



HAL
open science

Relations entre qualité du substrat, flux de matières et activités humaines. Connaissance pour la gestion des ressources en eau de la Région Aquitaine

Dolorès de Bortoli, Pascal Palu, Marie-Paule Lavergne, Dominique Cussey, Roger Sabrier, Alexandra Coynel, Henri Etcheber, Jean Emmanuel Hurtrez, F. Lescure

► To cite this version:

Dolorès de Bortoli, Pascal Palu, Marie-Paule Lavergne, Dominique Cussey, Roger Sabrier, et al.. Relations entre qualité du substrat, flux de matières et activités humaines. Connaissance pour la gestion des ressources en eau de la Région Aquitaine. [Rapport de recherche] université de pau et des pays de l'adour. 2004. halshs-00785848

HAL Id: halshs-00785848

<https://shs.hal.science/halshs-00785848>

Submitted on 7 Feb 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université de Pau et des Pays de l'Adour

I.T.E.M. – Equipe Associée n°3002



n° d'opération OPRESAGE : 2452

n° d'OPINV : 2002-205

Convention n° 2002-2.2.0.2-2452

Février 2004

Responsable scientifique : Dolores DE BORTOLI

Synthèse : Pascal PALU



Relations entre qualité du substrat, flux de matières et activités humaines.

Connaissances pour la gestion des ressources en eau de la région Aquitaine . Partie 3 : interactions natures / sociétés (GIS ECOBAG)

**Fonds FEDER – Objectif 2 Aquitaine 2000-2006
n° d’opération OPRESAGE : 2452
n° d’OPINV : 2002-205
Convention n° 2002-2.2.0.2-2452**

EQUIPES PARTICIPANTES

Identité et Territoires des Elites Méridionales¹ (ITEM) UPPA
D. De Bortoli, M-P Lavergne, P. Palu

Laboratoire de géodynamique - Département Sciences de la Terre UPPA
D. Cussey, R. Sabrier

Département Géologie Océanographie (DGO) – UMR CNRS n° 5805
Université de Bordeaux 1
A. Coynel, H. Etcheber, J-E. Hurtrez , F. Lescure

¹ Le Centre de Recherches Anthropologiques (CRA) qui avait soumissionné ce projet dans le cadre de l’appel d’offres FEDER a fusionné depuis avec le Laboratoire Elites du Sud pour former un nouveau laboratoire (ITEM) reconnu comme Equipe Associée (EA) par le Ministère.

Sommaire

	page
Introduction	1
Démarche scientifique	2
Sites de recherche	4
Méthodologies	5
1. Qualité et évolution du substrat	6
1.1. Des données géophysiques qui singularisent le secteur des Aldudes	6
a. Des données pédologiques qui témoignent de processus érosifs liés à l'occupation humaine ancienne de ces vallées	15
2. De la qualité du substrat à l'action humaine	24
2.1. La nécessité du choix d'un terrain concret de confrontation des disciplines	24
2.2. L'étude du site des Aldudes	28
3. Vers un risque, pour l'instant localisé, d'extension des phénomènes érosifs	36
3.1. Des mutations économiques et techniques génératrices de transformation des paysages	36
3.2. Des pratiques et des savoirs faire qui limitent encore la multiplication et l'extension des phénomènes érosifs.	53
4. Un important transfert de matières mais des processus d'érosion non homogènes :	62
4.1. Des teneurs en MES plus élevées dans le bassin versant le moins anthropisé	62
4.2. Des taux d'exportation très élevés dans les sites étudiés	63
4.3. La nécessité de mesures sur le moyen terme	64
4.4. L'effet déterminant des épisodes de crues	65
Conclusion	68
Bibliographie	72
Crédits illustrations	74
Annexes	75

Introduction

Les résultats de recherches présentées dans ce rapport ont bénéficié du cofinancement de fonds FEDER, du Conseil Régional d'Aquitaine et de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Ils résultent d'une démarche de recherche interdisciplinaire associant des laboratoires des sciences de la nature et des sciences sociales et humaines.

La qualité de l'eau constitue un des principaux objectifs de la gestion de cette ressource. Les particules organiques et minérales véhiculées par les cours d'eau constituent un important vecteur de pollution. Or si certains contaminants voyagent au fil de l'eau à l'état dissous, beaucoup d'autres (phosphore, éléments métalliques tels que plomb et mercure, hydrocarbures ...) sont presque entièrement liés² aux matières en suspension.

Ces matières en suspension constituent, au plan scientifique, « un des descripteurs les plus connus de la qualité des milieux aquatiques, régulant la pénétration lumineuse, transportant une partie ou l'essentiel de la matière organique, des nutriments et micropolluants. Les MES sont aussi le reflet de la nature et de l'intensité des processus d'érosion mécanique et de dépôt de particules sur un bassin »³.

Or, à l'amont de la présence de MES dans les cours d'eau, l'interaction sur les versants entre risque d'érosion des sols, flux de matières en suspension, occupation et nature des activités humaines s'exerçant dans un même bassin versant a été à ce jour peu étudiée, d'où l'objectif de cette recherche interdisciplinaire d'analyser les interactions entre des processus érosifs potentiels -produits d'une évolution morphologique des milieux sur une longue période- et l'impact d'activités humaines en cours, par la transformation des modes d'exploitation de ces mêmes milieux, sur certaines surfaces.

En effet, l'intensification de l'exploitation d'un certain nombre d'espaces de montagne a toujours été lié à de nécessaires évolutions socio-économiques des sociétés agropastorales. Depuis une trentaine d'années, d'abord insensiblement puis de manière de plus en plus accélérée depuis une dizaine d'années, un processus d'extension-concentration spatiale des implantations et activités humaines tend à devenir un point de rupture dans l'évolution socio-économique de ces sociétés : il se traduit en particulier par des facteurs de forçages anthropiques plus agressifs vis à vis des milieux hérités ainsi que par une tendance à s'inscrire dans la durée.

Associer dans une démarche commune des disciplines susceptibles d'appréhender l'ensemble des facteurs, processus et conséquences en jeu constituait un des objectifs scientifiques de ces travaux.

² PIREN Seine 2000

³ Meybeck et al. 1998

Démarche scientifique :

Objectif :

L'érosion des sols et la qualité de l'eau sont deux problématiques imbriquées et indissociables. En effet, l'enrichissement en nutriments des eaux est, avec la percolation au travers des sols, une des conséquences de l'érosion des sols par ruissellement, phénomène diffus et quasi continu, qui augmente avec l'occupation de l'espace naturel et les mutations agraires. Cette forme d'érosion, parce qu'elle constitue un des principaux vecteurs de transfert des polluants, est à l'origine de nombreux conflits d'utilisation des ressources.. Pour en réduire le risque, il faut localiser en amont les zones susceptibles d'émettre des flux de particules.

Le terme de matières en suspension (MES) désigne les particules de taille supérieure au micron contenues dans les eaux fluviales. Elles se déplacent par à-coups, alternant des phases de dépôt (stockage au fond du cours d'eau) et de remise en suspension, donc avec un temps de séjour accru des polluants dans le réseau hydrographique. Par ailleurs, la finesse de ces matières particulaires contribue par son action sur le colmatage interstitiel des lits à la qualité biologique des cours d'eau (faune benthique, piscicole, aviaire). De nombreuses recherches récentes ont mis en évidence leur rôle dans les transports de polluants d'origine anthropique et sur les processus biogéochimiques ; d'autres travaux ont montré que ces matières arrachés aux sols réduisaient le potentiel des terres agricoles et augmentaient les pertes de surfaces productives à long terme.

Des recherches réalisées dans l'estuaire de l'Adour et le piémont pyrénéen ont montré que ces MES ont un impact sur les déplacements dans la colonne d'eau des civelles de l'Adour ⁴ influeraient directement sur l'oxygénation des eaux, colmateraient les frayères et auraient un impact sur les survies embryolarvaires des salmonidés des Nives et Gaves. Dans le même temps des travaux récemment menés sur les rivières pyrénéennes ont mis en évidence que des petits bassins montagneux, tel celui de la Nivelle (238 km²), exportent des charges spécifiques de l'ordre de 75 t.km⁻².an⁻¹ et pouvant même dépasser 300 t.km⁻².an⁻¹ pour les rivières du Pays Basque espagnol ⁵. De tels taux d'exportation comparés à celui de l'Adour (~30 t.km⁻².an⁻¹) montrent l'importance d'une bonne évaluation du transport des matériaux dans les bassins versants montagneux pour établir des bilans corrects du transfert de matière. Outre le problème de l'évaluation de ces transferts, il est nécessaire de comprendre quels sont les facteurs principaux qui contrôlent cette érosion efficace au niveau des bassins versants montagneux. Cette connaissance est en effet un préalable indispensable pour envisager quelle est la sensibilité des systèmes naturels aux variations des conditions du milieu et aux éventuels forçages anthropiques.

Seule une démarche interdisciplinaire et comparative pouvait permettre d'apporter des éléments de réponse. Il fallait en effet pour un même bassin versant mesurer, dans un premier temps, la vulnérabilité et les risques érosifs de ses versants ; analyser ensuite les pratiques techniques et les modes d'occupation des sols susceptibles d'y favoriser ou accélérer la production de MES ; mesurer la quantité de matières en suspension produite par ce bassin versant et comparer les résultats par bassin.

⁴ De Casamajor et al. 1999

⁵ Maneux et al. 1999

Le choix du site :

Le bassin versant de la Haute Nive (800 km²), rivière du piémont pyrénéen, est constitué par quatre bassins versants, de l'Ouest vers l'Est :

- le bassin de la Nive des Aldudes ;
- le bassin de la Nive d'Arnéguy ;
- le bassin de la Nive de Béhérobie ;
- le bassin de la Nive du Laurhibar.

Les bassins versants étudiés sont : la Nive des Aldudes jusqu'à St Etienne de Baïgorry (153,7 km²) et la Nive d'Arnéguy (95,8 km²) qui sont tous les deux d'ordre 5⁶

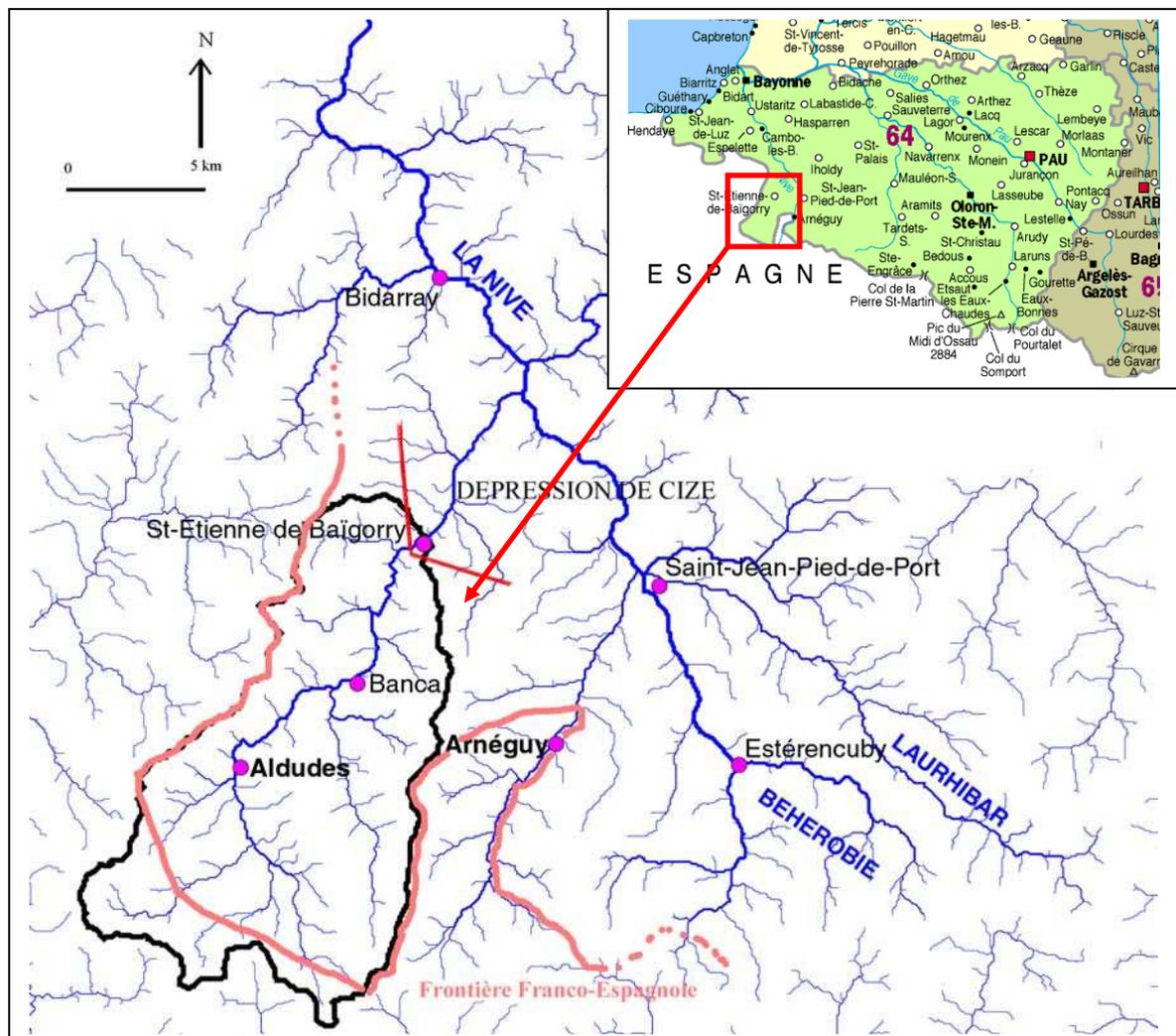


Figure 1 : Carte de localisation

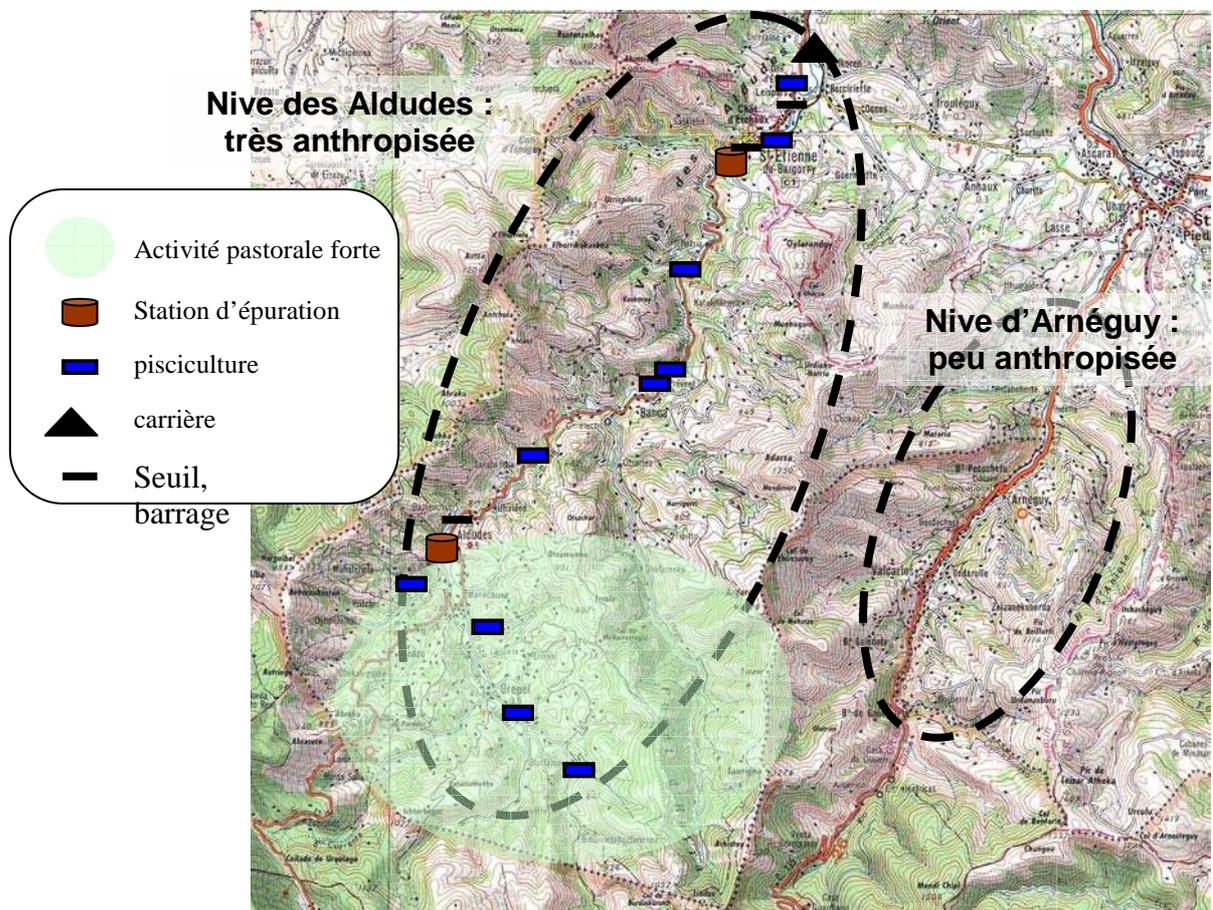
(le trait rouge correspond au tracé de la frontière avec l'Espagne, soulignant que cette limite ne correspond pas aux limites des bassins versants étudiés – le trait noir délimite la Nive des Aldudes qui constitue la partie amont de la Nive de Baïgorry)

⁶ hiérarchisation selon la méthode de Strälher (1952).

Sites de recherche :

Afin d'avoir des bases de comparaison, deux sous-bassins de l'hydrosystème Nives présentant des caractères climatiques et géologiques très proches ont été choisis :

- la Nive d'Arnéguy, peu anthropisée qui constitue la situation de référence
- la Nive des Aldudes très anthropisée au contraire du fait d'une importante activité pastorale mais aussi parce qu'on y dénombre 2 stations d'épuration et 12 piscicultures



Les travaux de recherche effectués dans ces bassins versant ont pour objectif de déterminer sur les versants l'origine des flux de matières, en commençant par la dynamique des particules susceptibles de migrer.

Méthodologies :

1. étude de profils pédologiques le long de toposéquences et de méso-toposéquences afin de définir des risques érosifs selon différents sous-bassins, mesure de susceptibilité par prélèvement d'échantillons de sols et par suivi de cortèges de minéraux argileux.
2. en relation étroite avec les résultats des géologues, pédologues et géochimistes, analyse des pratiques techniques et de l'évolution des modes d'occupation des sols susceptibles de favoriser les risques érosifs par interprétation de séries aériennes sur 35 ans, par observations et enquêtes de terrain
3. évaluation du transport de MES par prise d'échantillon avec un préleveur automatique. Pour une bonne évaluation des flux de matières exportés par les rivières il est nécessaire de procéder à des prélèvements d'eau selon un pas de temps variable en fonction du débit. Alors qu'en période d'étiage, un prélèvement journalier est suffisant, un pas d'échantillonnage de 2 heures doit être choisi en période de crue. Pour cela, nous avons opté pour l'installation de préleveurs automatiques dans des zones de même altitude (160 m). Les secteurs situés plus en aval ont été évités dans la mesure où de nombreux aménagements (installation de parcelles de vignoble) ainsi que les activités de carrières à Saint-Etienne de Baïgorry contribuent à augmenter fortement les charges en MES. Nous avons mis parallèlement en place une ou plusieurs personnes résidents à proximité de l'installation pour en assurer le suivi et la maintenance.

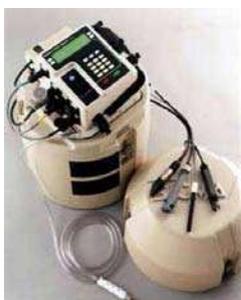


Photo 1 et 2 : Prélèvement automatique et installation à St Etienne de Baïgorry

	Date du début des prélèvements	Assistance sur place	Equipements installés
Ustaritz (Nive)	Février 2002	M. Jubéra, (minoterie Auroy)	- Prélèvement automatique
St. Etienne de Baïgorry (N. Aldudes)	Janvier 2002	CPIE pays basque	- Prélèvement automatique
Uhart-Cize (N. Arnéguy)	Juillet 2002	CPIE pays basque	- Echelle limnimétrique - Prélèvement automatique

Le suivi régulier des débits sur la Nive d'Arnéguy ne se faisant plus par la DIREN, il est nécessaire d'installer un limnigraphe, pour l'enregistrement en continu des hauteurs d'eau. Cette installation est relativement lourde, ce qui explique le retard pris à cette station. Au niveau de la Nive des Aldudes et de la grande Nive (Ustaritz) les données de concentration en MES sont multipliées aux valeurs de débits instantanés fournis par la DIREN pour calculer le flux total de MES exporté.

