,25	9,53	47,14	1,06
		20	8,5	1,50	1,50	1,50			
		30		2,00	2,00	2,00			
		40		2,50	2,50	2,50			
		50							
35		5		0,10	1,00	0,61	0,25	49,70	0,30
		10		0,50	1,60	1,00	0,32	38,17	0,38
		15		0,75	1,80	1,24	0,30	29,26	0,36
		20	33	0,90	2,10	1,17	0,33	33,68	0,39
		30		1,10	2,70	1,85	0,54	27,72	0,51
		40		1,10	2,90	2,12	0,91	34,73	0,74

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
36	50	4		1,40	3,00	2,30	1,24	33,86	0,78
	5	7		0,70	1,00	0,86	0,12	14,84	0,13
	10	7		1,00	1,70	1,36	0,24	19,43	0,26
	15	6		1,90	2,40	2,22	0,18	7,77	0,17
	20	6	28,3	1,70	2,50	2,23	0,34	14,35	0,32
	30	4		1,40	2,30	1,85	0,59	19,98	0,37
	40	4		1,40	1,50	1,48	0,08	3,39	0,05
37	50	4		1,00	1,50	1,35	0,38	17,63	0,24
	5	8		0,40	1,10	0,76	0,21	33,57	0,26
	10	8		0,50	1,30	0,91	0,20	26,78	0,24
	15	8		0,20	1,90	0,99	0,48	58,66	0,58
	20	8	26,3	0,40	2,00	0,97	0,47	58,32	0,57
	30	8		0,70	1,70	1,06	0,26	28,87	0,31
	40	8		0,90	2,50	1,51	0,50	39,42	0,60
38	50	8		1,10	2,10	1,50	0,30	23,90	0,36
	5	8		0,50	0,90	0,66	0,12	21,25	0,14
	10	7		0,80	1,50	1,11	0,21	20,93	0,23
	15	6		1,15	1,80	1,46	0,24	15,70	0,23
	20	5	21,3	1,15	2,00	1,75	0,43	20,00	0,35
	30	5		1,00	2,10	1,46	0,64	35,13	0,51
	40	5		1,00	2,00	1,22	0,54	35,92	0,44
372	50	5		0,70	1,10	0,98	0,20	16,77	0,16
	5	8		0,00	1,60	0,43	0,47	132,36	0,56
	10	8		0,20	2,70	1,29	0,66	60,94	0,78
	15	8		0,70	2,60	1,44	0,56	46,73	0,67
	20	8	28,2	0,30	2,30	1,13	0,55	58,34	0,66
	30	8		0,30	1,30	0,81	0,29	42,86	0,35
	40	8		0,50	1,70	1,15	0,38	39,16	0,45
382	50	8		1,00	2,10	1,51	0,32	25,59	0,39
	5	8		0,20	1,40	0,83	0,31	44,30	0,37
	10	8		0,70	3,00	1,65	0,60	43,82	0,72
	15	8		1,00	2,00	1,49	0,29	23,41	0,35
	20	8	25,6	1,10	2,00	1,64	0,26	19,02	0,31
	30	8		0,80	2,40	1,79	0,44	29,21	0,52
	40	7		0,70	2,20	1,51	0,46	32,67	0,49
39	50	7		0,70	1,90	1,13	0,36	34,59	0,39
	5	8		0,00	0,70	0,20	0,18	106,90	0,21
	10	8		0,05	0,80	0,48	0,21	52,18	0,25
	15	8		0,70	1,30	0,94	0,17	21,09	0,20
	20	8	28,3	0,20	1,10	0,76	0,24	38,30	0,29
	30	8		0,30	1,05	0,66	0,19	33,93	0,22
	40	8		0,40	1,30	0,97	0,23	27,99	0,27
40	50	8		0,90	1,70	1,41	0,26	22,36	0,31
	5	8		1,30	2,10	1,64	0,24	17,86	0,29
	10	8		1,60	2,40	1,86	0,24	15,44	0,29
	15	8		1,00	2,80	2,15	0,43	24,07	0,52
	20	8	19,7	1,00	3,30	2,39	0,66	32,86	0,79
	30	8		2,10	4,20	3,04	0,56	21,87	0,67
	40	7		1,60	4,40	3,19	0,80	27,21	0,87
41	50	6		2,60	4,20	3,46	0,56	15,31	0,53
	5	7		0,10	0,50	0,30	0,13	47,14	0,14
	10	7		0,20	0,90	0,53	0,29	58,53	0,31
	15	7		0,20	1,00	0,53	0,26	53,19	0,28