1. Qualité et évolution du substrat :

1.1. Des données géophysiques qui singularisent le secteur des Aldudes :

L'effet majeur de l'action des pluies sur un sol limoneux est de détruire les agrégats. La surface du sol passe d'un état meuble et poreux à un état plus compact. La couche superficielle s'individualise par rapport au reste du profil et forme une « croûte de battance » qui diminue considérablement la perméabilité du sol, accroît le ruissellement et l'érosion.

Le ruissellement, qui joue un rôle déterminant dans le détachement des particules en particulier dans ses formes d'incision et de transport, **dépend de mécanismes de formation liés à la conjonction de paramètres biophysiques et humains**. Ainsi, lorsque la pente est nulle l'écoulement des eaux de pluie est faible et les produits détachés par la battance restent pour l'essentiel sur place. **La présence de talus** contribue à freiner l'écoulement de l'eau, à réduire sa capacité de transport, à favoriser la sédimentation d'une partie des matières solides, à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau, à allonger son temps de circulation, à faciliter pour partie son infiltration : leur suppression ainsi que celle des haies qui les accompagnent sont donc des facteurs aggravants des processus d'érosion⁷

Un **couvert végétal bien développé protège le sol de l'action des pluies** La couverture qui protège le mieux le sol de l'action des gouttes de pluie est **la prairie**⁸. Son réseau racinaire dense maintient en place les particules emprisonnées. Par ailleurs la végétation, par sa consommation d'eau, contribue à drainer et assécher le sol. Mais l'effet protecteur de ce couvert végétal n'est efficace que si la surface du sol n'est pas dégradée avant que la végétation se soit suffisamment développée pour exercer cette protection⁹.

L'intervention humaine joue un rôle déterminant à plusieurs niveaux :

- par la transformation de la nature du couvert végétal
- par les modalités temporelles (périodes dans l'année, avant ou après pluie, etc) et spatiales (nature physique du terrain) de son intervention
- par les techniques culturales mises en œuvre qui peuvent interférer sur la structure initiale du sol et sur sa texture et sa composition physico-chimique.

L'érosion des sols par l'eau est donc un phénomène complexe qui résulte de divers processus en jeu, causés par l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement, qui varie en fonction de la résistance du milieu et de sa topographie et ce avant même toute intervention humaine qui peut en accentuer ou bien en limiter les effets.

Il était donc important d'initier notre démarche interdisciplinaire par une analyse des « qualités » géophysiques du substrat à l'échelle des bassins versants choisis, base de connaissances à partir desquelles nous serions en mesure

⁷ Macary et Paulais 2003

⁸ Tellier 2000

⁹ Boiffin et al. 1988

développer une problématique d'interactions entre qualité du substrat – activités humaines - phénomènes d'érosion – flux de matières.

a) Un modelé très différencié selon les bassins :

Le fait que les deux rivières coulent selon une même direction quasi Sud-Nord et dans des formations géologiques comparables doit permettre de comparer les flux de MES dans ces rivières et de rechercher quelles sont les relations avec facteurs de contrôle naturels (tectonique, lithologie, climat) les activités humaines menées dans ces bassins.

Dans le secteur d'étude, les Nives serpentent dans les formations essentiellement du Primaire et Secondaire des massifs basques.

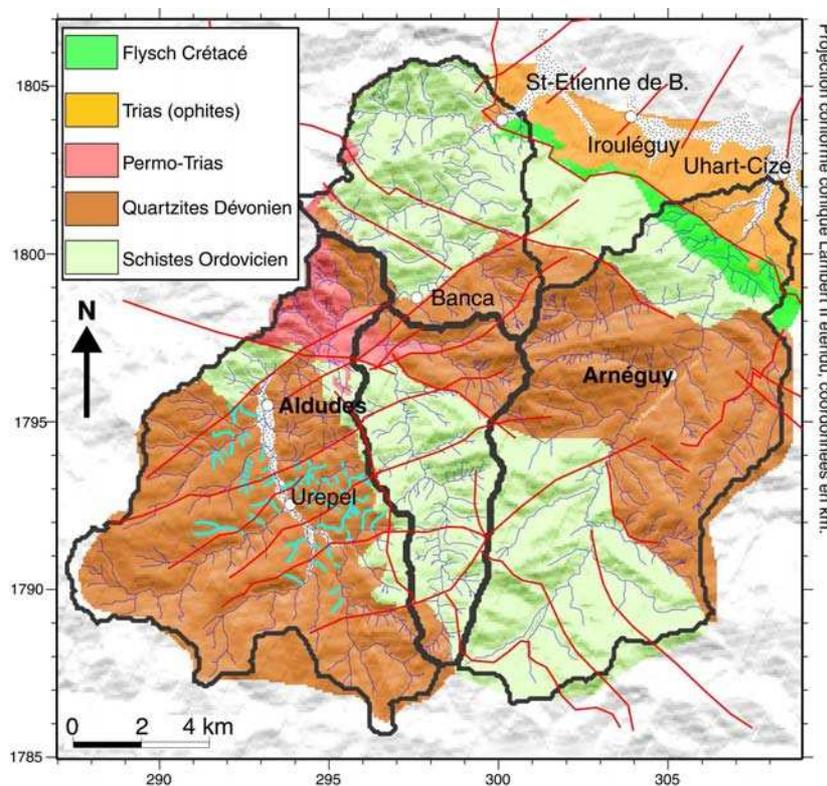


Figure 2 : Carte géologique simplifiée des deux bassins versants

Le réseau hydrographique est figuré en bleu. Les paléo-vallées (vallées sèches) sont représentées en trait épais bleu clair. Les traits rouges correspondent aux failles principales

L'exportation de matière au niveau des petits bassins versants basques ne peut se faire que s'il existe une production de matériaux facilement mobilisables sur les versants, à un taux de production moyen de 0,5 mm/an d'après nos calculs

Afin d'analyser les facteurs de variations possibles pour expliquer la variabilité de l'érosion dans l'espace, nous nous sommes attachés à une **étude morphologique** menée sur les deux bassins principaux (Nive des Aldudes et Nive d'Arnéguy) ainsi que sur les sous bassins versants qui constituent la Nive des Aldudes à savoir la rivière d'Hayra, la

Nives des Aldudes en amont de la confluence avec le bassin d'Hayra et enfin la zone aval (secteur de Banca à Saint-Etienne de Baïgorry).

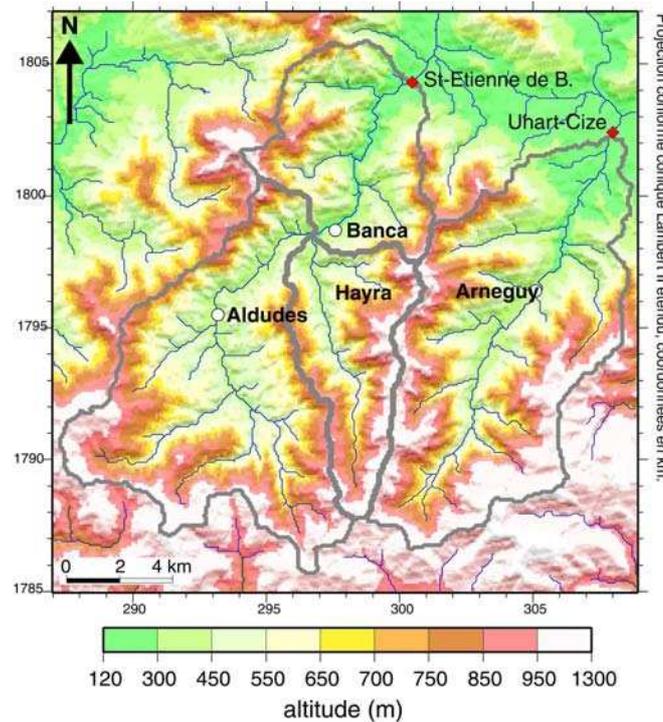


Figure 3 : Carte topographique de la zone d'étude.

Le réseau hydrographique est simplifié aux rivières les plus importantes. Les deux Nives ont un écoulement vers le Nord-Nord-Est et ont été équipées de préleveurs automatique et d'un limnigraphe (Nive d'Arnéguy) Les traits gris épais délimitent les bassins et les sous-bassins étudiés.

La **Nive des Aldudes** a globalement une orientation SE-NO de Urepel aux Aldudes, puis SO-NE jusqu'à St-Etienne-de-Baïgorry (fig. 1A. annexe 1), pour une longueur totale de réseau de 329,2 km. Le bassin versant en lui-même, dont la superficie est de 153,7 km², est un bassin d'ordre 5 (fig. 1B annexe 1), à l'intérieur duquel on trouve 5 bassins d'ordre 4. Toutefois, on peut décomposer ce bassin en trois sous-bassins Aldudes (82,3 km²), Hayra (32,3km²) et Banca (39,1 km²).

Le **sous-bassin des Aldudes** (d'ordre 5) a une **morphologie particulière**, la vallée a un fond plat avec des versants à pentes douces depuis le sud d'Urepel jusqu'au nord des Aldudes (fig.1A annexe 1), il y a de nombreux mamelons très arrondis. Tous ces éléments sont **caractéristiques d'une influence glaciaire**. Toutefois on n'observe pas de moraine significative (qu'elle soit latérale ou de fond), ni de cirque glaciaire, signes de l'ancienne présence d'un glacier, sans compter que la taille de la vallée n'est pas très importante; la présence d'un névé, plutôt que d'un glacier, est plus vraisemblable.

Le **sous-bassin d'Hayra**, d'ordre 4, orienté S-N, est très étroit. La vallée est incisée, avec des versants plus raides, synonymes d'une **morphologie fluviale**. Il en est de même pour la vallée du sous-bassin de Banca (d'ordre 5), qui recueille les eaux des deux autres sous-bassins. Elle a un profil en « V »; ce sont presque des gorges.

La **Nive d'Arnéguy** a une orientation SSO-NNE et draine un bassin, d'ordre 5 (fig. annexe 1), dont la superficie totale est de 95,8 km². A l'intérieur de ce bassin on

trouve cinq sous-bassins d'ordre 4. Au vu des figures (1C et 1 D annexe 1), on peut décomposer ce bassin en 2 sous-bassins: les sous-bassins d'Améguy et de Lasse, tous deux d'ordre 5.

Le premier, qui a une superficie de 85,4 km², est plutôt un sous-bassin de moyenne montagne. Sur la carte géomorphologique (fig. 1C annexe 1) on s'aperçoit que les vallées sont incisées, en «V», ce sont **des vallées fluviales à versants plus ou moins raides**. Sur la carte du réseau hydrographique (fig. 1D annexe 1) on observe une certaine organisation avec de grands bassins secondaires d'ordre 3 ou 4, perpendiculaires à la vallée principale.

Le second, qui a une superficie de 10,4 km², est un sous-bassin de basse montagne, les pentes des versants sont beaucoup plus faibles et le fond de la vallée est plat. Toutefois, contrairement au sous-bassin des Aldudes, l'origine n'est pas glaciaire. Cette morphologie est due à un changement de lithologie, le sous-bassin de Lasse a un substratum ophitique qui correspond à la dépression de Saint-Jean-Pied-de-Port. Cette lithologie peut être à l'origine de distribution aléatoire du réseau hydrographique, avec des sous-bassins à faibles superficies et dont l'ordre ne dépasse pas 3.

b) L'abondance des pluies océaniques, facteur favorable à un important ruissellement :

La chaîne des Pyrénées forme un **obstacle aux systèmes nuageux océaniques** qui l'abordent ; elle contraint l'air humide à l'ascension et donc au refroidissement et au délestage hydrique. Cela explique les **très fortes précipitations** sur les Pyrénées.

Dans le secteur des Nives, l'étude des précipitations peut être appuyée sur trois stations pluviométriques :

- La station de Banca (254 m) située dans la **vallée des Aldudes** ;
- La station d'Irouléguy (230 m) située en aval de St Etienne de Baïgorry ;
- La station d'Estérencuby (230 m) située dans la vallée de la Nive de Béhérobie, voisine de celle de la Nive d'Arnéguy .

Les données indiquent que la région est soumise au **régime océanique** qui se caractérisent par des pluies fréquentes et prolongées avec un total de précipitations en moyenne annuelle supérieur à 1500 mm.. En outre, on observe à chaque saison hivernale des pluies importantes (200 à 500 mm en quelques heures). Ces **pluies de saison froide** sont à l'origine de l'augmentation rapide du débit des Nives et de leur maximum. En dehors de ces épisodes pluvieux relativement brefs, l'hiver est globalement sec et **la neige ne s'accumule pas sur les reliefs**.

L'examen de la fréquence des directions des vents à Biarritz-aérodrome, montre **l'importance des vents d'origine océanique** avec une légère prédominance des vents de NW. En montagne et dans les vallées, les résultats seraient très différents, mais on peut estimer que les vents de secteur Ouest sont les vecteurs principaux des systèmes nuageux intéressant cette région ¹⁰

Le printemps comporte habituellement une période continue d'ensoleillement et de chaleur avec des coups de fœhn plus ou moins brefs, qui couvrent plusieurs semaines. On a donc, malgré la pluviosité générale, peu de neige en dessous de 1500 m. Le **maxima de débit des rivières** va correspondre aux pluies de printemps

Les systèmes nuageux d'origine océanique s'affaiblissent au fur et à mesure de leur avancée à l'intérieur du continent. Ce phénomène se vérifie à l'intérieur des limites

¹⁰ Carruesco 1971

du bassin étudié. Ainsi, de Banca à l'Ouest à Esterençuby à l'Est, on observe une diminution progressive de la pluviométrie d'Ouest en Est qui passe d'une pluviométrie moyenne comprise entre 1600 à 2100 mm. par an à une moyenne comprise entre 1400 et 1600 mm.

c) un contexte hydrographique différent pour la vallée des Aldudes :

Malgré des superficies différentes, les bassins des nives des Aldudes et d'Arnéguy ont des altitudes relativement proches.

		surf (km ²)	Altitude moy. (m)	Altitude min.(m)	Altitude max. (m)
	Bassin total	153.7	673	160	1423
	sous-bassin Aldudes amont	82.3	713	280	1423
	sous-bassin Hayra	32.3	759	280	1244
	sous-bassin Banca	39.1	526	160	1283
Nive d'Arnéguy		95.8	694	165	1493

Les profils en long des rivières :

La comparaison des profils en long des rivières montre que la partie amont de la Nive se caractérise par une zone de faible gradient, secteur où s'accumulent des dépôts fluviatiles (entre Les Aldudes et Urepel). En revanche, le long de la rivière d'Hayra et de la Nive d'Arnéguy, les gradients sont plus forts. On peut, de plus, observer des zones où les gradients des rivières s'écartent d'un profil en équilibre. Dans la mesure où ces zones ne correspondent pas à des variations notables de la lithologie ni à des variations importante d'aire drainée, ceci suggère que **des mouvements verticaux différentiels pourraient exister dans le secteur étudié.**

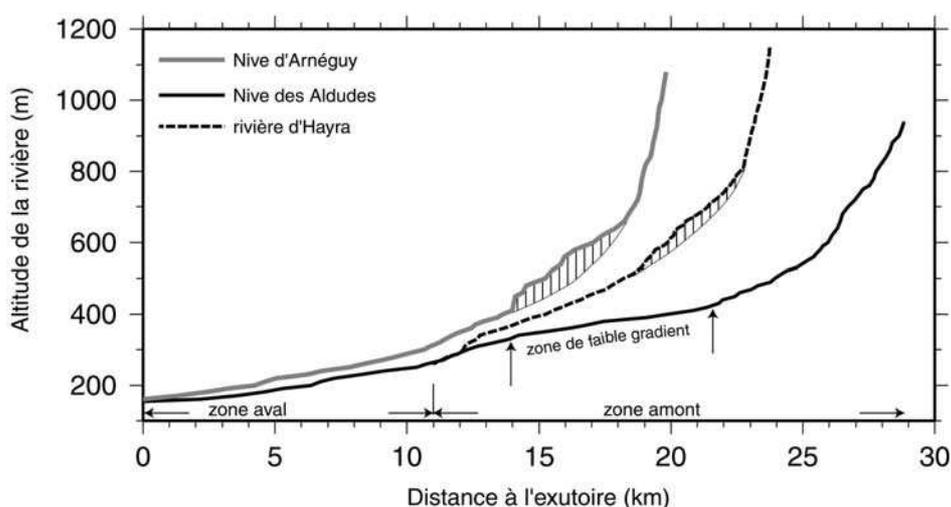


Figure 4 : Profils longitudinaux des Nives d'Arnéguy, des Aldudes et d'Hayra.

La distance est calculée le long de la rivière principale et les altitudes repérées sur les cartes de l'IGN au 1/25.000. Les domaines hachurés sous les profils de la rivière d'Hayra et de la Nive d'Arnéguy montrent les zones où ces profils s'écartent fortement d'un profil d'équilibre (profil logarithmique).

Des encaissements différenciés des vallées :

Il est bien connu que l'encaissement d'une vallée (différence d'altitude entre les crêtes et le cours d'eau) est un paramètre qui dépend de la largeur de la vallée. Pour tenir compte des variabilités spatiales de l'encaissement et de la largeur des vallées, nous avons travaillé sur le Modèle Numérique de Terrain acquis auprès de l'IGN afin de déterminer pour chacun des bassins les relations liant l'encaissement moyen de la vallée à la largeur moyenne de la vallée (figure 5).

Les résultats montrent que les relations encaissement-largeur des vallées sont proches pour les deux bassins des Nives. En revanche, il existe des différences significatives entre les sous bassins délimités dans le bassin versant des Aldudes. En particulier, on constate que le secteur aval de Banca est aussi encaissé que le sous-bassin d'Hayra. De façon surprenante, **dans le secteur des Aldudes amont, la vallée se caractérise par un moindre encaissement qu'elle que soit sa largeur**. Ceci démontre que des différences d'incision des rivières peuvent exister à l'intérieur du bassin des Aldudes.

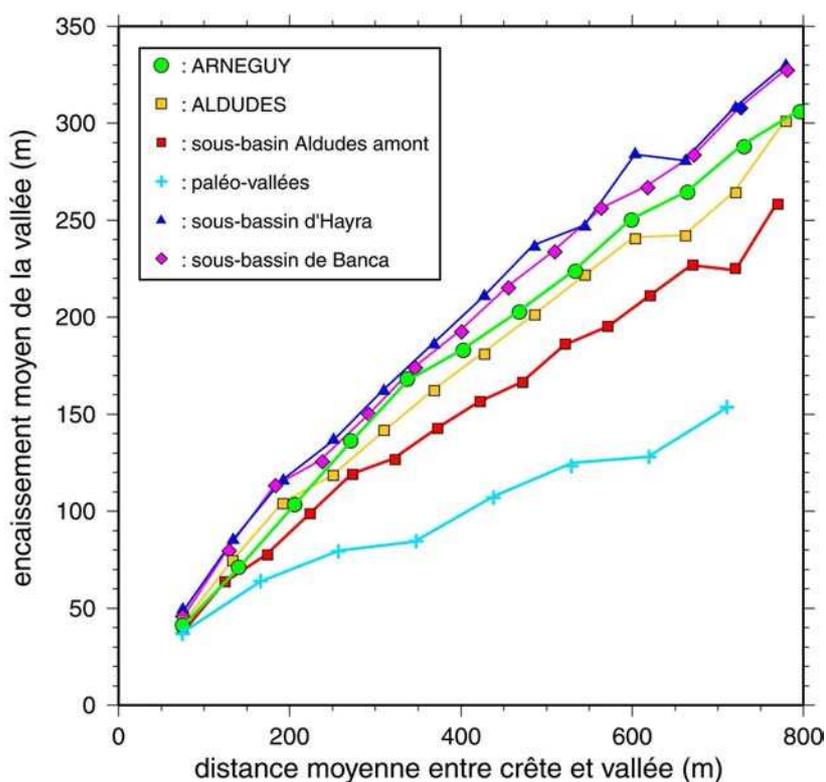


Figure 5 : Encaissement des vallées en fonction de la distance entre la crête et la rivière, calculé pour les bassins des Nives, les trois sous-bassins délimités dans le bassin des Aldudes et les vallées sèches (paléo-vallées) identifiées dans le secteur des Aldudes amont

Les encaissements moyens des vallées sont proches pour les deux bassins des Nives. En revanche des variations significatives apparaissent entre les différents sous bassins ainsi que pour les vallées sèches qui se caractérisent par un encaissement très faible

Lorsque l'on calcule l'encaissement des vallées des paléo-vallées (ou vallées sèches) mises en évidence dans la partie amont du bassin des Aldudes (figure 2 page 7), on observe que ces vallées ont une signature particulière puisque leur encaissement est considérablement inférieur aux autres vallées étudiées.



Photo 3 : Exemple de vallée sèche (paléo-vallée) à section en U, près de Curutche Lépoa. (vallée des Aldudes)

Ceci confirme que ces vallées résultent de processus d'érosion autres que l'incision fluviale. On peut considérer que ces paléo-vallées sont des témoins, non repris par l'érosion, des phénomènes d'érosion périglaciaires qui agissaient pendant la dernière période froide (Würm). Une question qui se pose est de savoir pourquoi ces vallées ont été épargnées de l'érosion dans le seul secteur des Aldudes amont et non pas dans tout le secteur d'étude.

Un régime hydrologique océanique :

Le régime des cours d'eau est **pluvial-nival**. La figure 6 présente les valeurs moyennes des débits à St Etienne de Baïgorry de 1920 à 2002.

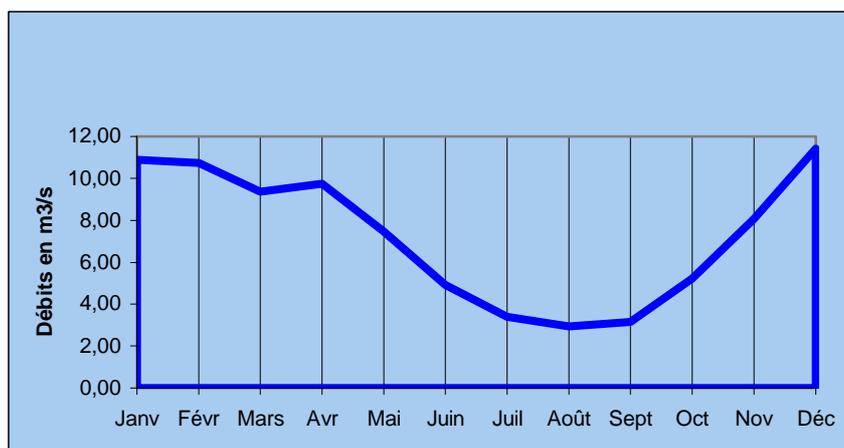


Figure 6 : Hydrogramme de la Nive des Aldudes à St Etienne de Baïgorry (moyenne de 1920 à 2002 - données DIREN)

On note **deux périodes de hautes eaux** : la période hivernale et la période centrée sur le mois d'avril ; ainsi qu'**une période d'étiage** durant les mois d'été. Les poussées d'avril seraient plutôt dues aux fortes précipitations durant ces périodes qu'à l'enneigement qui est négligeable sur le bassin. Sur la période de 1920-2002, le **débit annuel moyen est 7.35 m³/s**.

d) une occupation des sols sans relation avec les grandes caractéristiques morphologiques :

Des reliefs qui ne correspondent pas à des limites lithologiques :

Les résultats présentés précédemment ainsi que d'autres analyses menées sur le réseau hydrographique montrent que l'organisation du réseau de drainage est variable dans le secteur d'étude. Afin d'analyser si de telles différences morphologiques touchent également l'ensemble du bassin versant (i.e. le réseau hydrographique ainsi que le système des versants qui sont associés), nous avons calculé la dénivelée moyenne à une échelle d'observation donnée sur l'ensemble des bassins étudiés (figure 7).

A l'échelle des bassins des Nives, on constate que le bassin des Aldudes se caractérise par un relief moins fort que celui de la Nive d'Arnéguy, lorsque l'on calcule ce paramètre pour des distances supérieures au kilomètre. Toutefois ces différences de relief restent modérées. Lorsque l'analyse est menée à l'échelle des sous bassins, on constate que les reliefs des bassins d'Arnéguy, d'Hayra et de Banca sont proches. En revanche, quelque soit l'échelle d'observation, le relief est significativement plus faible dans le secteur Aldudes amont. Compte tenu des relations qui existent entre érosion mécanique des terrains et le relief, ce résultat suggère **de forts contrastes d'érosion dans le bassin versant des Aldudes.**

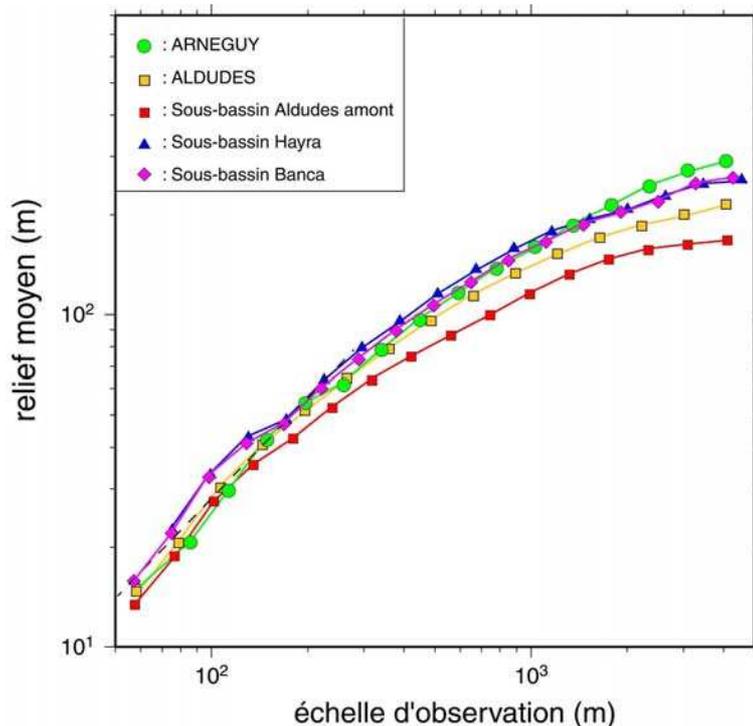


Figure 7 : Relief moyen en fonction de la distance

calculé pour les deux bassins des Nives et pour les sous-bassins délimités dans le bassin des Aldudes. Le relief calculé dans les Aldudes est systématiquement plus faible que celui du bassin d'Arnéguy. Cette différence tient à l'existence d'une zone à relief significativement plus faible dans la partie amont du bassin des Aldudes alors que les secteurs d'Hayra et de Banca ont des reliefs forts

Afin de déterminer si les différences de relief peuvent être liées aux différences de lithologies, nous avons calculé le relief dans chacun des bassins et des sous bassins pour les différents types lithologiques. Les résultats montrent que **les variations de relief ne correspondent pas aux limites lithologiques** mais dépendent de la position dans le secteur d'étude ; l'analyse de la morphologie d'ensemble des bassins met en évidence l'existence de différences bien marquées dans les paysages qui dérivent d'une évolution morphologique sur une période de temps relativement longue (présence de témoins des modifications climatiques du Quaternaire).

Dans le secteur des Aldudes amont, l'existence de vallées sèches, à profil en U, atteste de l'importance des processus d'érosion en contexte périglaciaire au Quaternaire. Le fait que l'on ne retrouve ces morphologies que dans le secteur des Aldudes amont peut être interprété comme le signe d'une évolution tectonique différentielle avec des secteurs soulevés (Hayra, Banca et Arnéguy) au niveau desquels le relief est accentué et les rivières plus fortement incisées et le secteur des Aldudes amont relativement abaissé où les rivières sont moins encaissées et où le relief reste plus faible. Ceci suggère donc un contrôle **tectonique Quaternaire de l'évolution morphologique de la région d'étude**. Ce cadre d'évolution doit être pris en compte pour expliquer les variations de transferts de matières dans les rivières.

Une occupation du sol dont la variabilité est avant tout le fait de l'homme :

Afin d'analyser les relations qui peuvent exister entre les contrastes morphologiques forts qui existent dans le secteur d'étude et l'occupation des sols (telle qu'elle est définie dans les bases de données de l'IGN), nous avons calculé les proportions des différents types d'occupation des sols dans chacun des bassins et sous-bassins (figure 8).

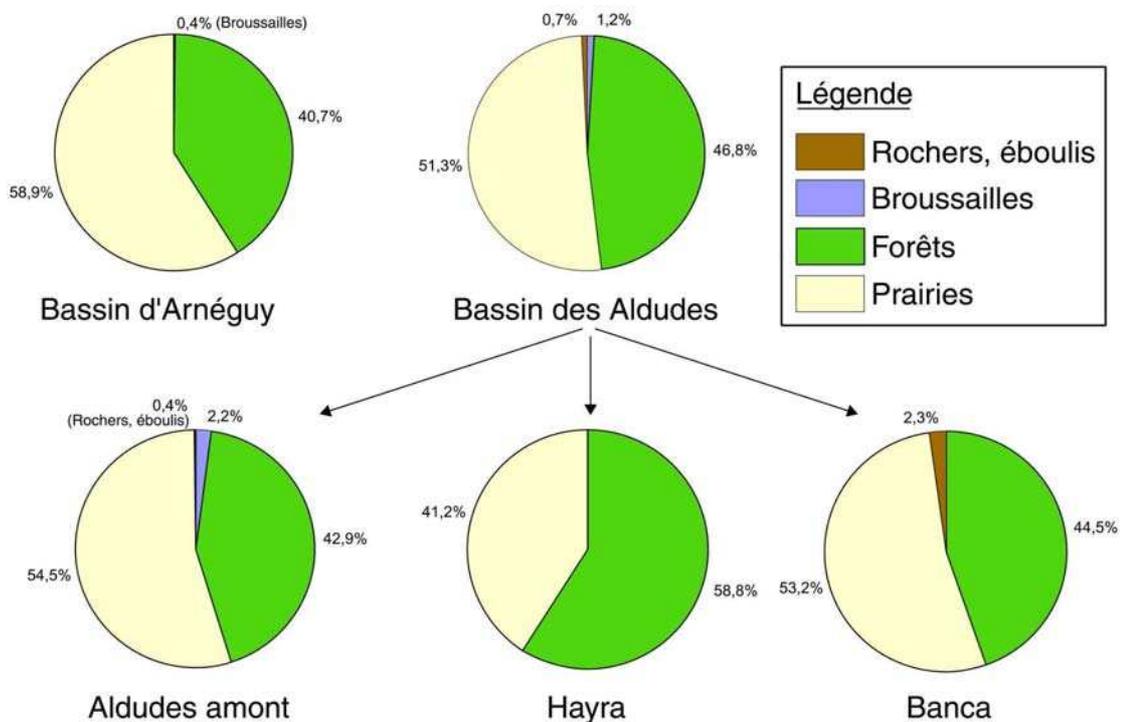


Figure 8 : Répartition de l'occupation des sols
(données de la base IGN)

Les données de la base IGN ne permettent pas de faire la distinction dans les « milieux ouverts » entre prés, prairies, pâturages, landes de parcours, elles nous permettent seulement dans les bassins et sous-bassins du secteur d'étude d'évaluer la part respective des forêts, prairies et landes, zones de broussailles et rochers dans l'occupation des sols des différents bassins.

Les résultats montrent qu'il n'y a **pas de relation claire entre l'occupation des sols et les grands types morphologiques précédemment définis**. En particulier, on observe que les bassins d'Hayra, de Banca et d'Arnéguy qui sont assez semblables du point de vue de leurs caractéristiques morphologiques, ont des proportions forêt / prairies-landes assez variables.

L'occupation des sols et l'entretien des surfaces à vocation de pâturages ou de forêt sont, dans ce secteur du Pays basque, parfaitement maîtrisés par l'Homme et ne reflètent donc pas les différences morphologiques

1.2. Des données pédologiques qui témoignent de processus érosifs liés à l'occupation humaine ancienne de ces vallées :

Les matières minérales en suspension dans les cours d'eau proviennent des matériaux issus des versants du bassin dont il est nécessaire de déterminer l'origine. **Les zones à risques d'érosion sont celles qui sont potentiellement riches en éléments meubles, formés par désagrégation mécanique et/ou altération chimique des roches du substratum.**

Deux types de zones sont concernées : celles où les roches mères dures sont encore recouvertes par des altérites suffisamment épaisses et celles où les roches mères tendres apparaissent à la surface. Les altérites et les sols qui en résultent sont plus ou moins épais et évolués. Le degré d'altération, perceptible à travers les cortèges de minéraux argileux, est directement lié à la durée des processus et par conséquent à la stabilité tectonique. La démarche adoptée consiste donc à étudier les associations de minéraux argileux et leur évolution dans les sols et les altérites.

a) L'étude des cortèges argileux

Il s'agit de mettre en évidence les zones nourricières en MES à partir de la composition des minéraux argileux présents sur le terrain. A partir de la carte géologique au 1/50.000° (Saint Jean-Pied-de-Port – annexe 2) et de couvertures aériennes, nous avons :

- inventorié les roches tendres du substratum géologique
- inventorié les différentes altérites en fonction de ce substratum
- positionné ces altérites en fonction de la géomorphologie
- caractérisé ces altérites par les minéraux argileux
- mis en évidence les altérites tronquées ou rajeunies
- recueilli et analysé des matières minérales.

La complexité du terrain a nécessité plusieurs journées de terrain permettant de lever des séries de toposéquences ¹¹ (figure 9) et de prélever des centaines d'échantillons.

Sous l'influence du climat tempéré, les roches soumises à l'altération donnent naissance à des minéraux argileux particuliers : kaolinite en traces mais surtout vermiculites et illite-vermiculite à partir des illites-micas.

L'analyse des échantillons des toposéquences a montré que les altérites présentes avaient des cortèges relativement peu différenciés. Cela tient à la présence quasi permanente dans le substratum de roches métamorphisées (quartzites, schistes et parfois calcaires dolomitiques) ne possédant qu'un cortège argileux peu différencié et formé essentiellement de micas - illite.



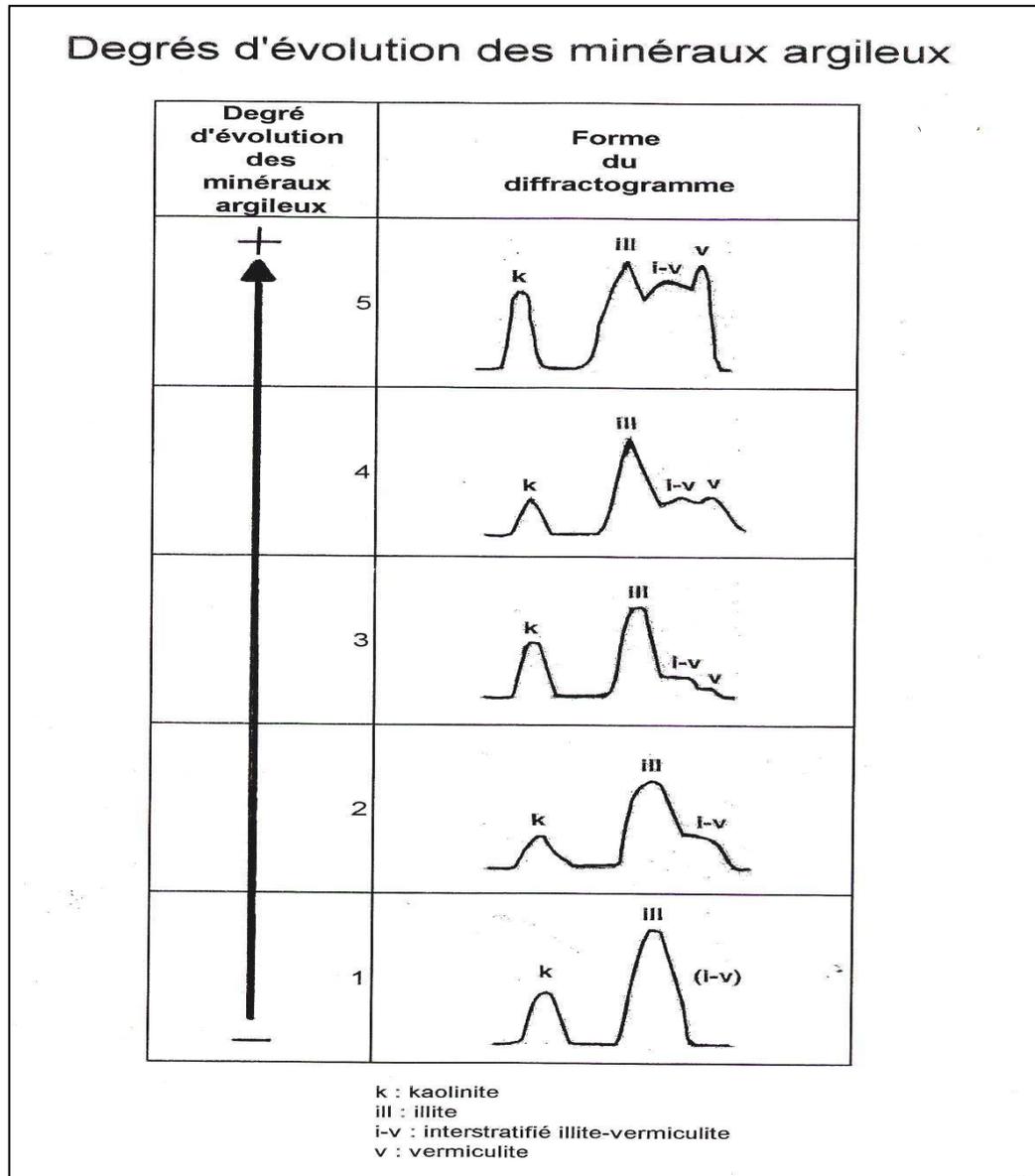
Figure 9 : Profil de toposéquence

Cependant, l'analyse des profils étudiés nous a permis de mettre en évidence deux types d'évolution verticale des minéraux argileux qui peuvent permettre de distinguer les zones stables des zones instables sujettes à érosion.

En effet les cortèges de minéraux argileux analysés sont constitués de minéraux hérités, à savoir des illites et des minéraux issus de l'altération / pédogénèse tels que kaolinite, interstratifiés illite / vermiculite et vermiculite.

¹¹ Suite de coupe de sols le long d'un versant permettant d'établir des profils pédologiques

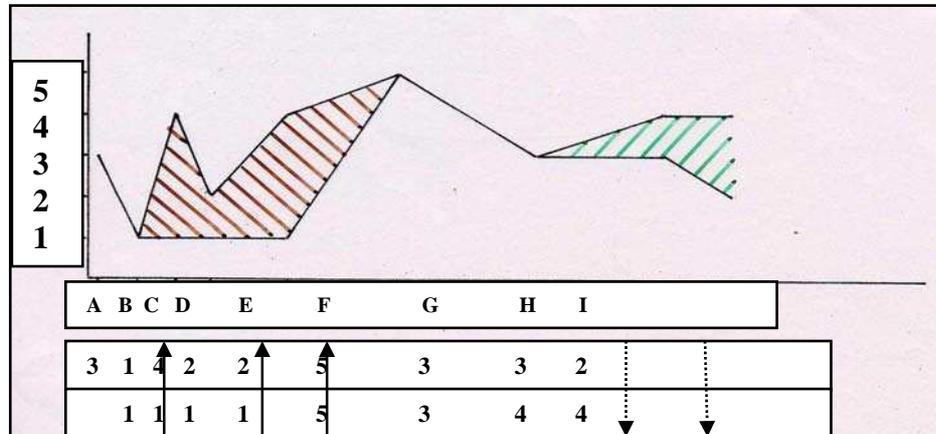
Figure 10 : degré d'évolution des minéraux argileux



Comme le montre la figure 10, cinq degrés d'altération apparaissent avec des teneurs croissantes en interstratifiés illite/vermiculite et vermiculite. En effet au cours du processus d'altération, on passe progressivement des illites aux vermiculites avec des termes intermédiaires à illite/vermiculite.