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1	
		20	6	32,4	0,50	1,00	0,82	0,18	21,09	0,17
		30	6		0,60	1,80	1,13	0,53	44,53	0,50
		40	3		1,20	1,60	1,37	0,52	15,23	0,21
		50	1		1,80	1,80	1,80			
42		5	8		0,10	0,50	0,26	0,11	49,62	0,13
		10	8		0,40	0,90	0,63	0,13	25,30	0,16
		15	8		0,25	1,10	0,78	0,21	32,72	0,25
		20	8	37,4	0,25	1,25	0,86	0,25	34,25	0,29
		30	8		0,50	1,25	0,94	0,20	24,97	0,23
		40	8		1,00	1,40	1,17	0,12	12,30	0,14
		50	8		1,00	1,50	1,28	0,12	11,67	0,15
43		5	8		0,00	0,50	0,22	0,13	71,18	0,16
		10	8		0,30	1,10	0,53	0,22	49,53	0,26
		15	7		0,10	1,10	0,71	0,30	46,26	0,33
		20	7	30,2	0,20	1,10	0,63	0,29	50,07	0,31
		30	4		0,40	0,60	0,48	0,14	18,23	0,09
		40	2		0,40	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00
		50	2		0,40	0,70	0,55	1,91	38,57	0,21
44		5	8		0,80	1,90	1,39	0,32	27,90	0,39
		10	8		0,90	2,80	1,85	0,57	36,89	0,68
		15	8		1,00	3,20	2,06	0,63	36,28	0,75
		20	8	25,9	1,30	3,00	2,18	0,55	30,27	0,66
		30	7		1,50	2,50	1,94	0,34	18,76	0,36
		40	5		1,50	2,00	1,74	0,24	11,20	0,19
		50	3		1,30	2,80	1,93	1,93	40,18	0,78
45		5	8		0,00	1,60	0,69	0,42	73,22	0,50
		10	8		0,35	2,00	1,28	0,47	43,70	0,56
		15	8		0,30	2,50	1,61	0,61	45,28	0,73
		20	7	25,6	0,50	2,30	1,53	0,52	37,10	0,57
		30	6		0,90	2,50	1,53	0,64	39,77	0,61
		40	5		1,45	2,00	1,61	0,28	13,96	0,22
		50	5		1,80	2,50	2,10	0,32	12,14	0,25
46		5	8		0,60	1,40	1,01	0,24	28,66	0,29
		10	8		0,70	1,50	1,25	0,25	23,90	0,30
		15	8		0,75	1,95	1,38	0,36	30,77	0,43
		20	8	30,1	0,95	2,30	1,59	0,35	26,45	0,42
		30	8		1,10	2,40	1,69	0,36	25,82	0,44
		40	8		1,10	2,20	1,67	0,35	25,27	0,42
		50	7		1,30	2,40	1,93	0,32	17,89	0,35
47		5	8		0,50	1,30	0,80	0,23	34,07	0,27
		10	8		0,75	1,35	0,98	0,20	24,05	0,24
		15	8		0,75	1,60	1,09	0,21	22,89	0,25
		20	8	36	0,40	1,80	1,11	0,36	38,76	0,43
		30	8		0,40	1,45	0,94	0,29	37,58	0,35
		40	8		0,60	1,50	1,07	0,28	31,63	0,34
		50	8		0,65	1,45	1,13	0,21	22,66	0,25
48		5	8		0,25	1,10	0,63	0,21	39,25	0,25
		10	8		0,30	1,10	0,68	0,20	34,63	0,24
		15	8		0,45	1,30	0,83	0,20	28,98	0,24
		20	8	37,6	0,55	1,30	0,93	0,25	32,69	0,30
		30	8		0,60	1,60	0,93	0,27	35,26	0,33
		40	8		0,70	1,25	0,93	0,17	21,84	0,20
		50	8		0,80	1,30	1,10	0,15	16,12	0,18

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
491	5	8		0,00	0,60	0,34	0,19	67,08	0,23
	10	8		0,40	1,10	0,71	0,19	32,21	0,23
	15	8		0,60	1,40	1,04	0,20	23,57	0,24
	20	8	29,8	0,60	1,40	0,96	0,18	22,86	0,22
	30	7		0,50	1,00	0,71	0,20	29,62	0,21
	40	7		0,60	1,00	0,77	0,13	17,89	0,14
	50	7		0,70	1,50	1,01	0,26	28,13	0,29
501	5	8		0,50	1,00	0,78	0,19	29,06	0,23
	10	8		1,00	1,70	1,25	0,18	17,63	0,22
	15	8		1,10	2,00	1,46	0,26	20,98	0,31
	20	8	24	1,20	1,90	1,55	0,17	13,36	0,21
	30	8		1,40	2,20	1,75	0,23	15,87	0,28
	40	8		1,60	2,50	2,01	0,26	15,36	0,31
	50	6		1,80	2,20	2,03	0,20	9,34	0,19
492	5	8		0,00	0,50	0,21	0,18	98,83	0,21
	10	8		0,00	0,70	0,28	0,19	84,17	0,23
	15	8		0,20	0,90	0,49	0,20	48,34	0,24
	20	8	36,3	0,30	1,50	0,66	0,33	60,34	0,40
	30	6		0,40	1,00	0,72	0,23	31,10	0,22
	40	5		0,60	1,40	1,04	0,40	30,86	0,32
	50	4		0,50	1,20	0,93	0,48	32,28	0,30
502	5	8		0,90	2,50	1,89	0,47	30,03	0,57
	10	8		1,50	2,80	2,23	0,39	21,05	0,47
	15	7		1,50	2,40	1,97	0,34	18,91	0,37
	20	6	22,7	1,50	2,20	1,80	0,36	19,25	0,35
	30	6		1,70	2,30	2,00	0,24	11,40	0,23
	40	6		1,30	2,30	1,72	0,37	20,32	0,35
	50	5		1,30	2,30	1,64	0,49	24,24	0,40
51	5	8		0,00	0,10	0,01	0,03	282,84	0,04
	10	8		0,00	0,40	0,14	0,12	102,39	0,14
	15	8		0,00	0,70	0,29	0,21	88,07	0,25
	20	6	12,8	0,10	0,50	0,28	0,15	51,95	0,15
	30	4		0,20	0,90	0,45	0,49	69,09	0,31
	40	2		0,20	0,60	0,40	2,54	70,71	0,28
	50	2		0,40	0,50	0,45	0,64	15,71	0,07
52	5	8		1,00	2,30	1,60	0,45	33,41	0,53
	10	8		1,20	2,40	1,69	0,37	26,20	0,44
	15	7		1,20	2,40	1,76	0,44	27,27	0,48
	20	7	12,3	1,30	2,40	1,89	0,39	22,38	0,42
	30	6		1,00	2,10	1,65	0,42	24,47	0,40
	40	3		0,50	2,30	1,47	2,25	61,87	0,91
	50	2		0,50	2,10	1,30	10,16	87,03	1,13
53	5	7		0,00	0,60	0,19	0,22	126,01	0,23
	10	7		0,00	1,00	0,46	0,41	96,07	0,44
	15	7		0,10	1,00	0,43	0,31	77,05	0,33
	20	6	11,6	0,10	1,00	0,57	0,37	62,81	0,36
	30	2		0,70	0,90	0,80	1,27	17,68	0,14
	40	0							
	50	0							
54	5	8		0,90	2,40	1,45	0,40	33,18	0,48
	10	8		1,10	2,80	2,13	0,51	28,54	0,61
	15	4		2,20	3,00	2,45	0,60	15,45	0,38
	20	3	13,7	2,10	2,40	2,30	0,43	7,53	0,17

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
		30		1,10	1,80	1,50	0,90	24,04	0,36
		40		1,00	1,50	1,20	0,66	22,05	0,26
		50		1,00	1,50	1,25	3,18	28,28	0,35
55		5		0,00	1,30	0,74	0,43	69,12	0,51
		10		0,60	2,30	1,46	0,54	43,85	0,64
		15		0,70	2,20	1,67	0,48	31,03	0,52
		20	30,2	0,50	2,70	1,76	0,77	47,37	0,83
		30		0,80	2,00	1,41	0,42	32,00	0,45
		40		0,90	1,70	1,43	0,27	20,09	0,29
		50		1,20	1,90	1,50	0,26	18,86	0,28
56		5		1,50	2,20	1,96	0,21	13,04	0,26
		10		2,20	3,00	2,60	0,24	11,07	0,29
		15		2,10	3,00	2,66	0,29	11,67	0,31
		20	18,1	1,50	2,90	2,45	0,60	23,34	0,57
		30		0,70	1,30	1,03	0,25	22,63	0,23
		40		0,70	1,10	0,84	0,19	18,05	0,15
		50		0,80	1,70	1,28	0,64	31,62	0,40
57		5		0,00	0,30	0,13	0,11	102,54	0,13
		10		0,20	1,00	0,58	0,22	45,30	0,26
		15		0,30	1,30	0,66	0,27	48,37	0,32
		20	13	0,10	1,70	0,60	0,41	82,62	0,50
		30		0,50	1,40	0,84	0,22	31,23	0,26
		40		0,50	1,20	0,84	0,21	30,57	0,26
		50		0,70	1,40	1,03	0,19	21,97	0,23
58		5		3,20	3,50	3,35	1,91	6,33	0,21
		10		2,50	2,50	2,50			
		15							
		20	7,5						
		30							
		40							
		50							
59		5		0,10	1,80	1,06	0,43	48,50	0,52
		10		1,00	1,60	1,45	0,16	13,29	0,19
		15		0,80	2,00	1,39	0,36	27,99	0,39
		20	29,8	1,20	1,60	1,39	0,15	11,36	0,16
		30		1,30	2,00	1,58	0,28	17,14	0,27
		40		1,70	2,50	2,00	0,57	17,80	0,36
		50		2,00	2,20	2,10	0,25	4,76	0,10
60		5		1,20	2,50	2,03	0,42	24,73	0,50
		10		1,20	2,20	1,71	0,25	17,50	0,30
		15		1,00	1,90	1,48	0,26	21,36	0,32
		20	25,4	1,00	1,50	1,33	0,17	14,22	0,19
		30		1,20	2,00	1,51	0,24	17,23	0,26
		40		1,20	2,50	1,87	0,44	22,39	0,42
		50		1,30	2,60	1,96	0,64	26,17	0,51
62		5		0,60	1,90	1,24	0,37	35,60	0,44
		10		1,20	1,70	1,44	0,15	12,85	0,18
		15		0,90	2,10	1,43	0,34	28,26	0,40
		20	18,4	1,00	1,90	1,45	0,28	23,02	0,33
		30		0,80	1,80	1,34	0,33	26,45	0,36
		40		0,40	2,20	1,19	0,54	49,28	0,58
		50		0,80	2,00	1,32	0,49	35,43	0,47
63		5		0,00	0,60	0,36	0,17	55,05	0,20