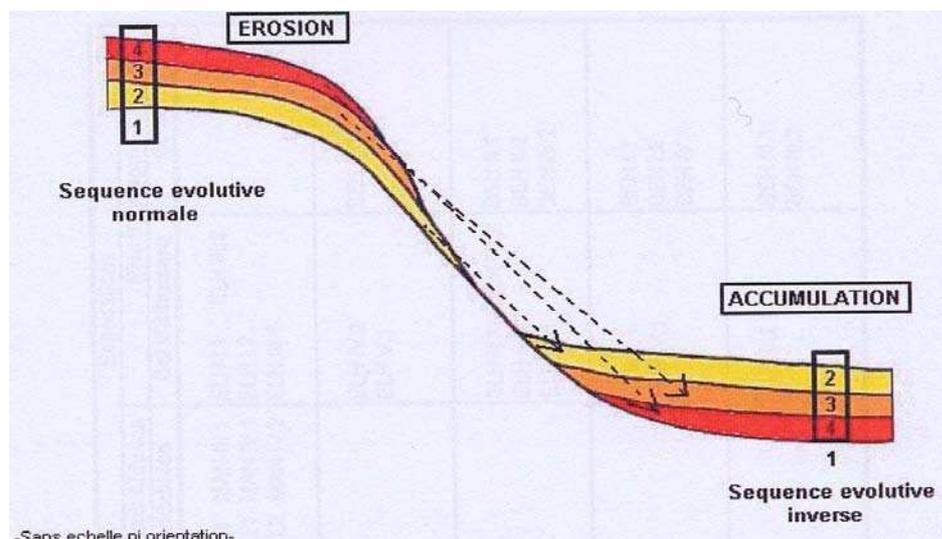
On peut définir dès lors des degrés d'altération croissants par rapport au temps, degrés qui expriment la résistance à l'érosion. On distingue ainsi des illites seules (type 1), des illites / vermiculite (type 2), puis des illites avec illite/vermiculite et des vermiculites en teneur croissante (type 3 à 5)

Dans les différents profils étudiés le long des toposéquences apparaissent trois types d'évolution verticale des minéraux argileux que caractérise bien le schéma de la toposéquence de Banca :



1. un degré d'évolution « normal maximal » (degré 1 à 5) qui caractérise les zones les plus stables à sols épais
2. un degré d'évolution « normal mais faible » (degré 1 et 2) qui caractérise les zones soumises à l'érosion mais à sols squelettiques
3. un degré d'évolution inverse (degré 4 à 2) dans les secteurs de colluvionnement le long des pentes.

Il est possible de schématiser le processus entre zones stables et zones instables, c'est-à-dire sujettes à l'érosion, de la manière suivante :



Duval – 2003

Ce schéma met en évidence les **degrés d'altération croissants vers le haut de la pente** et des **degrés d'altération inverses vers le bas**.

L'examen de l'évolution du cortège argileux nous permet donc de mettre en évidence :

- des **zones stables**, à degré d'altération croissant qui témoigne de l'action de celle-ci sur une longue période
- des **zones d'accumulation** qui présentent des degrés d'altération inverse consécutive à l'accumulation de matériaux de moins en moins évolués en provenance des zones d'érosion
- des **zones érodées** parce que sans évolution du degré d'altération.

D'une manière générale, les études des profils pédologiques réalisés montrent que **les secteurs les plus stables ont des sols épais et un degré optimal d'évolution, tandis que les secteurs soumis à érosion ont des sols squelettiques avec un degré d'évolution réduit.**

b) Des conséquences décelables de l'activité humaine dans la texture des sols :

Les paléosurfaces

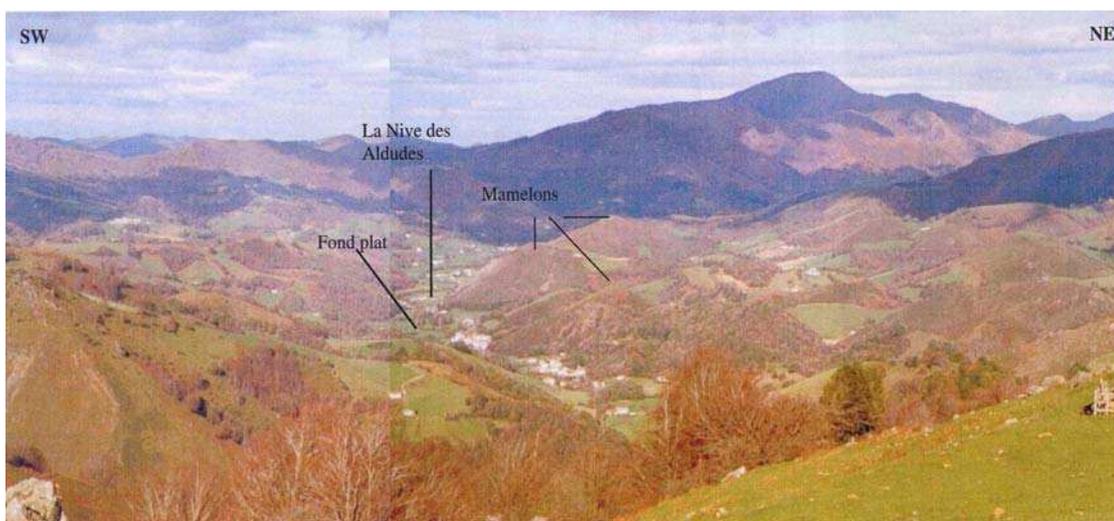


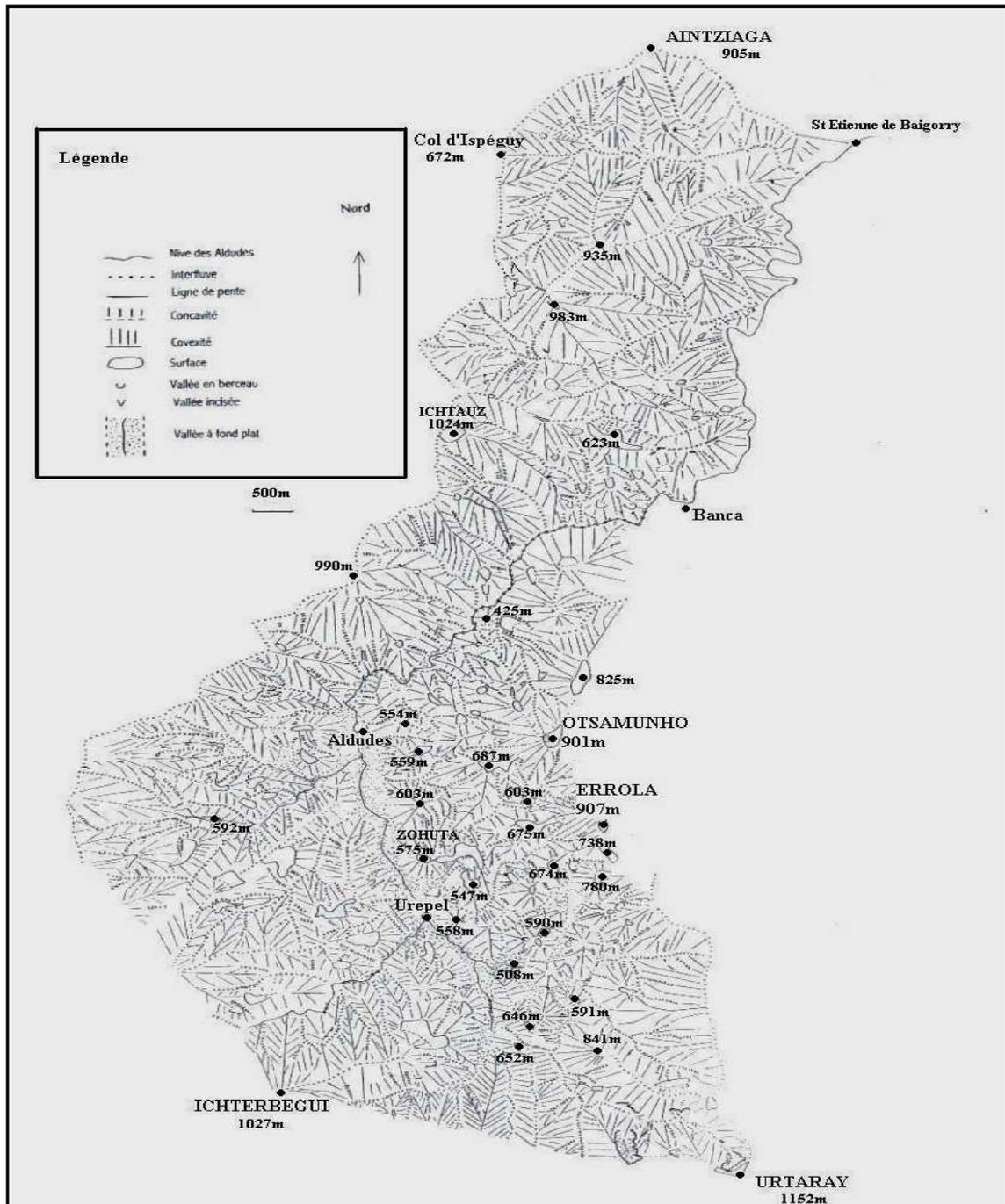
Photo 4 : La présence de niveaux sous forme de buttes témoins

La carte géomorphologique (figure 11) met en évidence des **paléo-surfaces d'érosion** uniquement dans le sous-bassin des Aldudes. Trois familles majeures semblent se dégager : la première vers 550 m, la seconde vers 670 m. et la troisième vers 900 m.

Elles apparaissent **sous forme de buttes témoins dans le paysage** comme le montre la photo 4.

S'agit-il d'une même surface disloquée par des failles ou de surfaces d'âge différents ?

Figure 11. carte géomorphologique et paléo-surfaces



Nous n'avons pu apporter de réponse définitive, mais il semble qu'il s'agisse d'une seule et même surface :

- d'une part, l'observation du paysage actuel, si l'on fait abstraction des vallées, montre l'existence des glacis plongeant vers l'axe de la vallée actuelle (photo 5).

Photo 5. Existence de glacis anciens
soulignés par le trait blanc



- d'autre part, si les surfaces étaient d'âge différents, le vieillissement des altérites aurait dû se traduire par des variations du cortège argileux comme celles que l'on observe sur les terrasses quaternaires du piémont pyrénéen. Or ce n'est pas le cas : les analyses de minéraux argileux réalisées sur les profils les plus épais montrent des gradients d'évolution qui sont globalement indépendants de l'altitude des surfaces.

Ces buttes sont la résultante de l'installation de 2 réseaux hydrographiques qui se superposent. Dans un premier temps, il est vraisemblable que les failles ont fragilisé les roches et favorisé l'installation d'un réseau hydrographique qui a été emprunté ensuite lors des périodes glaciaires (par des névés ?) creusant des vallées en U parfaitement visibles dans le secteur d'Urepel.

Les jeux de la tectonique et l'érosion régressive ont ensuite jusqu'à nos jours modifié ce réseau qui subsiste sous forme de paléovallées suspendues, tronquées par des vallées en V.

La quasi disparition des paléoaltérites pose cependant problème : est-elle **liée à une action glaciaire, à une action anthropique ou aux deux à la fois ?**

Actuellement, les altérites qui s'étaient développées sur les glacis (paléosurfaces) ont été entraînées par l'érosion et ont globalement disparu. Cependant, dans des **zones protégées**, petits vallons, arrière de bancs durs, ces **altérites, plus ou moins préservées**, (l'absence d'horizon très argileux à leur sommet atteste de la troncature) **atteignent encore plusieurs mètres d'épaisseur** (photo 6) et sont coiffées par un brunisol¹² sableux.

¹² Sol moyennement évolué, neutre à acide. L'horizon A (horizon de soustraction, siège de l'humidification primaire) de 10 à 40 cm d'épaisseur est dépourvu d'éléments grossiers et repose sur un horizon S (structural) bien développé. La roche-mère est sans réserve alcaline (gneiss, granite, grès, schistes ...)

Photo 6. altérites



S'il est vraisemblable que les dernières phases de glaciations ont arasé la plus grande partie des paléoaltérites, l'intervention de l'homme depuis plusieurs milliers d'année (Néolithique ?) n'a pu que perturber fortement son environnement et favorisé les reprises d'érosion.

Les paléosurfaces sont légèrement pentues et donc les plus favorables à la culture. Leur **utilisation intensive a pu provoquer l'élimination partielle ou totale des altérites anciennes**, donnant des sols rajeunis, squelettiques et d'une épaisseur souvent inférieure à 20cm. Ces sols évoluent entre lithosols ¹³ et rankosols ¹⁴ en voie de brunification et présentent un degré d'évolution du cortège des minéraux argileux très faible.

Les conséquences de l'activité humaine sont décelables en comparant les évolution des textures entre la base et le sommet des profils des différentes surfaces.

Sur un même substratum, les horizons inférieurs présentent des textures très similaires, alors que les horizons supérieurs montrent des différences significatives : dans les zones de basse altitude (550 m.) occupées par des champs (où la pression humaine est la plus importante) les textures sont nettement plus sableuses que dans les zones de haute altitude (950 m.) à prairies. Ceci laisse supposer que les **travaux aratoires ont favorisé le départ des particules les plus fines emportées par les eaux de ruissellement.**

De ce fait, **les risques érosifs sur ces surfaces sont faibles.**

¹³ sol peu évolué. L'horizon A est peu épais (< 10 cm.) et contient des éléments grossiers provenant de la roche-mère sous-jacente dure et continue : il est impossible d'approfondir le sol avec des outils agricoles

¹⁴ Sol peu évolué. L'horizon A de 10 à 40 cm. D'épaisseur contient des éléments grossiers dispersés issus de la désagrégation de roche-mères non carbonatées

Des colluvions d'origine anthropiques sur les pentes des buttes :

Après la période glaciaire, des colluvions se sont accumulées le long des versants (et au fond) de ces paléovallées : d'abord des colluvions anciennes, surtout formées de gélifracts, pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (photo 7), ensuite des **colluvions plus récentes en partie d'origine anthropique**. Leur présence peut être détectée par des inversions d'évolution des cortèges de minéraux argileux .

Photo 7. colluvions anciens de gélifracts



Selon les secteurs se développent des lithosols, des peyrosols ¹⁵, des rankosols, des protopodzols ¹⁶, des brunisols. **Ces pentes peuvent fournir les plus grandes quantités de matières en suspension.**

Les pentes des vallées en V

Sur ces pentes, on observe de faibles épaisseurs de colluvions. Souvent la roche est pratiquement à nu. En fait, l'épaisseur de colluvion est lié au degré d'inclinaison de la pente. Lorsque celui-ci diminue, l'épaisseur de colluvions augmente, mais reste toujours faible, rarement plus de cinquante centimètre. L'observation de l'évolution des cortèges de minéraux argileux permet de distinguer plusieurs zones :

- **zones d'érosion** à lithosols, sans gradient d'évolution des minéraux argileux où la roche est quasiment à nu,
- **zones stables** à lithosols et rankosols avec un gradient normal et des sols peu épais (10 à 30cm),
- **zones d'accumulation** à brunisols, avec un gradient inverse, ce qui correspond parfaitement à la règle des sédiments corrélatifs.

¹⁵ Sol peu évolué. C'est un solum d'une épaisseur supérieure à 50 cm. Très riche en cailloux et pierre (plus de 60 % en poids).

¹⁶ Sol évolué très acide dans lequel on distingue depuis la surface : un horizon A noir riche en matière organique incorporée, siège d'une humidification produisant des agents complexants ; un horizon E d'éluviation gris cendré ; un horizon BP d'accumulation de fer, d'aluminium et d'humus discret. Les roche-mères sont essentiellement des quartzites.

2. De la qualité du substrat à l'action humaine.

Les modifications qui interviennent dans la gestion et l'occupation de l'espace rural, l'intensification des pratiques culturelles, les évolutions techniques associés à des conditions biophysiques, climatiques et pédologiques en particulier, peuvent conduire à une accentuation des phénomènes hydriques. Cependant, l'analyse des processus érosifs est complexe, particulièrement lorsqu'ils concernent des parcellaires comprenant une occupation du sol variée.

Les paysages agraires des bassins versants amont de la Nive constituent un puzzle associant essentiellement couverts de landes, de prairies naturelles et artificielles, de forêts. Tous ces milieux, et particulièrement les prairies, constituent des facteurs favorables pour la résistance à l'érosion, contrairement aux champs de maïs par exemple. Néanmoins, des recherches ont montré que les pratiques culturelles en particulier, conjuguées au facteur climatique de type océanique, façonnent un contexte pédologique extrêmement favorable aux transferts de particules à certaines périodes de l'année¹⁷. Cela tient à leur action sur la rugosité du sol, son système de porosité et l'état de tassement.

2.1. La nécessité du choix d'un terrain concret de confrontation des disciplines :

Afin de pouvoir étudier les éventuels impacts des activités humaines, il était primordial de déterminer des sites précis d'analyse permettant de confronter conditions physiques des substrats et actions anthropiques sur ces mêmes espaces.

a) les enseignements des analyses géophysiques :

Les analyses en laboratoire des échantillons¹⁸ de sols levés dans les séries de toposéquences sur les deux bassins versants des Nives des Aldudes et d'Arnéguy ont permis de définir des types de qualité de sols (voir annexe 3).

La vallée d'Arnéguy

Dans la vallée d'Arnéguy, les versants sont souvent très raides et l'érosion empêche d'atteindre un degré d'évolution élevé. Les sols sont globalement peu épais et acides à peu acides. Le cortège des minéraux argileux, est complexe avec un cortège hérité de kaolinite, d'illite et de chlorite. La présence de celle-ci pourrait être associée à des limons éoliens. Comparé à la vallée des Aldudes, on ne dépasse pas le degré 2 d'altération et les sols, souvent squelettiques, ne peuvent qu'engendrer que peu de matériel meuble pour fournir des matières en suspension.

Toutefois, la partie aval, qui correspond au sous-bassin de Lasse, est plus intensément drainée que la partie amont (figure D annexe 1). Alors que les pentes y sont beaucoup plus faibles, ce sous-bassin est donc le plus érodé. Cela tient à sa lithologie (massif ophitique) qui contribue à en faire un secteur soumis à l'érosion. Dans la partie amont, on observe cinq secteurs d'érosion : quatre sont liés à la présence de fortes

¹⁷ Macary et Paulais 2003

¹⁸ Pour chaque échantillon, trois types d'analyse en laboratoire ont été réalisés : mesure du PH, analyse granulométrique et détermination des argiles

pent, très localement renforcée par l'absence de couvert végétal. Un seul secteur sujet à l'érosion semble lié en partie à l'action anthropique.

Globalement, **la vallée d'Arnéguy n'apparaît pas, excepté le sous-bassin aval de Lasse** (et les quelques secteurs qui viennent d'être cités) **à même de contribuer, par érosion, à une production importante de matériaux (MES).**

La vallée des Aldudes

Le modelé est ici beaucoup plus ample et les pentes souvent moins fortes que dans la vallée d'Arnéguy. On peut penser que les deux phases orogéniques hercynienne et pyrénéenne ont déformé le substratum, formé des plis, failles et chevauchements produisant un morcellement de roches-mères. Un glacis anté quaternaire s'est formé, disloqué par la suite et recouvert par des névés au Quaternaire qui l'ont altéré et remodelé en une succession de reliefs arrondis qui ont ensuite été individualisés par l'entaille des cours d'eaux.

Les anciennes surfaces d'érosion ont été pratiquement totalement démantelées. On note cinq degrés d'altération. Les parties supérieures des horizons sont plus évoluées que les inférieures. Les sols, acides, sont peu évolués et la pédogénèse est souvent récente. L'épaisseur des sols est variable mais le long des pentes les colluvions peuvent être relativement épais (de 50 à 150 cm.) surtout lorsqu'il y a des barres de quartzites.

Différents secteurs ont subi un tri granulométrique qui se traduit par un accroissement des éléments grossiers en bas de toposéquence (augmentation des sables et de la proportion de kaolinite dans le cortège argileux) alors qu'on trouve plus d'éléments fins en haut, alors qu'on devrait trouver l'inverse étant donné que les particules fines sont les premières à être transportées et à s'accumuler naturellement en bas de toposéquence. **Cette configuration, particulière au sous-bassin des Aldudes, ne peut être liée qu'à un enrichissement par défaut d'origine anthropique** : la présence de sols squelettiques dans ces secteurs de bas de pente, souvent propices à l'agriculture, témoignent qu'ils ont dû être l'objet d'exploitation humaine depuis de nombreux siècles.

Seule l'action humaine a pu inverser l'évolution granulométrique naturelle en y accélérant le départ des particules les plus fines sur les surfaces basses cultivées alors que les zones hautes, utilisées depuis plusieurs siècles en prairies sont davantage préservées : nous avons bien ici affaire à des **toposéquences granulométriques inverses d'origine anthropiques**

Ces résultats obtenus par les géologues et géochimistes mettent en évidence des « anomalies » dans ce qu'on pourrait appeler « l'évolution, naturelle » des processus de transformation du substrat. Ils les localisent sur des surfaces a priori adaptées au développement d'activités humaines sur le long terme.