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1
		10		0,30	0,60	0,52	0,08	19,23	0,10
		15		0,20	0,60	0,45	0,12	31,43	0,14
		20	31,2	0,20	1,00	0,54	0,22	48,65	0,26
		30		0,30	1,60	0,64	0,35	65,45	0,42
		40		0,60	1,80	1,11	0,37	39,46	0,44
		50		0,80	1,90	1,36	0,35	27,85	0,38
64		5		0,30	1,00	0,69	0,22	35,15	0,24
		10		0,80	1,80	1,30	0,39	32,64	0,42
		15		1,00	2,30	1,79	0,37	22,27	0,40
		20	17,4	1,00	3,00	1,90	0,60	34,38	0,65
		30		1,30	2,60	1,87	0,48	27,89	0,52
		40		1,40	1,70	1,56	0,17	8,60	0,13
		50		1,00	1,70	1,36	0,31	18,46	0,25
65		5		0,00	1,20	0,55	0,35	75,90	0,42
		10		0,20	1,70	1,05	0,47	53,15	0,56
		15		0,50	1,60	1,01	0,36	42,71	0,43
		20	27,7	0,50	1,60	1,03	0,32	37,51	0,38
		30		0,70	1,60	1,11	0,32	30,84	0,34
		40		1,00	1,70	1,22	0,27	21,06	0,26
		50		1,50	1,60	1,55	0,09	3,72	0,06
66		5		0,80	2,50	1,80	0,43	28,79	0,52
		10		1,40	3,00	2,14	0,39	22,08	0,47
		15		1,40	3,00	2,01	0,46	27,53	0,55
		20	21	1,20	2,60	2,00	0,44	23,80	0,48
		30		1,20	2,70	1,90	0,47	26,84	0,51
		40		1,20	2,40	1,93	0,60	29,56	0,57
		50		1,60	2,00	1,80	0,50	11,11	0,20
67		5		0,30	1,30	0,68	0,29	51,17	0,35
		10		0,60	1,40	0,98	0,19	23,10	0,23
		15		0,20	1,10	0,85	0,26	36,12	0,31
		20	23,6	0,40	1,40	0,85	0,27	38,25	0,33
		30		0,80	1,90	1,18	0,31	31,76	0,37
		40		0,90	1,90	1,27	0,33	27,89	0,35
		50		1,10	2,10	1,49	0,30	22,13	0,33
68		5		1,70	2,50	2,08	0,21	12,01	0,25
		10		2,00	3,00	2,51	0,32	15,11	0,38
		15		2,00	3,10	2,58	0,47	17,38	0,45
		20	14,6	2,20	3,40	2,74	0,65	19,24	0,53
		30		2,50	3,00	2,73	0,63	9,21	0,25
		40							
		50							
69		5		0,00	1,40	0,49	0,45	109,34	0,53
		10		0,80	1,60	1,36	0,24	21,47	0,29
		15		0,20	1,60	1,18	0,44	44,51	0,52
		20	23,3	0,70	1,50	1,18	0,23	23,08	0,27
		30		0,60	1,60	1,10	0,35	34,42	0,38
		40		1,00	1,90	1,47	0,33	21,42	0,31
		50		1,40	2,30	1,95	0,36	17,39	0,34
70		5		0,20	1,00	0,55	0,24	51,43	0,28
		10		1,10	2,10	1,50	0,29	23,37	0,35
		15		1,10	1,90	1,48	0,21	17,28	0,25
		20	29,9	1,30	1,70	1,50	0,10	7,97	0,12
		30		1,40	1,90	1,66	0,15	11,11	0,18

Ref	Prof	COMPTE	% H	MIN	MAX	MOY	conf.	C.V.	ET n-1	
		40	7	1,00	2,10	1,57	0,30	20,69	0,33	
		50	3	1,90	2,20	2,00	0,43	8,66	0,17	
702		5	8	0,80	1,80	1,33	0,26	23,09	0,31	
		10	8	1,50	3,00	2,05	0,36	21,02	0,43	
		15	8	1,50	2,80	2,19	0,31	17,18	0,38	
		20	8	23,6	1,60	2,70	2,25	0,32	16,97	0,38
		30	8	1,40	2,50	2,19	0,33	17,86	0,39	
		40	5	1,90	2,40	2,16	0,26	9,60	0,21	
		50	2	2,50	2,70	2,60	1,27	5,44	0,14	

ANNEXE 6

Données pluviométriques de septembre 89 à mai 90

Hauteur des précipitations (en mm)

Stations	Alt. (m)	(*)	Sept. 89	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai-90	Total	Ecart à la moy
Is en Bassigny	391	Moy	67	86	85,5	107	110	84	98	68	99	804,5	217,5 mm
		1989/90	38	52	46	109	69	162	17	56	38	587	
Val de Meuse	380	Moy	71	66	78	81	78	67	65	53	76,5	635,5	78,5 mm
		1989/90	66	44	51	104	67	119	18	42	46	557	
Dammartin	384	Moy	71	65	80	77	78,5	62	68	57	77	635,5	17,5 mm
		1989/90	65	47	57	122	69	140	22	50	46	618	
Varennnes	371	Moy	72	88,5	80	104	98	76	83	61	95	757,5	200,5 mm
		1989/90	61	33	56	105	60	122	17	46	57	557	
Bourbonne	320	Moy	70	89	77	98	96,5	78	82	57,5	85	733	120 mm
		1989/90	54	52	53	128	64	135	17	54	56	613	

(*) valeurs moyennes du tableau n° 2
et valeurs mensuelles enregistrées en 1989/90

HAUTE-MARNE

Mai 1990

alt.	320	384	391	380	371
Ind.	060002	162001	248001	332001	504001
P O S T E S	B O U C O N N S M E	D A M M A R T I N S U R	I S E N B A S S I G N Y	V A L D E M E	T E R R E N A T A L E
date					
1					
2					
3					
4					
5					
6	20	25	13	18	34
7	90	2	2		25
8	3	12	65	76	18
9	55	37	25	80	
10	240	56	65	35	250
11	20	81	15	31	84
12		2	2		tr
13	10				
14					
15	7	6	24	53	58
16					
17					
18					
19			tr		
20	51	112	107	87	43
21	60	110	63	85	61
22		3			
23	3	10	tr		
24			2		
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
dec.1	408	132	170	209	327
dec.2	88	201	148	171	185
dec.3	63	123	65	85	61
Total	559	456	383	465	573
Preci	11/31	12/31	11/31	8/31	8/31
Neige					

↑
période des
tests pénetrométriques
↓

Valeurs quotidiennes : hauteur des précipitations recueillies au cours de la journée et de la nuit suivante.