A ce stade de la recherche, il devenait **indispensable de changer d'échelle d'observation en passant d'un cadre de connaissances physiques à une analyse de l'évolution des paysages**, ceci afin de pouvoir **valider à une échelle locale plus fine des évolutions de la granulométrie en rapport avec les activités humaines en analysant les effets d'actions anthropiques sur les processus érosifs.**

b) les enseignements de l'évolution contemporaine de l'occupation des sols :

Ces vallées de montagne ont été consacrées depuis fort longtemps à une **économie pastorale extensive** dont les structures parcellaires et les compositions paysagères d'aujourd'hui sont les héritières. Mais, en quelques dizaines d'années, cette économie a été l'objet de **transformations parfois profondes qui ont réorienté ces modes de production, introduit de nouvelles technologies, modifié des pratiques culturelles, assujetti les exploitants à des filières et des normes de production.**

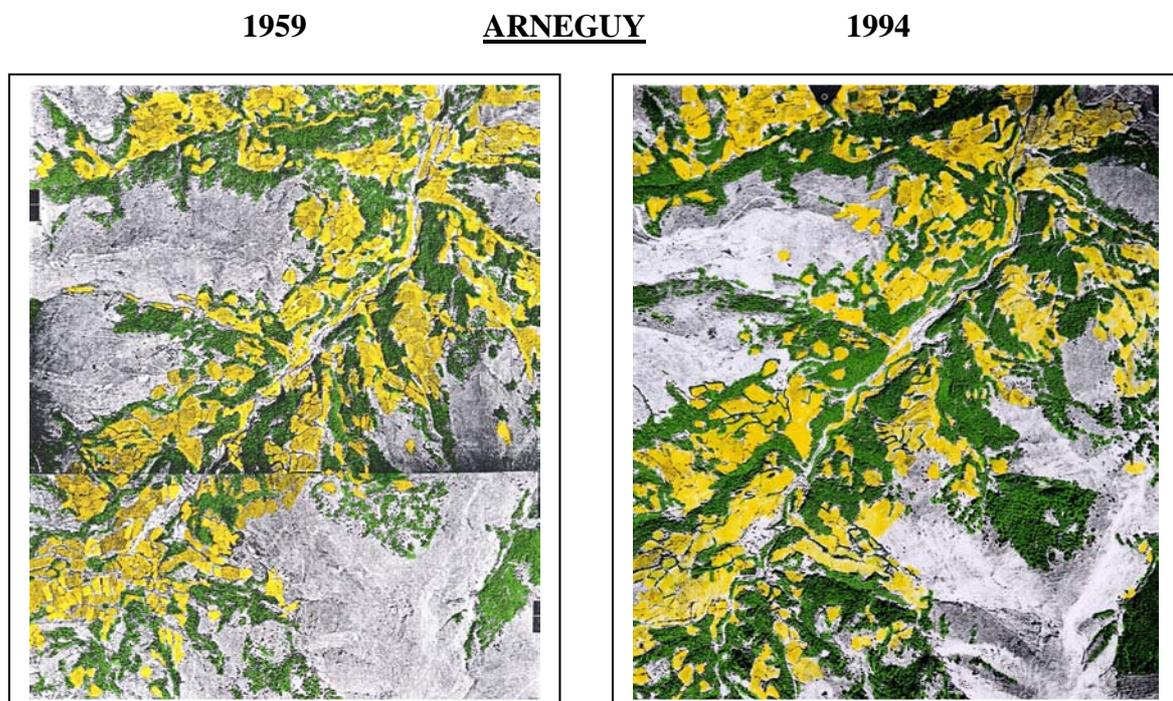
Afin de mesurer l'impact spatial de ces évolutions, et à partir de là de constater leurs possibles conséquences sur les processus d'érosion, nous avons choisi de comparer, grâce à des missions aériennes de l'Institut Géographique National, la situation en 1959 et en 1994 dans les deux vallées d'Arnéguy et des Aldudes.

La première date, qui correspond à la première couverture la plus complète de ce secteur, reflète aussi une situation de base : celle d'économies valléennes fonctionnant encore dans la logique des pratiques et des paysages passés, c'est-à-dire celle d'un système pastoral extensif et transhumant, avec des paysages ouverts car exploités dans leur plus grande superficie.

La seconde mission de 1994 correspond à la mise à jour des cartes au 1/25.000^e et ce à la même échelle que celle de 1959. Mais elle intègre toutes les transformations essentielles qui ont déjà commencé à s'amorcer et à marquer ces milieux.

Cette comparaison sur 35 ans est donc à même de nous permettre de visualiser les transformations subies par ces milieux de montagne.

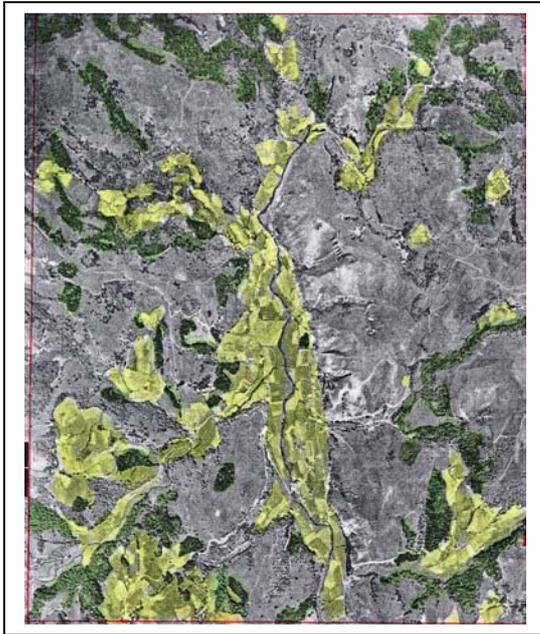
Figure 12 : évolution de couverture végétale des vallées d'Arnéguy et des Aldudes



1959

ALDUDES

1994



Légende :



landes et friches



forêt



prairies

Globalement, **dans les deux bassins versants étudiés, les secteurs forestiers et en prairies ont progressé en 35 ans.** Mais, dans la vallée d'Arnéguy, l'extension du couvert forestier est particulièrement nette, surtout en amont, et celle des prairies ne l'est qu'à l'aval alors que dans la partie amont certaines prairies se sont « fermées », gagnées par la friche, tandis que d'autres parcelles de prairies se sont agrandies essentiellement par remembrement (suppression des haies bocagères).

Par contre, **l'évolution est spectaculaire dans le secteur des Aldudes.** Si là aussi les forêts ont progressé dans les secteurs des plus fortes pentes, **l'extension des prairies aux dépens des landes** saute aux yeux. On notera que cette progression s'est surtout effectué sur la rive gauche, au modelé certes accidenté mais globalement moins pentu.

Par ailleurs l'examen des couvertures aériennes intermédiaires entre ces deux dates (1968 et 1982) montre que si l'extension des boisements s'est faite très progressivement durant ces 35 années par développements d'accrus forestiers sur des secteurs de landes de parcours en déprise et gagnées par les friches, **l'extension des surfaces en herbe est un phénomène récent puisque pour l'essentiel postérieure à 1982 dans la vallée des Aldudes.**

La transformation paysagère des milieux et surtout sa rapidité dans le temps s'agissant de la conversion de landes « naturelles » en prairies souvent « artificielles » (semées) nous a conduit à concentrer nos analyses conjointes entre sciences physiques, en particulier sciences du sol, et sciences sociales sur le secteur Aldudes – Urepel -Esnazu.

2.2. L'étude du site des Aldudes :

L'objectif est, dans un premier temps de déterminer, des sites localisés d'études afin d'y mener, dans un second temps, des démarches d'analyses de terrain conjointes

a) les conditions géomorphologiques et hydrologiques :

L'observation des figures géomorphologiques sur le bassin de la Nive des Aldudes suggère une érosion active dont intensité reste à évaluer. Parmi les objets observés on trouve : des indices d'incision du paysage (terrasses perchées), des indices d'une activité tectonique relativement récente, des déstabilisations de versants (falaises, glissements, éboulements,..) ainsi que des zones de stockage de matériaux (terrasses quaternaire). Ces figures sont les indices d'une **érosion active et récente** dont l'étude constitue l'objectif de notre travail.

La base de cette recherche est appuyée sur un **Système d'Information Géographique** dans lequel ont été intégrées un certain nombre de couches d'information (formations géologiques, Modèle Numérique de Terrain, réseau hydrographique, accidents tectoniques, figures géomorphologiques,...).

A partir de ces informations géographiques, nous avons croisé différents facteurs (géomorphologie-structure géologique, réseau hydrographique-réseau de failles) et calculé des paramètres issus de ces croisements (drainage-lithologie, bassin versant-répartition des altitudes,...).

Une autre partie du travail a été réalisée sur le terrain notamment pour l'**étude géomorphologique** du bassin et la reconnaissance des modes d'**altération des matériaux** mais également pour l'évaluation de l'**activité tectonique locale récente**.

Ce travail a été réalisé en considérant le système étudié comme un système complexe dans lequel l'érosion est le **résultat de l'interaction entre de nombreux processus** (altération chimique et mécanique, évolution des paléo-environnements, activité tectonique, ...) faisant intervenir de **nombreux facteurs** (géologie, climatologie, topographie,...) en **évolution temporelle permanente** au cours des périodes climatiques ou géologiques.

Du point de vue hydrologique, nous pouvons diviser le bassin en **trois sous bassins** versants (figure 13) : le sous bassin des *Aldudes*, de sous bassin *d'Hayra* et le sous bassin de *Banca*. 53% de la surface du bassin sont occupés par le sous bassin des Aldudes (81,2 km²), le bassin de Banca occupe 26% de la surface (39,1 km²) et enfin le bassin d'Hayra occupe 21% de la surface (32,3 km²).

Depuis l'amont, le réseau hydrographique prend une direction générale NNW. Cette direction est globalement suivie quelques kilomètres avant un **accident majeur N110** (1). Le cours du sous bassin des Aldudes prend alors une direction NE. Les cours d'Hayra et des Aldudes se rejoignent ensuite à 500 m au sud de Banca. Suite à cette convergence, la Nive des Aldudes va sinuer vers le NE, jusqu'à rencontrer un **second accident** (2), le cours d'eau rentre alors dans la dépression de Cize. L'exutoire du bassin considéré se trouve juste au Nord de St Etienne de Baïgorry (figure 13).

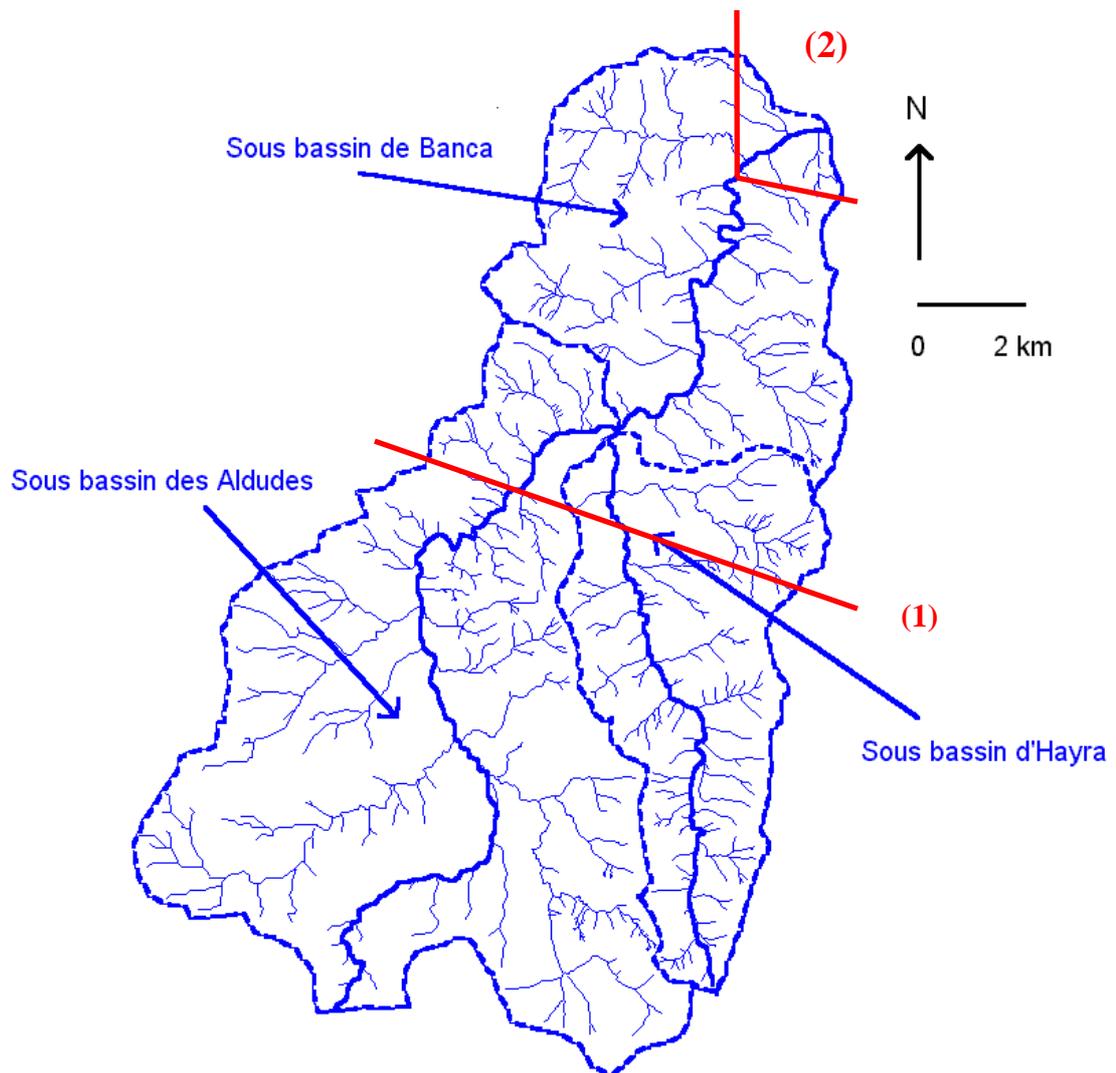


Figure 13 : carte du réseau hydrographique de la Nive des Aldudes

Cette connaissance des configurations du réseau susceptible de drainer et concentrer les matériaux issus de l'érosion une fois établie, il convient de déterminer d'où peuvent provenir et où peuvent s'accumuler ces matériaux par des levées cartographiques des formes d'érosion et d'accumulation présentes sur le terrain, ensuite de déterminer la susceptibilité à l'érosion des facies lithologiques.

Détermination des zones de départ et des zones de stockage des matériaux.

Pour analyser la distribution des processus d'érosion sur le bassin versant, nous avons répertorié les figures d'érosion reportées sur les **cartes topographiques** de l'IGN au 1/25 000 et sur la **carte géologique** au 1/50 000. Ces éléments ont été intégrés au **Système d'Information Géographique** réalisé sur le site. Ce travail permet dans un premier temps de déterminer les zones de départ et les zones de stockage de matériaux sur le bassin (figure 14).

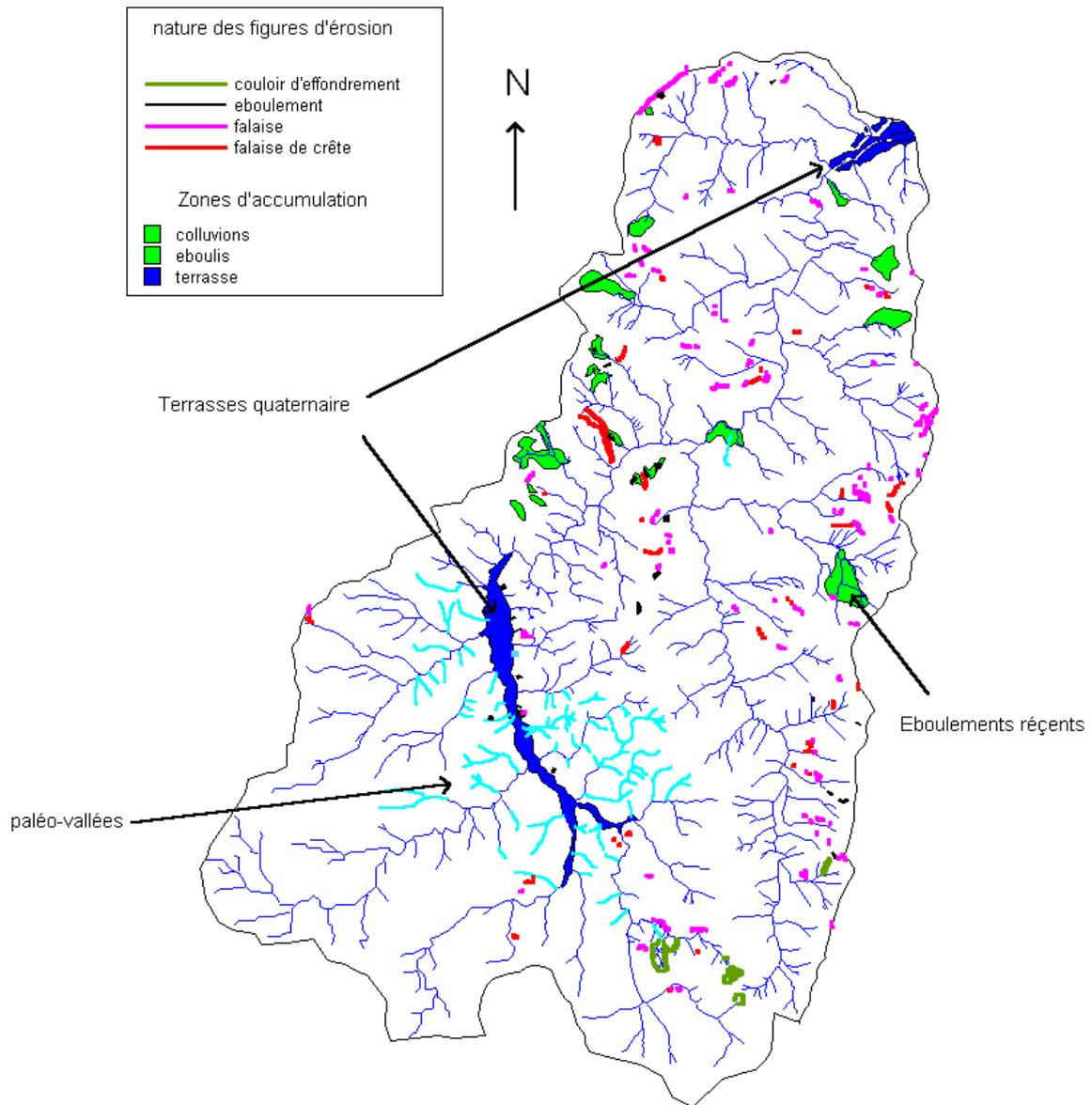


Figure 14 : Localisation des figures d'érosion sur le bassin des Aldudes

Cette figure met en évidence l'activité de l'érosion sur le bassin de la Nive des Aldudes. Nous pouvons en effet y observer :

- des témoins de **déstabilisation des versants** (éboulements, colluvions, falaises)
- des témoins de **l'incision des rivières** (terrasses perchées) ;
- des témoins de **stockage de matériaux** (terrasses alluviales) ;
- des témoins d'une **activité érosive passée** (paléo-vallées, ...).

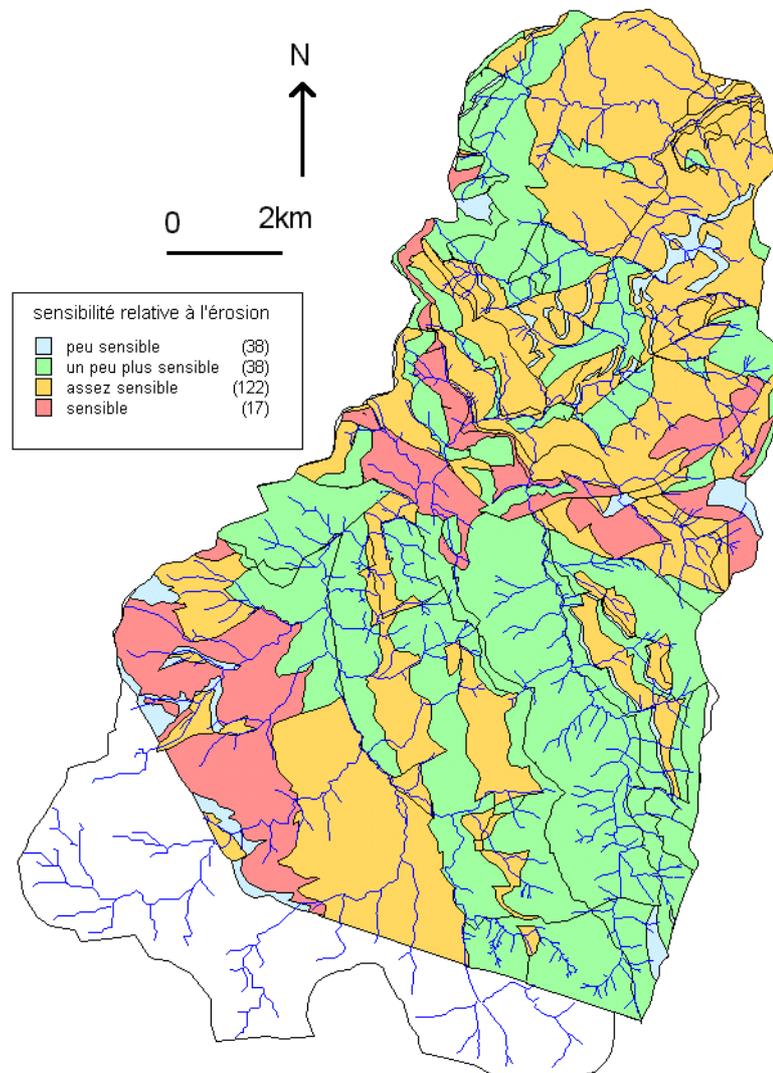
La **répartition géographique de ces figures n'est pas homogène** sur tout le bassin. Les figures de stockage de matériaux sont principalement localisées dans le sous bassin des Aldudes (terrasses alluviales) et dans la dépression de Cize.

b) les conditions lithologiques :

Si la macro-géomorphologie est régie en partie par les grandes structures géologiques qui constituent le substratum du bassin versant, on constate toutefois des exceptions. Dans tous les cas **les caractères géomorphologiques ne peuvent être complètement expliqués par les structures géologiques.**

Nous avons essayé de tester l'influence d'un autre paramètre géologique sur le modelé du paysage, celui de la « sensibilité lithologique à l'érosion »¹⁹

Figure 15 : Carte de la sensibilité relative à l'altération des formations du bassin des Aldudes



¹⁹ cette carte de la sensibilité des roches à l'altération ne traduit que la « susceptibilité lithologique à l'érosion » puisqu'elle ne prend en compte ni les sols, ni la couverture végétale pour lesquels nous ne disposons pas de cartographies précises.