ANNEXE 7

Fichier des résistances trié par ordre
d'humidité décroissante

Ref	COMPTE	MIN	MAX	MOY	% H	C	SG+SF	LG+LF	ARG	ARG/(SG+SF)
20	8	0,50	1,00	0,68	63,6	25,30	58	400	542	9,34
2	8	0,50	1,10	0,81	59,9	22,10	21	260	719	34,24
19	8	0,40	1,00	0,68	34,6	19,40	103	509	388	3,77
3	7	0,60	1,40	0,87	34,3	17,20	105	546	349	3,32
4	7	1,05	1,80	1,45	34,2	11,80	99	392	509	5,14
35	8	0,90	2,10	1,17	33	18,50	356	295	350	0,98
7	8	0,40	1,70	0,96	31,6	16,90	318	410	272	0,86
63	8	0,20	1,00	0,54	31,2	16,50	376	414	210	0,56
43	7	0,20	1,10	0,63	30,2	20,20	570	292	138	0,24
91	8	0,25	2,10	0,96	28,6	14,80	219	542	239	1,09
36	6	1,70	2,50	2,23	28,3	6,00	119	353	528	4,44
372	8	0,30	2,30	1,13	28,2	14,30	82	757	162	1,98
112	8	0,05	1,15	0,39	27,7	14,40	457	291	252	0,55
65	8	0,50	1,60	1,03	27,7	8,30	89	567	344	3,87
21	8	0,40	1,20	0,91	27,5	18,00	83	260	657	7,92
44	8	1,30	3,00	2,18	25,9	19,20	196	535	269	1,37
382	8	1,10	2,00	1,64	25,6	6,30	234	393	373	1,59
22	8	0,80	1,50	1,04	25,5	10,70	250	452	299	1,20
1	7	0,60	1,50	0,88	25,4	14,20	86	591	323	3,76
5	8	0,70	2,25	1,45	24,5	10,10	72	388	540	7,50
67	8	0,40	1,40	0,85	23,6	19,20	122	675	202	1,66
6	8	0,20	2,70	1,58	22,3	3,70	50	347	603	12,06
122	2	1,30	2,30	1,80	21,4	11,80	471	220	308	0,65
66	7	1,20	2,60	2,00	21	6,70	149	493	358	2,40
10	7	1,70	2,90	2,39	20,6	7,30	240	198	562	2,34
8	5	1,15	2,10	1,61	19,9	14,60	232	376	392	1,69
62	8	1,00	1,90	1,45	18,4	3,20	747	147	106	0,14
64	7	1,00	3,00	1,90	17,4	6,40	484	357	159	0,33
33	8	0,40	1,30	1,04	15,2	7,00	670	189	141	0,21
68	5	2,20	3,40	2,74	14,6	12,00	219	608	173	0,79
57	8	0,10	1,70	0,60	13	15,40	617	269	114	0,18
51	6	0,10	0,50	0,28	12,8	7,20	873	69	58	0,07
52	7	1,30	2,40	1,89	12,3	4,10	839	83	77	0,09
34	1	1,50	1,50	1,50	8,5	5,00	571	227	202	0,35
58	0				7,5	8,50	848	96	56	0,07