Cette carte a été élaborée grâce à des **observations de terrain** permettant de classer la **sensibilité relative des roches par rapport aux phénomènes d'altération**.

Des missions de terrain ont permis d'observer le mode d'altération de chacune des formations géologiques rencontrées sur le site.

Ces données ont permis de mettre en évidence que certains traits morphologiques sont étroitement liés au contraste de sensibilité des roches à l'érosion.

b) les conditions pédologiques :

Avant d'observer et d'étudier durant une année les différentes formes d'activités, de pratiques culturelles, de formes d'intervention et de transformation des milieux par l'homme, il était nécessaire de compléter les connaissances fournies par la géomorphologie, l'hydrologie et la lithologie par des mesures de terrain à petite échelle.

En effet, le « forçage anthropique » susceptible de générer de l'érosion s'accomplit la plupart du temps de manière dans un espace circonscrit, souvent à l'échelle de la parcelle, et ponctuellement dans le temps. Par ailleurs, cette intervention se compose d'actes ou pratiques qui vont jouer dans le sens d'une facilitation des processus érosifs et d'autres qui vont en constituer des freins. Enfin, même si ce forçage est ponctuel dans le temps et l'espace, il peut avoir des effets sur le moyen ou le long terme.

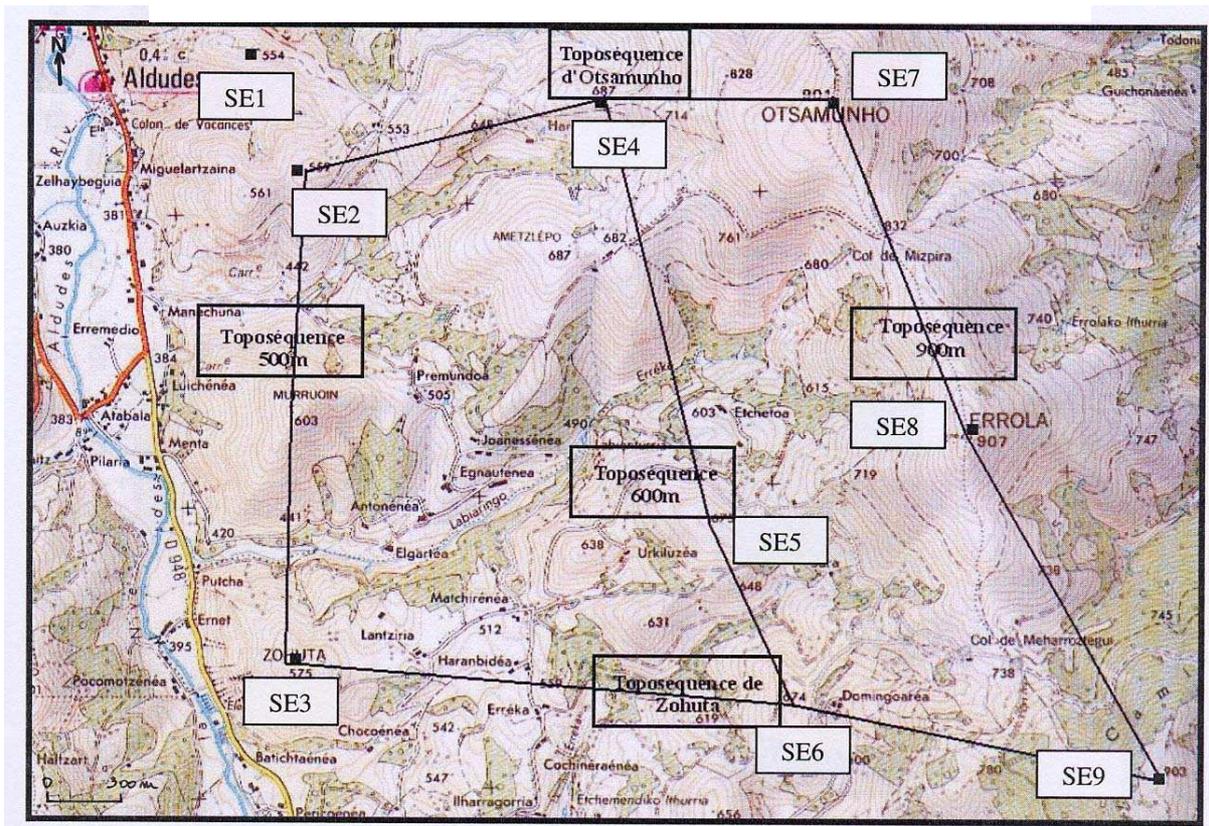


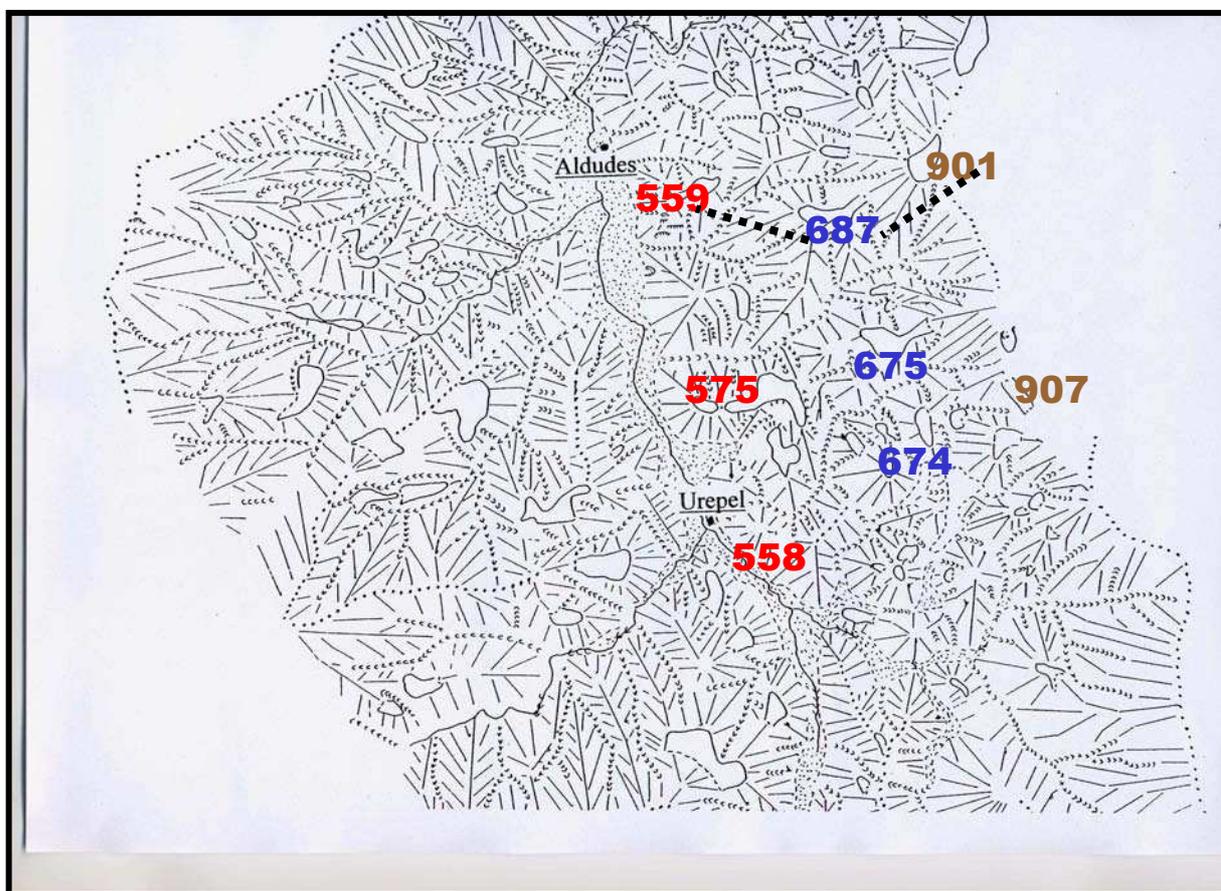
Figure 16 : localisation des profils et toposéquences

Par ailleurs, l'amplitude et l'étendue de ses effets sont fonction des conditions de substrat sur lequel il s'exerce : pente, couvert végétal et nature des sols. **L'étude des activités humaines devait s'accompagner d'un préalable : la connaissance des conditions pédologiques de leur exercice** (annexe 3).

En nous basant sur la carte de sensibilité lithologique (figure 15), nous avons délimité, dans le bassin versant des Aldudes, un périmètre nous permettant, par un réseau de profils et de toposéquences (figure 16), d'analyser les sols sur des secteurs lithologiquement les plus fréquents en superficie et définis comme « un peu plus sensible » et « assez sensible » (figure 15).

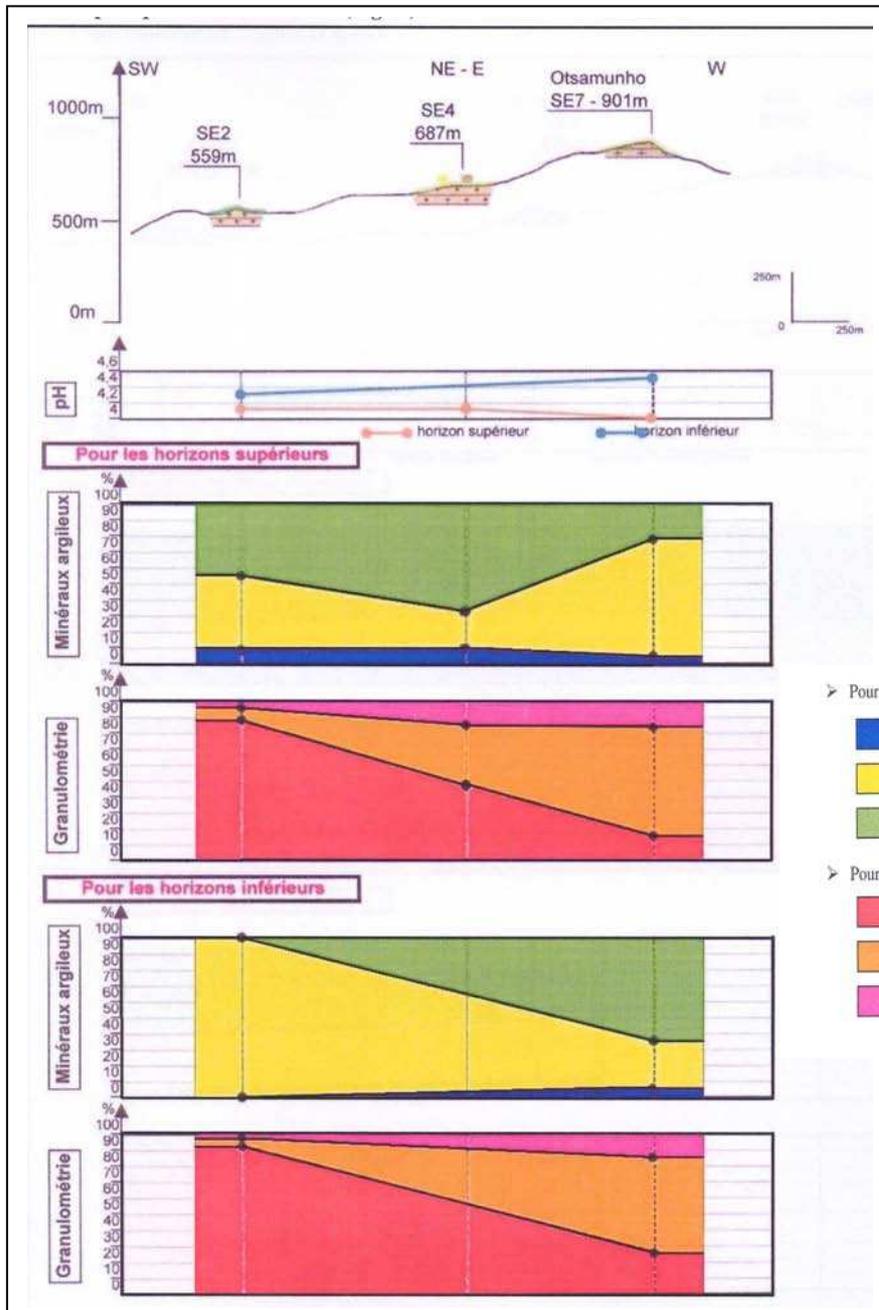
Du pont de vue géomorphologique et topographique, ce périmètre situé en rive droite de la Nive des Aldudes se présente sous forme de séries de croupes arrondies marquées par un étagement de 3 séries de surfaces d'amont vers l'aval autour des 900 m., puis entre 670 et 690 m., entre 560 et 575 m. d'altitude (figure 17).

Figure 17 : carte géomorphologique du secteur Aldudes – Urepel
(en tireté : localisation de la toposéquence étudiée sur 3 surfaces successives)



Les profils étudiés sur ces trois niveaux de surfaces successives (figure 18) révèlent des sols très peu épais, de 20 à 70 cm. seulement. L'examen des cortèges argileux montre que dans les deux niveaux inférieurs leur degré d'évolution est croissant alors qu'il est décroissant sur les replats le plus élevé en altitude (figure 18).

L'examen de la texture des sols, dans laquelle on peut distinguer, du plus grossier au plus fin : des sables, limons et argiles, montre que le niveau inférieur est celui qui se compose le plus d'éléments sableux et le niveau supérieur, à l'inverse, de la proportion d'argiles la plus importante et surtout de limons. Nous sommes donc une fois encore bien en **présence d'une toposéquence granulométrique inverse d'origine anthropique.**



La présence de limons résulterait de dépôts éoliens aux époques glaciaires sur une surface anté-quaternaire (richesse en illite et inversion du degré d'altération par accumulation). Quant à l'importance du volume des sables sur le niveau inférieur, il est sans doute à mettre en relation avec une intervention continue des hommes sur les sols (par labours par exemple) entraînant le départ de presque toutes les particules les plus fines.

L'examen des sols met donc en évidence le rôle majeur de l'intervention humaine au fil des siècles.

Sans qu'il soit possible d'évaluer les conditions pédologiques originelles préexistant à l'installation permanente des hommes dans cette vallée au Néolithique, **l'inversion des cortèges argileux et le faible degré d'évolution des sols soulignent à quel point ces milieux ont été largement façonnés sur le long terme par la main de l'homme.** Il montre aussi que **si les structures les mieux préservées se trouvent à l'amont des versants, c'est en grande partie parce que l'activité pastorale y a développé et maintenu un couvert végétal permanent et une structure paysagère fait d'un assemblage de petites parcelles,** en particuliers d'étendues de prairies exploitées extensivement, qui sont les formes les plus à même de limiter les processus érosifs.

La **faiblesse des épaisseurs de sols sur les replats**, sauf à être bouleversé par une intervention humaine, n'offre donc pas beaucoup de matière à érosion. Par contre, les **zones latérales** à ces replats ainsi que les **pentés** qui leur succèdent vers l'aval sont **chargées de colluvions** et **dans les fonds des dépressions** (thalwegs) -qui ont sans doute été mieux préservées de l'érosion à l'époque glaciaire- **les altérites sont épaisses.** Ce sont donc dans ces secteurs que les eaux de ruissellement peuvent avoir un effet érosif majeur dès lors qu'ils seront déséquilibrés par des interventions humaines.

3. Vers un risque, pour l'instant localisé, d'extension des phénomènes érosifs :

3.1. Des mutations économiques et techniques génératrices de transformation des paysages :

Comme l'a mis en évidence l'évolution de l'occupation des sols dans le secteur Aldudes – Urepel – Esnazu entre 1959 et 1994 (figure 11), la transformation majeure des paysages par les activités humaines a consisté à substituer des surfaces de prairies à des parcelles de landes. **L'économie pastorale locale s'est en effet transformée** à la fois pour des raisons internes (évolution démographique, diminution du nombre d'actifs et d'exploitations agricoles, petitesse et morcellement des exploitations, transformation de la structure et de la surface des exploitations, nécessité de diversification des ressources, transformation des pratiques en particulier de transhumance) et externes (modification des filières, aides à l'agriculture de montagne, primes à l'herbe, mesures agri-environnementales, orientations de la Politique Agricole Commune de l'Europe, normes sanitaires ...). Ces transformations tendent **vers une intensification et une concentration spatiales de l'exploitation des milieux.**

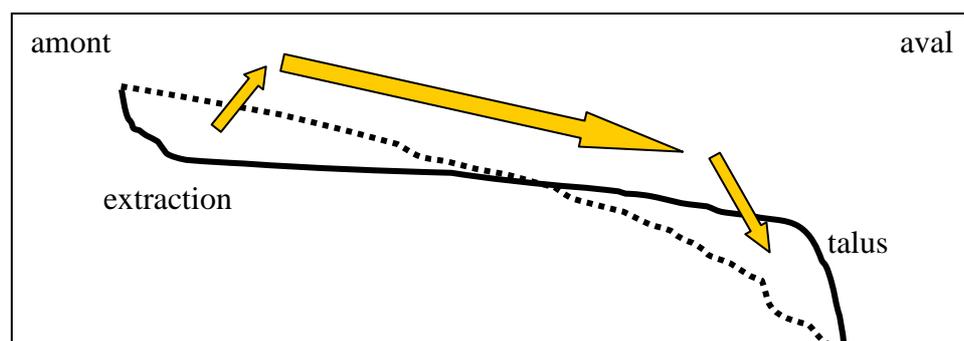
Les conséquences de ces mutations se sont traduites par des effets sur les structures paysagères et les sols.

a) la nécessité d'étendre des surfaces en herbe :

La transformation des landes en prairies :

Une des conséquences de la mutation de l'économie pastorale et d'un de ses moteurs -la prime à l'herbe- est d'amener les éleveurs à disposer de surfaces herbagères en plus grande quantité et surtout à proximité de l'exploitation afin de permettre un « gain de temps » à des exploitations qui ne comportent souvent plus qu'un actif agricole à temps plein. Les éleveurs se sont mis et continuent à transformer en prairie les parcelles de landes de leur propriété (et celles en fermage) les plus aptes et les plus proches.

En de nombreux points, les « espaces réserves » que constituent les parcelles landes ont été ainsi transformé. Afin d'être semé en herbe et répondre aux exigences de la mécanisation, les exploitants ont dû transformer ces parcelles de manière à la fois à réduire leur pente et à permettre le travail des engins, donc intervenir sur la surface du sol. La technique la plus couramment appliquée en secteur de pente consiste à prélever de la matière tout le long de la lisière amont de la parcelle pour le reporter à l'aval de la parcelle de manière à former un talus permettant la manœuvre des engins agricoles.