ANNEXE 8

Fichier des résistances trié par ordre

de % d'argile décroissant

Text	Ref	NB	% H	R 20	Text	Ref	NB	% H	R 20	
ARG	2	8	59,9	0,81 A	LAs	91	8	28,6	0,96 l	
	4	7	34,2	1,45 A		92	8	32,3	0,83 l	
	6	8	22,3	1,58 A		37	8	26,3	0,97 l	
	20	8	63,6	0,68 A		38	5	21,3	1,75 l	
	36	6	28,3	2,23 A		67	8	23,6	0,85 l	
	10	7	20,6	2,39 A		68	5	14,6	2,74 l	
	46	8	30,1	1,59 A		372	8	28,2	1,13 l	
	48	8	37,6	0,93 A		39	8	28,3	0,76 l	
	60	7	25,4	1,33 A		40	8	19,7	2,39 l	
	5	8	24,5	1,45 A		69	8	23,3	1,18 l	
	21	8	27,5	0,91 A		70	8	29,9	1,5 l	
	45	7	25,6	1,53 A		702	8	23,6	2,25 l	
	47	8	36	1,11 A		44	8	25,9	2,18 l	
	59	7	29,8	1,39 A		LAS	7	8	31,6	0,96 .
	AL	1	7	25,4		0,88 a	11	7	21,9	0,84 .
		3	7	34,3		0,87 a	12	2	22,6	2,5 .
		65	8	27,7		1,03 a	63	8	31,2	0,54 .
19		8	34,6	0,68 a	31	6	22,4	0,53 .		
17		8	30	0,71 a	32	8	15,6	2,82 .		
29		8	30,4	0,9 a	112	8	27,7	0,39 .		
491		8	29,8	0,96 a	Sal	64	7	17,4	1,9 s	
492		8	36,3	0,66 a	34	1	8,5	1,5 s		
66		7	21	2 a	27	8	23,1	0,61 s		
30		6	19,9	2,15 a	282	3	15,2	1,83 s		
501		8	24	1,55 a	41	6	32,4	0,82 s		
56		6	18,1	2,45 a	S	33	8	15,2	1,04 s	
502		6	22,7	1,8 a	51	6	12,8	0,28 s		
ALS	18	8	17,1	1,28 a	52	7	12,3	1,89 s		
	55	7	30,2	1,76 a	62	8	18,4	1,45 s		
	8	5	19,9	1,61 +	53	6	11,6	0,57 s		
	122	2	21,4	1,8 +	54	3	13,7	2,3 s		
	22	8	25,5	1,04 +	43	7	30,2	0,63 s		
	382	8	25,6	1,64 +	57	8	13	0,6 s		
	23	7	42,6	1,26 +	58	0	7,5			
	35	8	33	1,17 +						
	14	5	30,3	0,65 +						
	15	7	20,2	1,29 +						
	16	8	16,9	1,39 +						
	25	4	44,6	0,98 +						
	26	2	32,7	1,9 +						
281	7	32,8	1,28 +							
42	8	37,4	0,86 +							

Cartes et graphiques

Carte 1 : Haute-Marne. Les régions agricoles

Carte 2 : Carte d'isohyètes moyennes. Période 1961-1985

Carte 3 : Données géologiques. Les 2 bandes étudiées

Figure 4 : Répartition des principaux types de sol

Schéma 5 : Système de base de corniche

Schéma 6 : Représentation d'une loupe de solifluxion

Graphiques 7, 8, 9 : Diagrammes des textures

Graphiques ACP 1 à ACP 5 : Représentation des couples dans le plan 1-2

Graphiques 10 à 15 : % ARG = f (profondeur)
% (LF + LG) = f (profondeur)

Graphique 16 : $R_{20} = f(\text{ARG})$

Graphique 17 : $R_{20} = f(\text{ARG}/(\text{SF} + \text{SG}))$

Graphique 18 : $R_{20} = f(\% \text{H})$

Graphiques 19 à 28 : $R = f(\text{profondeur})$

Tableaux

Tableau 1 : Quelques chiffres sur la zone d'étude

Tableaux 2 et 3 : Précipitations et températures

Tableau 4 : Répartition saisonnière des jours de gelées sous abri

Tableau 5 : Echelle stratigraphique

Tableau 6 : Les associations végétales du Bassigny, Amance-Apance

Tableau 7 : Définitions. Paysage-Sol-Formation superficielle-Roche en place

Tableau 8 : Classification par la structure des roches de la zone d'étude

Tableau 9 : Classification par les constituants

Tableau 10 (a..e) : Tableau récapitulatif
Roche-Lithofaciès-Composition-Altérites

Tableau 11 : Installation du réseau hydrographique

Tableau 12: Classification des formations superficielles selon leur origine

Tableau 13 (a..b) : Tableau récapitulatif
Roches-Modelés-Formations superficielles

Tableau 14 (a..b) : Les sols

Tableau 15 (a..d) : Découpage morphopédologique

Tableau 16 (a..b) : Les couples étudiés

Tableau 17 : Echantillonnage des stations réalisé

Tableau 18 : Tableau comparatif des profils pédologiques

Tableau 19 : Tableau comparatif des pH

Tableau 20 : Tableau comparatif des valeurs S/T

Tableau 21 : Tableau comparatif des valeurs S et Ca

Tableau 22 : Tableau comparatif des valeurs C/N

Tableau 23 (a..g) : Relations roche-matériau-sol.
Les variables importantes de la zone étudiée.

BIBLIOGRAPHIE

Géologie:

- [1] MILLOT G., 1950 : *Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses*. Thèse - Faculté des Sciences de l'Université de Nancy.
- [2] RAMZY AL KHATIB, 1976 : *Le Rhétien de la bordure orientale du Bassin de Paris et le "Calcaire à Gryphées" de la région de Nancy. Etude pétrographique et sédimentologique*. Thèse de docteur d'Etat - Université de Nancy I.
- [3] ALLOUC J., 1977 : *Contribution à l'étude sédimentologique du Pliensbachien de la région de Nancy (Bordure orientale du Bassin Parisien)*. Thèse - Université de Nancy I.
- [4] ALLOUC J., GUERIN-FRANIATTE S., RUGET C., 1978 : *Le Domérien de la carrière de Jeandelaincourt (Meurthe et Moselle), bordure orientale du Bassin Parisien*. 103^{ème} Congrès national des sociétés savantes, Nancy, sciences, fasc. IV, p. 303 - 313
- [5] ALLOUC J. et HILLY J., mars 1979 : *Quelques aspects de la sédimentologie du Domérien de la région de Nancy (Est du bassin de Paris)*. Sciences de la Terre, Tome XXIII (1979), n°1, pages 61 à 91, 6 fig., 1 tab., 3 pl.h.-t, Nancy.
- [6] FOUCAULT A., RAOULT J.F., 1984 : *Dictionnaire de Géologie*. Ed. Masson.
- [7] *Guides géologiques régionnaux :*
RAT P. : Bourgogne - Morvan
HILLY, HAGUENAUER : Lorraine - Champagne.
- [8] Société des autoroutes Paris - Rhin - Rhône : *Etudes géotechniques réalisées sur le tracé de l'autoroute A 31. Section Beauchemin - Choiseul*.