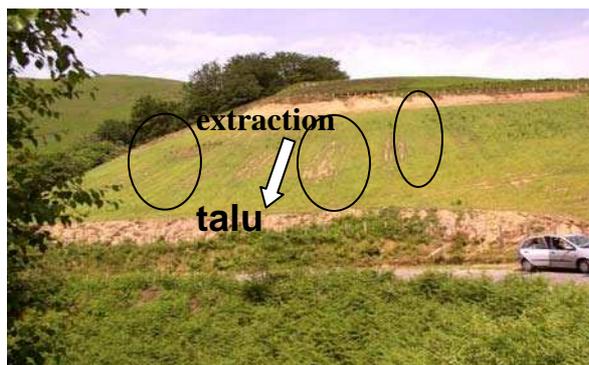


Photo 8 : transformation d'une lande rase en prairie

Cette photo, prise au début du printemps, illustre cette technique de transformation. L'intervention qui a été effectuée il y a peu de temps montre :

- que la conduite technique s'est faite dans le sens de la pente
- que les semis d'herbe ont moins bien pris dans le médian de la parcelle du fait du tassement de la terre résultant du passage des engins agricoles. Le sol a été ici compacté (cercles) ce qui a réduit la perméabilité du sol et accru à l'aval le ruissellement.



Cette seconde photo prise à la fin de l'automne montre qu'il n'y a pas de trace d'érosion notablement visible. Toutefois, si la couverture herbacée a bien progressé, les traces d'empreintes d'engins ne sont pas pour autant encore bien cicatrisées.

Dans ce cas de figure, la transformation porte sur une parcelle de faible surface, assez peu déclive, dans un contexte lithologique peu sensible à l'altération, sur des sols peu épais comportant peu de matériaux fins et substituant une prairie à une lande rase, autant de paramètres qui ont globalement favorisé une cicatrisation protectrice du nouveau couvert végétal.

Mais lorsque cette même technique s'applique dans des conditions biophysiques différentes, le ruissellement des eaux superficielles peut inciser le sol et favoriser l'enclenchement de processus érosifs.



Photo 9 : transformation d'une parcelle en pente

Dans cet exemple, l'application de la même forme d'intervention (prélèvement de terre pour formation d'un talus aval) a été effectuée sur une parcelle de lande recouverte cette fois en partie de ligneux et présentant une déclivité bien plus marquée que dans le cas précédent. Les conditions non seulement de pente et de transformation du couvert végétal prédisposent plus cette parcelle au ruissellement et donc aux transferts particuliers. S'y ajoute un modelé sous la forme d'un petit réceptacle tendant à concentrer les eaux de ruissellement au point de jonction avec la voie d'accès ménagée à l'aval. Celle-ci enfin rompt l'effet topographique du talus pour constituer de fait un réceptacle sur lequel s'est formée une colluvion de particules fines.

On notera en plus au passage jusqu'où les nécessités économiques poussent un exploitant à prendre un risque physique, compte tenu de la pente, dans le travail mécanique de cette parcelle.

La transformation de secteurs boisés en prairies :

Dans certains cas l'extension des surfaces en herbe a été aussi effectuée en supprimant des boisements, dictée pour partie par le besoin de gagner en surface, pour partie de l'intérêt de supprimer des châtaigneraies dont la fonction productive (bois et châtaignes) ne participent plus depuis longtemps à l'économie locale.



Photo 10 : extension aux dépens de boisement

L'objectif de cette intervention a été d'étendre la parcelle de prairie située sur la gauche de la photo en supprimant une partie du boisement qui se trouvait à droite (cf. bosquet relicté de chênes en amont de la parcelle). L'ensemble transformé se trouve au sommet d'une croupe et présente une faible déclivité. Néanmoins, comme on peut en juger par l'état de la route, une masse conséquente de particules fines s'est écoulée vers

l'aval en automne (date de prise de vue) sous l'effet des eaux de ruissellements et ce tout particulièrement au droit de l'emplacement primitif du bois.

Les raisons de ce déclenchement de processus érosifs tient à la conjonction de plusieurs facteurs :

- l'intervention a profondément modifié la couverture du sol, protégé et fixé jusque là par les systèmes racinaires des châtaigniers
- ce sol est composé en grande partie d'altérites, donc de particules fines, car nous nous trouvons au niveau des replats sommitaux ²⁰ comme le montre la photo suivante prise à l'opposé de la précédente.



- l'exploitant a voulu réduire la pente et raclé pour cela la surface de la parcelle pour renforcer à ses marges un replat permettant les manœuvres des engins agricoles, talus qu'il a cherché à armer pour en asseoir la stabilité jusque là assuré par les arbres.



- ce faisant il a mobilisé la couche superficielle du sol, mobilisé les particules plus fines. Le passage des engins a été effectué dans le sens de la pente pour effectuer les semis d'herbe avant l'été 2003 qui a été particulièrement chaud et sec. Ces conditions climatiques ont contribué à compacter la couche superficielle qui s'est individualisée par rapport au reste du profil, puis a formé une croûte de battance lorsque les pluies d'automne sont survenues ; la perméabilité du sol en a été réduite et a grandement favorisé le ruissellement et le transferts des fines vers l'aval.

Cette série de trois photos, prises en automne montre au demeurant que le semis de ray-grass effectué n'avait de ce fait pris que par plaques et essentiellement dans la partie qui était déjà en prairie avant tous ces travaux.

²⁰ voir paragraphe b page 32

b) Des pratiques culturales et des restructurations de l'espace agricole qui tendent à accentuer les phénomènes d'érosion hydrique :

L'intensification et la concentration de l'exploitation sur certaines parcelles, associées aux conditions climatiques et pédologiques particulières propres à la vallée des Aldudes, se traduisent par l'apparition fréquentes de formes d'érosion à l'échelle de chacune de ces parcelles.

La recherche d'une productivité herbagère désormais accrue amène nombre d'exploitants à ensemencer des parcelles jusque là de landes, voire de prairies naturelles. Cette évolution se traduit d'abord par une intervention (labour) sur des sols jusqu'ici naturellement stabilisés par une couverture végétale qui modifie leur structure superficielle. Mais surtout, la plupart du temps, les **itinéraires techniques** mis en oeuvre pour accroître la productivité de ces parcelles sont **conduits dans le sens de la pente** (photo), donc dans celui de l'écoulement naturel du ruissellement. Certes, les parcelles restent de petites dimensions, mais il en résulte sur chacune d'entre elles la formation de rigoles d'incision composées pour l'essentiel d'éléments grossiers, les particules fines ayant été emportés par les eaux (photo).

Photo 11 : labour dans le sens de la pente, incision et exportation de fines.



A ces modifications culturales s'ajoutent, dans certains cas, une **augmentation de la taille des parcelles**. Afin de répondre aux exigences de la mécanisation mais le plus souvent de disposer de surfaces adaptées à une taille de troupeaux souvent en augmentation, des exploitants ont recours au **remembrement**. La suppression de haies entre des prairies naturelles afin d'en accroître la surface peut se traduire par une **modification de la concentration des circuits d'écoulement**, par la seule transformation du réseau naturel initial et sans aucune intervention humaine sur le sol (photo suivante).

Photo 12 : effet de suppression de haie à l'amont de prairies naturelles remembrées



c) Les effets induits de la Politique Agricole Commune sur les processus d'érosion :

L'économie pastorale de montagne est soumise depuis plusieurs années à des réglementations et des normes européennes. La multiplication de nouveaux bâtiments d'élevage répondant à ces règles communautaires est une des conséquences les plus visibles dans le paysage (photo 13).

Photo 13 : la multiplication de bâtiments d'élevage répondant aux normes



En quelques années, chaque exploitation s'est dotée d'un bâtiment conforme qu'il a fallu édifier à proximité de la ferme ou à l'étage des bordes, parfois en lieu et place d'anciens bâtiments mais le plus souvent par création pure et simple sur un espace créé ou aménagé à cet effet.

Or tous ces aménagements ont nécessité des interventions sur les milieux qui ont été localement et restent souvent autant de cicatrices et de points de départ d'érosion. Ainsi pour agrandir un terrain capable d'accueillir ces nouvelles constructions, des bas de versants ont souvent été entamés.

Comme aucun exploitant n'accompagne ces interventions (faute de temps mais surtout faute de moyens d'accompagnement) de plantations en limitant les effets, la **reconquête végétale est exclusivement naturelle** ; elle s'effectue donc lentement, parvient dans un premier temps à en limiter des effets érosifs mais mettra beaucoup de temps à cicatiser et coloniser les nombreux ravinelements qu'ont entraîné ces travaux (photo 14)

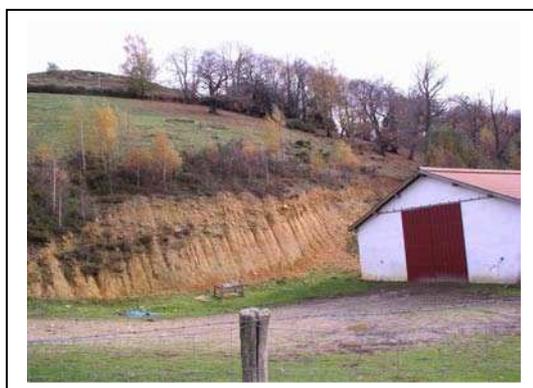
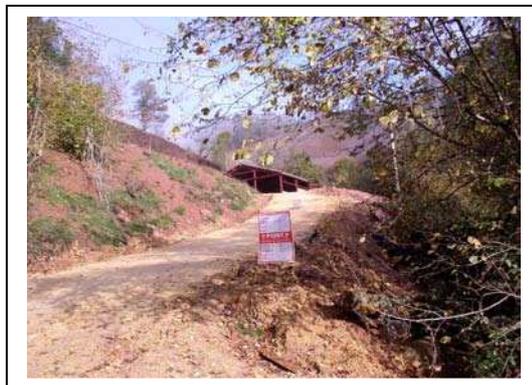


Photo 14 : aménagements rapides, ravinements immédiats et lente cicatriscation naturelle

Les **lieux et formes d'érosion** que génèrent ces implantations nouvelles sont **multiples** puisque s'y ajoutent l'action des bulldozers pour créer des voies d'accès adaptées à l'importance des engins agricoles actuels (photo 15) ...

Photo 15 : création de voies d'accès artificielles aux nouvelles bergeries



... mais aussi qui édifie de plus en plus souvent de toute pièce des **remblais artificiels**, lorsque les terrains sont trop pentus, pour y asseoir les nouveaux bâtiments d'élevage. La **masse de matériau** ainsi souvent formé d'éléments fins, est **très tassée** sur sa partie aplanie par les engins de terrassements et au contraire déversée et donc **peu stabilisée** sur ces marges.

Cet ensemble artificiel constitue un **terrain des plus favorables à l'action des eaux de ruissellement** : l'induration par tassement du terre plein forme une surface peu perméable à l'action des gouttes de pluie qui se rassemblent, s'écoulent et incisent les versants y détachant les particules qui finissent par se déposer sur les prairies à l'aval (photo 16).

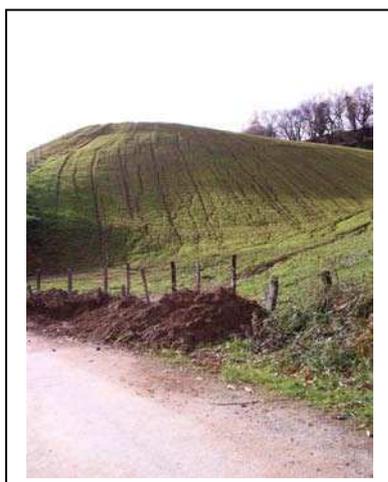
Photo 16 : remblais artificiel, ruissellement, incision et dépôt



Dans certaines exploitations les interventions effectuées constituent un ensemble conséquent cumulant : extension de prairie, construction d'un terre plein artificiel, construction sur celui-ci d'une bergerie répondant aux normes, réalisation d'une voie de desserte facilitant la circulation des engins agricoles, chacun de ces éléments constituant des points de départ d'érosion (photo 17).



Photo 17 : extension de prairie, création d'un voie d'accès , édification d'un terre plein artificiel ...



... et ravinement intensif de ce dernier, transport de particules fines formant un colluvion venu recouvrir la route à l'aval

d) Les effets localisés liés aux piétinements du bétail et à des pratiques d'élevage sous couvert forestier :

Les troupeaux de brebis en particulier, mais les bovins aussi, ont souvent besoin de **reposer** à l'abri de la chaleur sous des couverts arborés. Il s'ensuit l'existence de place en place de **sous-bois** tellement **piétinés** par le bétail **que le sol y est tassé, dépourvu de tout recouvrement végétal** à l'exception des frondaisons des arbres au-dessus et **soumis à un ruissellement**, en particulier lors des orages d'été qui y prennent alors, dans les secteurs les plus incisés, des petites formes torrentielles (photo 18)

Photo 18 : effets du piétinement sous couvert forestier



Les nécessités de diversifications économiques et les possibilités offertes par la mise en place de filières labellisées ont relancé **l'élevage porcin** en pays basque. Dans le droit fil de « pratiques ancestrales » qui font la réputation de ce type de production, cet élevage a repris la tradition d'un élevage **sous couvert de bois de chênes** en particulier.

Dans de petits périmètres, des troupeaux de cochons sont ainsi élevés, fouillant et piétinant les sols au point d'en faire **des « bourbiers » permanents**, sources ponctuelles d'émissions de particules lorsque surviennent les pluies, ce piétinement par les animaux étant un des sources majeures d'émission de particules ²¹

Photo 19 : élevage extensif de porcs et érosion des sols



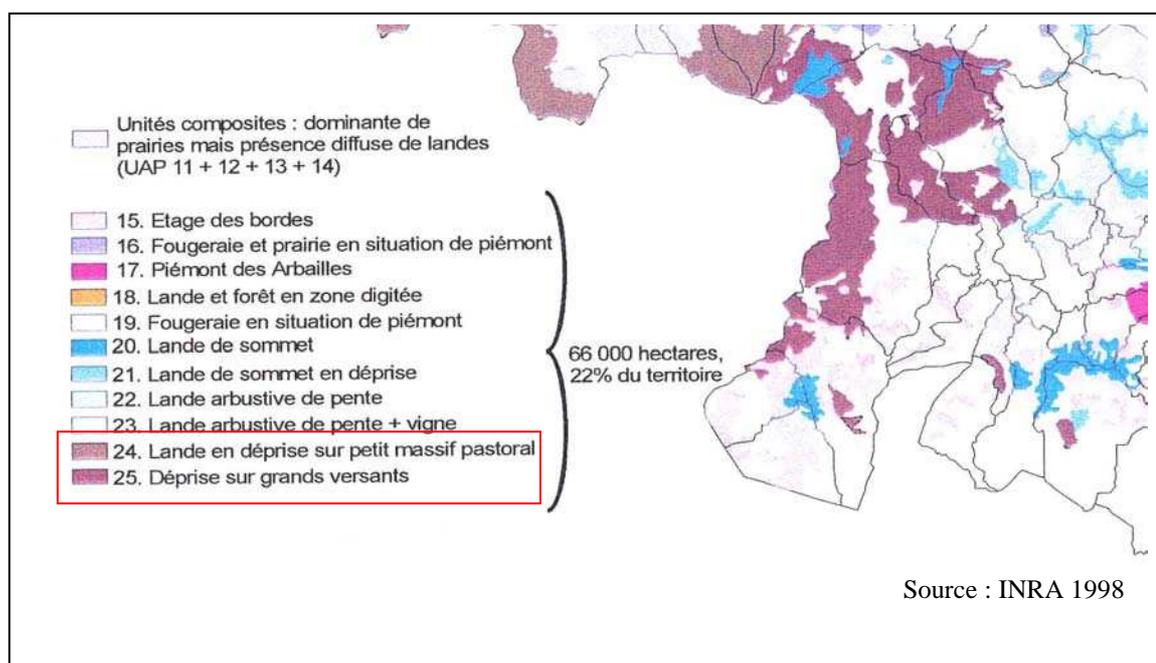
²¹ Macary et Paulais 2003

e) La déprise humaine source potentielle de processus d'érosion :

La comparaison de l'évolution de l'occupation du sol en vallée des Aldudes entre 1959 et 1994 montre que l'extension des surfaces en herbe s'est accompagné d'un accroissement des superficies à couvert forestier. Ce dernier n'est pas lié à la plantation de nouvelle forêt par l'ONF mais résulte de la concentration spatiale des activités agricoles dans un espace plus adapté aux exigences actuelles des exploitations d'éleveurs et dont la contrepartie est l'abandon de l'entretien et de l'exploitation de parcelles de landes : **l'intensification de l'exploitation de certaines parcelles va ainsi de pair avec la déprise d'autres.**

Les travaux réalisés par l'INRA dans le cadre du programme Leader II du pays basque intérieur ²² ont permis, entre autres, de cartographier des « unités agro-physionomiques » permettant de mettre en évidence l'existence de grands secteurs de déprise (encadré dans la légende de la figure 19)

Figure 19 : les unités agro-physionomiques dans le secteur de la vallée des Aldudes.



La plupart du temps, ces zones en déprise correspondent à des secteurs de pente plus ou moins marquées, presque toujours éloignées des exploitations, couvertes depuis des siècles de landes ouvertes au parcours extensifs. Elles ont aussi été en contact avec des boisements forestiers en lisière et c'est l'abandon de leur exploitation par l'homme qui a abouti à leur « fermeture » progressive et à l'extension naturelle des couverts forestiers voisins

²² INRA 1998

Photo 20 à 24 : des accrus à l'incendie, conséquences de la déprise



La déprise s'accompagne aussi de **l'abandon de l'entretien des châtaigneraies**, dont les éleveurs n'ont plus aucuns usages économiques, et à leur dégénérescence. Il en résulte la présence de très nombreux petits boisements à proximité des fermes dont les arbres sont morts ou désormais atteints de la « maladie de l'encre » .



Or l'économie pastorale ancienne les avait planté à des fins d'arboriculture (châtaignes, bois d'œuvre et tannerie) essentiellement dans le creux des vallons et dans les petits thalwegs où ils avaient aussi contribué à fixer les colluvions en provenance des surfaces supérieures. La conséquence de cet abandon des châtaigneraies **aboutit aujourd'hui à libérer, sous l'effet des ruissellements qui sont de moins en moins sous contrôle du système racinaire des arbres, une proportion croissante de matériaux fins.**

Ces « fermetures » constituent autant de **foyers potentiels d'incendies**, en particulier à la période des « écobuages » d'hiver lorsque ceux-ci échappent au contrôle des hommes.

L'enfrichement des milieux devient ainsi une source supplémentaire d'érosion potentielle sous couvert forestier lorsque succèdent aux incendies le maximum des pluies de printemps.



f) Les mauvaises utilisations du feu, outil technique ancestral des éleveurs, contribuent à accentuer des processus d'érosion :

L'usage du feu, désormais **administrativement normé et contrôlé** puisque soumis à autorisation, est très controversé. Cela tient à une perte de savoir-faire, à une évolution des pratiques et des objectifs pour lesquels « l'écobuage », terme consacré, constitue seulement une économie de moyens (mécanique et de bras) pour brûler tout ce qui, dans les dynamiques naturelles, peut gêner l'évolution actuelle de l'activité pastorale. L'incendie de parcelles tend ainsi à se substituer à des feux pastoraux dont les objectifs étaient multiples.



Photo 25 : écobuage d'hiver d'étendues de landes en secteurs peu accessibles.

L'écobuage de grandes parcelles de landes est une pratique courante en vallée des Aldudes. Un instant suspendu suite aux décès de randonneurs pris dans les flammes, son usage hivernal a repris tant en intensité qu'en surface traitée.

La contre verse sur son usage tient essentiellement aux conditions de sa mise en œuvre telles que : l'étendue de la parcelle, la nature et l'état du couvert végétal, les conditions climatiques, la conduite technique.

Si les avis sont partagés et parfois conflictuels entre exploitants, ils s'accordent souvent néanmoins sur les **conséquences négatives de certaines pratiques** à savoir : le **recours trop fréquent**, annuel, au feu sur une même parcelle qui empêche la reprise de végétation et ce d'autant plus que l'incendie est intense, étendu en surface et mis en œuvre dans des circonstances climatiques inadaptées.



Photo 26 : effet de feu répété sur une parcelle de landes

L'écobuage annuel d'une parcelle aboutit à **l'impossibilité de régénération végétale** autre que thermophile et ce sous forme de présence de tâches de végétation par plaques. Si, par ailleurs, cette absence de couverture continue en surface se conjugue avec des **prises à feu trop tardives en saison**, les premières précipitations de printemps (sous forme neigeuses mais le plus souvent de pluies continues) concentrent sur ces surfaces des quantités d'eaux dont le **ruissellement** va trouver un **terrain favorable à son action érosive**. Celle-ci sera amplifiée si l'intensité du feu, en indurant la couche superficielle, en accroît la battance.

Des étendues de landes, soumises à cette conjonction de contraintes, finissent par une quasi mise à nue de la roche mère et à la formation, dans les secteurs où les sols sont composés essentiellement d'éléments grossiers, de chenaux torrentiels d'écoulement incisant les versants de façon rectiligne dans le sens de la plus grande pente (photo 27).