Géomorphologie :

- [9] COQUE R., 1977 : *Géomorphologie*, Colin, collection U.
- [10] DERRUAU M., 1974 : *Précis de géomorphologie*, 6^{ème} éd. Masson et Cie.
- [11] DEWOLF Y., 1965 : *Intérêt et principes d'une cartographie des formations superficielles*. Publication de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Caen.
- [12] DEWOLF Y., 1982 : *Mémoires et documents de géographie. Contact Ile de France - Basse Normandie. Evolution géodynamique*. Edition du CNRS, Paris.
- [13] TRICART J., 1965 : *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Ed. Masson et Cie.
- [14] TRICART J. et CAILLEUX A., 1967 : *Traité de géomorphologie. Tome II. Le modèle des régions périglaciaires*. SEDES Paris.
- [15] TRICART J., 1978 : *Géomorphologie applicable*. Ed. Masson.
- [16] ARCHAMBAULT, LHENAFF et VANNEY, 1974 : *Documents et méthodes pour le commentaire de carte (géographie et géologie)*. Ed. Masson, 2 vol.
- [17] CNRS, 1972 : *Mémoires et documents. Cartographie géomorphologique*, NS. vol 12.
- [18] CLAIR A., 1987 : *Carte géologique des formations superficielles. Les limons de l'Auxois au sud de Pouilly en Auxois (Côte d'Or)*. INRA, station de Science du Sol, Dijon.
- [19] CAMPY M. et MACAIRE J.J., 1989 : *Géologie des formations superficielles - géodynamique - faciès, utilisation*. Ed. Masson.
- [20] JOURNAUX A., 1956 : *Les plaines de la Saône et leurs bordures montagneuses. Etude morphologique*. Thèse - Caen. Imprimerie Caron et Cie.
- [21] LAMARRE D., 1969 : *Le Bassigny. Etude morphologique*. Mémoire pour la maîtrise de Géographie. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Dijon.
- [22] EL CHEIKH M., 1980 : *Les plateaux de grès et les plateaux calcaires de la Lorraine du Sud et des confins bourguignons (Etude géomorphologique expérimentale comparée)*. Thèse de docteur d'Etat - Université de Nancy II.

Relations roche - matériau - sol - végétation

- [23] CALLOT G., 1977 : *Logique de la distribution des sols et formations superficielles sur plate-forme calcaire. Notion de système géo-pédologique régional. Exemple de la région Nord Aquitaine.* Bulletin AFES n°4 p. 189 - 205.
- [24] GURY M. et DUCHAUFOR Ph., 1972 : *Relations entre les formations superficielles et la pédogénèse sur substratum calcaire,* Sc. du Sol, Fr., 1, p. 19-24.
- [25] MILLOT G., 1980-1981 : *Apport de la pédologie à la géologie de surface.* Cahiers ORSTOM. Pédologie, Vol XVIII n°3-4, p. 179 - 182.
- [26] BERTRAND G., 1968 : *Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Extrait de la revue géographique des Pyrénées et du Sud Ouest.* Tome 39, Fasc. 3, Toulouse.
- [27] BERTRAND G. 1970 : *Ecologie de l'Espace Géographique. Recherches pour une science du paysage.* Conférence du 28 avril 1970. ENGREF Nancy.
- [28] TRICART J., 1979 : *Paysage, écologie et approche systémique.* Bull. Assoc. Géogr. Franç. Paris n° 465.
- [29] RAMEAU J.C., 1978 : *Notes sur le Carpinion "Mésotrophe" du Sud Est du Bassin Parisien et de la Bourgogne.* Documents phytosociologiques, NS. Vol II, p. 353 - 363, Lille.
- [30] BAILLEUL 1985 : *Colloques phytosociologiques XIII ; végétation et géomorphologie.* CRAMER J., Berlin-Stuttgart, 1986.
- [31] RAMEAU J.C., 1987 : *Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Applications aux forêts du nord-est de la France.* Thèse d'Etat - Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Franche Comté, Besançon.
- [32] FRANC A. : *Stations forestières sur roches carbonatées. Eléments pour un diagnostic et une logique spatiale.*
- [33] FRANC A., 1989 : *Le Massif Central cristallin . Analyse du milieu, choix des essences.* Etudes du CEMAGREF, série forêt n°2.
- [34] ARNOULD P., SIMON L., 1990 : *Les catalogues des stations forestières : de l'histoire d'une idée à ses implications théoriques et pratiques.* ENS Fontenay Saint Cloud. Laboratoire de Biogéographie et d'Ecologie.
- [35] ONF, INRA, 1976 : *Catalogue des stations forestières du Plateau Lorrain.*
- [36] RAMEAU J.C., 1986 : *Catalogue des stations forestières de la Haute Marne : "Bassigny, Amance-Apance".* Besançon.
- [37] IFN, 1985 : *Département de la Haute Marne, résultats du 2° inventaire forestier.* Tome 1.

Pédologie :

- [38] DUCHAUFOR Ph., 1988 : *Abrégé de pédologie*. 2ème édition. Masson.
- [39] BAIZE D., 1988 : *Guides des analyses courantes en pédologie*. INRA.
- [40] BAIZE D., 1983 : *Les Planosols de Champagne humide. Pédogénèse et fonctionnement*. Thèse - Université de Nancy I.
- [41] BAIZE D., 1972 : *Les sols développés dans la couverture des plateaux jurassiques de Bourgogne, pédogénèse et origine*. Bull. Ass. Fr. Et. Sol, 1, p. 37 - 43.
- [42] LAMOTTE M., 1986 : *Contribution à l'étude des relations morphologiques, génétiques et hydrodynamiques entre horizons sableux superficiels et argileux sous-jacents sur un versant de la forêt d'Orléans*. DEA de pédologie (Science des sols), INRA, ORSTOM.
- [43] TYPOLOGIE AGRONOMIQUE, 1988 : *"Les terres à cailloux" des plateaux calcaires du Barrois et de Bourgogne. Les plateaux oxfordiens. Essert (Yonne) - Agronomie Action Barrois Bourgogne*.
- [44] DURAND R. et DUTIL P., 1970 : *Les sols développés sur les calcaires et calcaires dolomitiques du Nord de la Haute-Marne*. Bull. Ass. Fr. Et. sol, n°3, p. 5 - 9.
- [45] DURAND R. et DUTIL P. : *Contribution à l'étude de l'évolution des sols en milieu calcimagnésique*. Note présentée le 23 novembre 1971 à la réunion de l'Ass. Fr. pour l'Etude du Sol.
- [46] DURAND R. et DUTIL P., 1971 : *Etude pédo-agronomique dans les régions du Bassigny, de l'Amance et de l'Apance, Haute-Marne*. INRA, Station d'Agronomie, Châlons sur Marne.
- [47] BENOIT - JANIN P. : *Etude pédologique de la SAFE (Chaumont)*
a : Bourmont, Clefmont, Montigny le Roy, Nogent en Bassigny, 1978
b : Vingeanne et Amance (Cantons de Longeau, Prauthoy, Fayl Billot), 1973
c : Apance, Amance et Bassigny dans les cantons de Bourbonne les Bains, La Ferté sur Amance, Varennes sur Amance, 1974.
- [48] BENOIT JANIN P., 1972 : *SAFE Chaumont. Montigny le Roy, étude pédologique, assainissement*.

Tests pénétrométriques:

[49] CANARACHE A., 1965 : *Les facteurs de la résistance mécanique des sols, et les méthodes utilisées pour les étudier*. Ass. Fr. Et. Sol, n°2, p. 89 - 108.

[50] FAURE A. et FIES J.C., 1972 : *Etude expérimentale de la sensibilité au compactage de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique*. Ann. Agron., 23. (3), p. 317 - 332.

[51] BILLOT J.F., 1982 : *Les applications agronomiques de la pénétrométrie à l'étude de la structure des sols travaillés*. Bull. Ass. Fr. Et. Sol. n°3, p. 187 - 202.

[52] METTAUER H., TUAL Y., HUCK C. et TRENDEL R., 1983 : *De la connaissance du comportement physique et mécanique des sols de l'Est de la France*, Agronomie, 3(2), p. 141 - 152.

[53] CRECY J. de, CONCARET J., PERREY C., mai 1984 : *Essai de caractérisation mécanique des sols par pénétrométrie*. Colloque AFES Bourgogne, 15 p.

[54] DELECOUR F., 1987 : *Carte des sols et praticabilité des terrains forestiers en Belgique*, Pédologie, XXXVII - 3, p. 299 - 320, 4 tab., 6 fig., Gand.

Cartes :

[55] géologiques, au 1/50 000 :

Bourmont
Nogent en Bassigny
Langres
Bourbonne les Bains
Fayl Billot

[56] topographiques, IGN 1/ 25 000 :

Montigny le Roy 3219 ouest
Bourbonne les Bains 3219 est
Fayl Billot 3220 est

[57] des sols :

Carte pédologique de France à 1/100 000, Langres - Notice explicative P. BENOIT JANIN, INRA, 1985.

[58] de la végétation de Nancy, JACAMON M. et TIMBAL J., 1976.

Données météorologiques :

[59] Météo France - Centre départemental de la météorologie, Langres.

Divers :

[60] ONF, Division de Langres : *Orientations locales d'aménagement*. Régions naturelles : Bassigny - Amance - Apance - Vôge - Vallée.

[61] MASSART Ph., 1988 : Rapport de stage pour l'obtention du Brevet de Technicien Supérieur option "Production Forestière". *Guide pour le choix des essences forestières en Bassigny, Amance - Apance*. ENGREF.

[62] CHANTRE G., EICF, 1988 : *Etude préliminaire à la promotion de feuillus précieux (frêne, merisier, érable sycomore). Potentialités des stations. Bassigny, Pays d'Amance - Apance (Haute-Marne)*. CRPF Champagne Ardennes - ENGREF.

[63] HOUIN H. et MEUNIER C., 1989 : *Agriculture et forêt dans la CEE*, Exercice de synthèse réalisé dans le cadre de l'enseignement d'économie de l'option forêt, ENGREF Nancy.

[64] GUITTON J.L., BRETIERE G., SAAR S., 1990 : *Cultures d'arbres à bois précieux en prairies pâturées*. CEMAGREF ATP Montagne, Groupement de Clermont-Ferrand.