Photo 27 : dégradation à long terme d'un versant par l'érosion du fait d'un excès de mise à feu.



g) Les pratiques localisées de prélèvement :

Il n'est pas rare de trouver le long des routes vicinales des « coupes » dans les versants, les unes résultant d'effondrements ou de décollements « naturels » de terrain, d'autres de travaux routiers anciens effectués pour élargir ou renforcer la chaussée, voir d'anciennes carrières. Or rares sont les coupes en voie de reconquête ou de cicatrisation par la végétation : chacun ici a d'autant plus la faculté de venir y prélever du matériau pour des usages personnels (à commencer par la réparation des ornières et rigoles d'érosion sur les pistes) que les terrains affectés sont communaux ou syndicaux .

Ce qui aboutit à **l'entretien permanent de cicatrices d'érosion et d'éboulements** composés il est vrai essentiellement de matériaux grossiers, les particules fines ayant été depuis longtemps exportées.



Dans le bassin versant des Aldudes, la plupart des étendues forestières d'une certaine étendue relèvent de propriétés collectives (communales et syndicales) et sont gérées à ce titre par l'Office National des Forêts qui, compte tenu de la relative faiblesse du couvert en surface et la susceptibilité érosive des versants, n'y procède guère à des coupes.

Mais les exploitations possèdent aussi de petits boisements souvent de châtaigniers et de chênes sur lesquels elles prélèvent parfois des arbres créant çà et là des cicatrices et de départ d'érosion.



h) L'extension des dessertes carrossables et de l'imperméabilisation des sols :

Les mutations économiques et sociales qui ont marquées ces dernières décennies le pastoralisme de montagne ne s'est pas seulement accompagné d'une transformation dans la nature de la couverture végétale du parcellaire. En une quarantaine d'années, l'examen des couvertures cartographiques et aériennes de l'IGN montre que le réseau d'accès et de desserte aux exploitations et aux parcelles s'est densifié et modifié en nature (figure 20).

Des surfaces goudronnées qui collectent les eaux de ruissellement :

Par phases successives, le réseau de desserte des fermes s'est transformé. Dans les années soixante, les routes goudronnées qui desservait surtout les villages et hameaux se sont progressivement substituées aux chemins de terre desservant le reste des exploitations isolées, ce traduisant par une extension des surfaces imperméabilisées.

Photo 28 : desserte routière de chaque ferme isolée



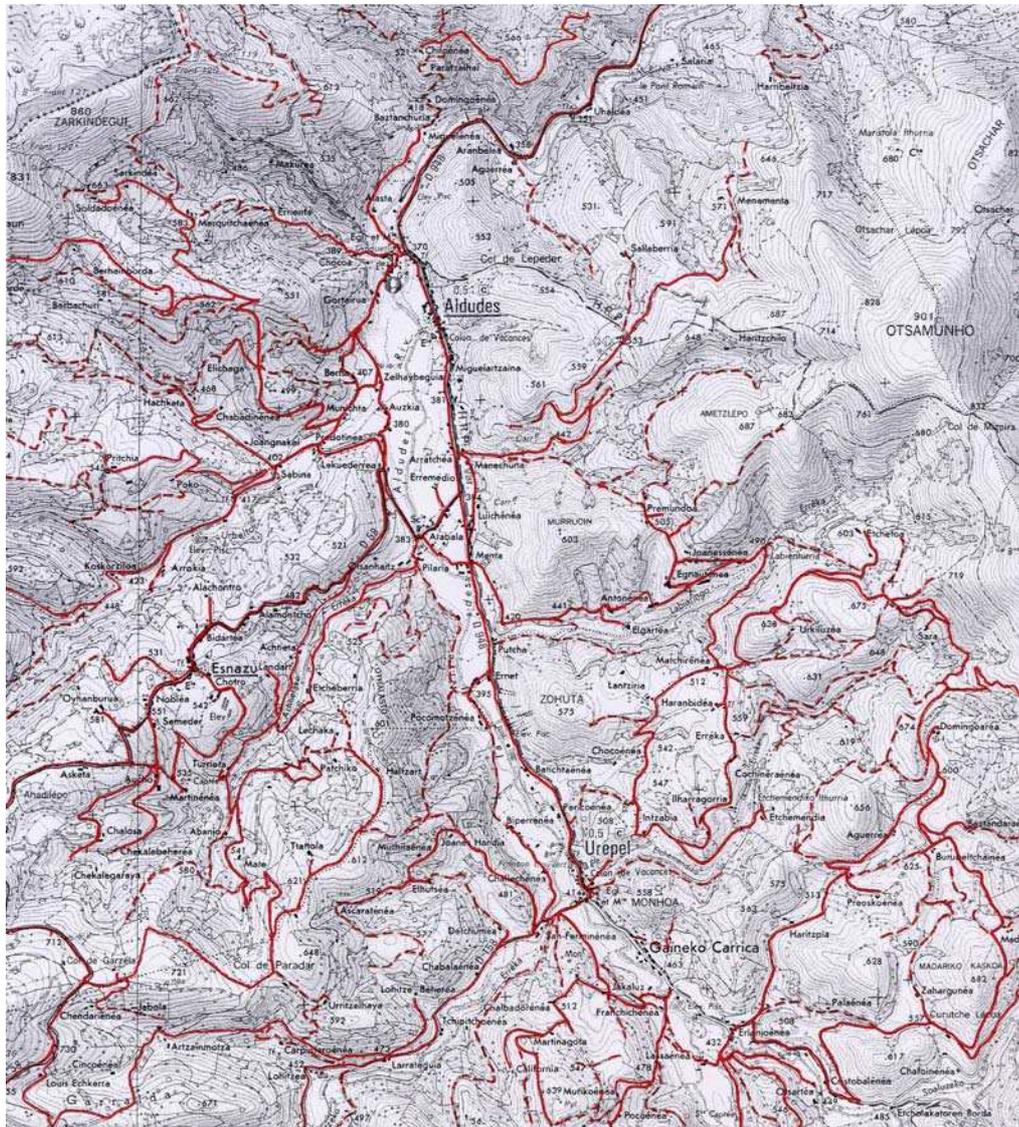


Figure 20 : Etat du réseau de desserte de la vallée desAldudes en 2003
(traits pleins : voies goudronnées ; tiretés : pistes carrossables)

De nombreux travaux scientifiques ont mis en évidence l'effet de l'imperméabilisation des sols sur le ruissellement. Ils montrent en particulier que **les voiries constituent des connexions fortes entre les parcelles et le transfert des particules vers les cours d'eau**²³. En effet, les routes goudronnées constituent non seulement des **axes de collecte des eaux de ruissellement** mais aussi, du fait de leur **imperméabilité**, facilitent l'**accélération de l'écoulement** et donc sa **capacité d'érosion** à l'aval sur d'autres parcelles.

Cette extension de l'imperméabilisation des sols s'est doublée par ailleurs dans le temps d'élargissements et de créations de « pistes pastorales » facilitant l'accès de

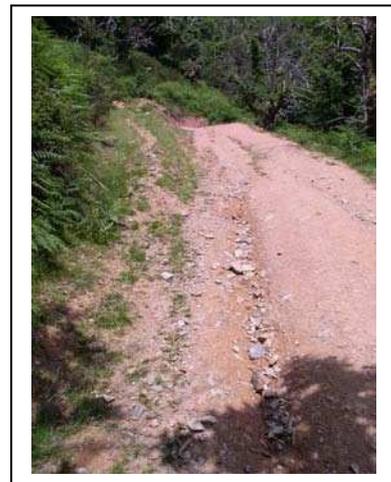
²³ Macary et Paulais 2003

parcelles de plus en plus éloignées à une agriculture de plus en plus mécanisée et nécessitant donc la transformation des gabarits des anciens chemins pastoraux et de transhumance en particulier à l'aide de bulldozers d'où :

Des pistes carrossables qui multiplient les départs d'érosion :

Les pistes carrossables, en entaillant les profils de terrain, en mettant les sols à nu, en les tassant, en facilitant la concentration des eaux de ruissellement constituent autant de sources de départ d'érosion :

- lorsque leur **tracé** tend à s'affranchir, par nécessité économique ou foncière (respect des limites de propriété), de la topographie en ne suivant pas au mieux les courbes de niveau, il **tend à faciliter la chenalisation des ruissellements et à faciliter leur incision,**



- lorsque leur tracé traverse de fait des substrats lithologiques et pédologiques différents, les **terrains affectés réagissent de manière différentielle** du fait de leur qualités physico-chimique propres. Les eaux de ruissellement trouvent ainsi des surfaces, des points ou des cheminements favorables à une reprise différenciée de leur **action érosive**. Celle-ci **peut se limiter à de simples effets localisés** : éboulement partiel, déchaussement d'un arbre en bord de piste ...



... mais elle peut aussi aboutir à **des glissements plus généralisé** de surfaces de sols et à plus long terme de pans de versant glissant sur un substrat lithologique favorable, en particulier du fait des pendages de celui-ci.



Certes, là encore, les effets physiques n'apparaissent que ponctuels parce que les interventions humaines ne s'effectuent que par touches localisées. Sauf que ces **pistes** sont **tracées à flanc de versants** dont les analyses pédologiques nous ont montré qu'ils étaient les **principaux secteurs d'accumulation de colluvions** parfois très épais. Elles **contribuent donc à long terme** à favoriser le détachement de particules fines et à **fragiliser encore plus des formations de sols** déjà souvent rendus squelettiques.

Tous ces constats ont en commun de montrer que **l'évolution récente** de l'économie pastorale de la vallée se traduit par une **rupture dans les pratiques, l'occupation de l'espace et l'exploitation des milieux**. Dans tous ces cas les interventions humaines se traduisent par un **forçage des conditions physiques facilitant souvent l'action érosive des eaux de ruissellement**.

Mais si **l'accumulation de ces phénomènes** peut contribuer à la **production de matières en suspension** qui finissent par être collectées par le réseau hydrographique qui draine ces vallées, il n'en reste pas moins que tous ont en commun d'être **localisés dans l'espace** et, pour certains, à effet à court terme. Quelle est donc la **portée réelle** à l'échelle d'un bassin versant de ces « points de rupture » ? La **structure du paysage pastoral** en est-elle profondément modifiée au point d'être **en voie de déstabilisation** ?

3.2. Des pratiques et des savoirs faire qui limitent encore la multiplication et l'extension des phénomènes érosifs :

La nature et l'accélération dans le temps des modifications apportées par les exploitants agricoles à leur cadre naturel d'exercice se traduit par une multiplication de forçages créant ou accentuant la susceptibilité érosive des sols, fragilisation accrue des agrosystèmes consécutive aux transformations subies et adaptations nécessaires de l'élevage.

Si, en parcourant le terrain, nous avons relevé de nombreux faits et pratiques qui sont générateurs de dynamiques d'érosion, il faut aussi en relativiser la portée en les replaçant dans leur contexte. En effet **si à l'échelle de la parcelle l'évolution économique de l'élevage tend à multiplier ponctuellement des points de rupture, à l'échelle du bassin versant ce processus de déséquilibre des milieux est loin d'être aussi manifeste.**

a) Une structure paysagère qui conserve encore sa cohésion d'ensemble :

Les paysages de la montagne basque sont constitués d'une mosaïque de petites parcelles imbriquées, faisant succéder ou alterner des pâturages, des landes et des secteurs boisés, l'ensemble formant un « écosystème pastoral ». Cette parcellisation de l'espace, résultat d'un long processus historique de co-adaptation à des contraintes physiques se double en effet de logiques culturelles et économiques propres à la société pastorale basque.

Cette co-évolution du biophysique et du social a abouti à une structuration « stabilisée » des milieux

Cet **héritage paysager constitue encore la trame dominante de ces milieux.** Lorsqu'on analyse le foncier de chaque exploitation, on constate que son parcellaire offre encore cette mosaïque (photo 29) d'étendues d'herbages sur les secteurs les moins déclives et les plus proches de la ferme, de landes sur les pentes plus éloignées et plus marquées, et de bois dans les thalweg ou sur les versants les moins exploitables pour le parcours ou les plus instables physiquement.

Photo 29 : la structure paysagère type des exploitations



Une structure paysagère qui contribue à maîtriser les effets du ruissellement :

Lorsque la topographie et les conditions physiques se prêtent à une ouverture maximale des milieux, c'est-à-dire permet d'étendre au maximum les surfaces en prairies sur un versant, le pastoralisme basque n'en a pas pour autant abouti à la formation de grandes parcelles d'un seul tenant : il a au contraire fractionné soit en bocage par des talus et des haies ce versant (photo 30), soit varié la nature du couvert végétal sur celui-ci (photo 31), pratiques qui, dans les deux cas ont des effets positifs sur l'écoulement et l'infiltration des eaux de pluie.

Photo 30



Photo 31



Une diversité végétale entretenue, voire « jardinée » par l'homme :

Les parcelles de landes sont celles qui ont subi ces dernières années les transformations les plus marquées et parfois radicales et, par voie de conséquence, le siège de processus érosifs. Ces « zones intermédiaires »²⁴ -qui constituaient auparavant des espaces de parcours couvrant la majeure partie des territoires appropriés collectivement (indivision syndicale et communale)- restent dans leur ensemble des milieux ouverts :

- soit couvert par une végétation ligneuse contenue par la dent des troupeaux (bovins et équins) ou par le recours aux feux pastoraux (photo 32)
- soit « cultivé » en fougères aigles récoltées et stockées en meules pour la litière des troupeaux de brebis et fournir par la suite, à moindre coût, un engrais naturel épandu sur les prairies (photo 33)

Photo 32



Photo 33



²⁴ De Bortoli, Cunchinabe, Palu 2003

b) des pratiques de protection contre l'érosion :

L'analyse des sols a mis en évidence l'importance de l'héritage anthropique dans ces vallées occupées et exploitées par l'homme depuis le Néolithique. Si ce dernier a contribué au fil des siècles à façonner les paysages actuels, il en a aussi mesuré toute la fragilité en particulier du fait de certaines de ses interventions.

S'il a su préserver un certain d'équilibre d'ensemble en structurant une composition parcellaire dense et à petite échelle, il est aussi intervenu pour **contenir et limiter les risques d'érosion par une utilisation raisonnée des végétaux.**

les boisements de protection :

L'analyse successive des archives historiques dès le XVII^e siècle, des fonds des Eaux et Forêts au XIX^e et des couvertures aériennes au XX^e montrent que les **secteurs des vallées les plus accidentés, les plus pentus, souvent les plus drainés ont toujours été recouverts de forêts de hêtres ou de chênes** (photo) selon leur étagement naturel, à la fois parce qu'ils n'étaient pas propices à l'élevage et potentiellement sujets à d'intenses érosions et en grande partie pour ces raisons sujets de conflits dès lors que des volontés d'exploitation de ces boisements se manifestaient en particulier pour les mines de Banca²⁵ ou la production de bois d'oeuvre.

A l'étage montagnard, les exploitations possèdent par ailleurs de **nombreux petits bois privés** de chênes et de châtaigniers présentant une faible densité de boisement qui avaient une **double fonction** : 1) **produire** des fruits (glands et châtaignes pour la consommation animale et humaine) et du bois aux multiples usages tout en étant des espaces de parcours sous forêt et 2) **maintenir** par leurs racines **les sols** de versant particulièrement soumises ou sensibles à l'érosion (photo 34 et 35).

Photo 34



Photo 35



A ces parcelles de « bois paysans » qui jalonnent le paysage s'ajoutent d'autres utilisations du couvert arboré dans la stabilisation des sols. Si les premiers contribuent à éviter que du matériau soit arraché et exporté vers l'aval par le ruissellement, les lignes d'arbres plantés qui s'alignent au bas de certains versants ont pour fonction de fixer et stabiliser les flux de matériaux provenant de l'amont et d'éviter que soient « salies » les prairies qu'ils protègent ainsi à l'aval de ces émissions (photo 36).

²⁵ Machot 1995

**Photo 36 : boisement de protection
de bas de versant**



Par ailleurs, dans les deux formes de boisements plantés, les éleveurs pratiquaient (et continuent encore pour certains) la taille de ces arbres. L'émondage par des coupes basses sur les jeunes plants ou par élagage du houppier sommital sur les chênes et châtaigniers (photo 37 et 38), tout en fournissant du bois en faisant naître des rejets, accentue le développement du système racinaire des arbres ainsi « travaillés », contribuant ainsi à une meilleure emprise sur le sol.

Photo 37-38 : de multiples arbres émondés



Enfin, dans un passé récent aujourd'hui révolu, lorsqu'un exploitant supprimait un de ses bois pour y substituer un pâturage, il laissait sur celui-ci les souches, contribuant ainsi au maintien du sol avant sa complète reconquête par la couverture végétale. Un certain nombre de prairies de la première génération offre ainsi un caractère bosselé, témoin de ce mode de transformation. Mais ceci n'est possible que si l'engazonnement de la parcelle ainsi transformé se fait par semis naturel et sans intervention mécanique, ce qui n'est plus trop le cas depuis une dizaine d'années.

c) des interventions ponctuelles pour stopper ou empêcher des processus d'érosion :

Les effets à long terme des eaux de ruissellement peuvent entraîner, par infiltration et saturation dans les sols ou au contact de surfaces lithologiques sous-jacentes, des reptations, des glissements, des décollements progressifs de la surface du sol.

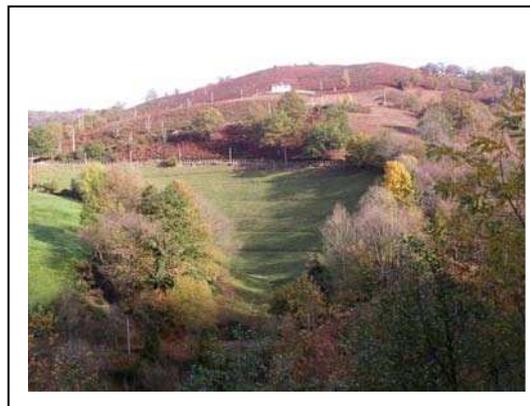
Sur certaines parcelles, des travaux de soutènement, souvent très ponctuels montrent le souci d'empêcher ou de stabiliser de tels processus. (photo 39).

Dans d'autres cas, la pente a été travaillée en terrasses de manière à anticiper sur les risques d'érosion en chenalissant de cette manière les eaux de ruissellement (photo 40).

Photo 39 : stabilisation du sol par adjonction de murettes



Photo 40 : protection de sol en pente par terrassements



d) une utilisation du feu répondant à une logique d'entretien du milieu :

S'il est aujourd'hui scientifiquement établi ²⁶ que **le feu, en tant qu'outil technique**, a été largement utilisé et amélioré au cours des millénaires par les sociétés pastorales pyrénéennes et **a grandement contribué à façonner les paysages** qui sont aujourd'hui sous nos yeux, l'usage du feu en montagne **est devenu l'objet de débats, de confrontations, voire de condamnations médiatisées**. Cela tient surtout au fait que les logiques administratives et les normes techniques qui les accompagnent ont réduit les pratiques utilisant le feu à une seule expression : « l'écobuage », dont l'usage est soumis à une réglementation stricte. Ainsi, s'agissant de l'utilisation du feu : *« toute approche en matière d'environnement est appréhendée selon la configuration suivante : croyances d'agriculteurs contre raisons de techniciens et vérités scientifiques »* ²⁷

Le débat sur l'usage du feu comme outil technique pour maintenir les milieux « ouverts » a ceci d'intéressant qu'il confronte plus des choix socio-économiques que les savoirs scientifiques aux savoirs communs. La confrontation oppose plus en effet ces derniers d'une part à des logiques techniques et administratives normatives et réductrices, d'autre part à une partie des exploitants agricoles, formés aux nouvelles technologies de culture et à des logiques productivistes intensives et qui, à ce titre, considèrent les savoirs pratiques ancestraux comme des archaïsmes.

Or les « écobuages », qui dégénèrent en « incendies » et qui servent d'arguments pour supprimer les pratiques d'usage du feu, sont tantôt réellement accidentels, tantôt « mal contrôlés » au point de « faire gagner du terrain sur les accrus forestiers naturels ». Outre ces risques parfois donc « recherchés », les opposants à la pratique du feu considèrent que celui-ci ne constitue pas un gain en terme de productivité herbagère et qu'il contribue à l'érosion des sols par la destruction du couvert végétal avant les

²⁶ Galop 2001

²⁷ Metallié 1998-1999, Ribet 1999,

pluies de printemps qui vont raviner les sols ainsi fragilisés, critiques qui ne sont pas sans fondements²⁸

Les partisans rétorquent que les incidences négatives sont liées à une utilisation de techniques inappropriées :

- par des mises à feu importantes au lieu de simples « **brûlis pastoraux de place en place** » de façon à ce que le feu ne détruise que les pousses ligneuses qui se sont développées depuis le dernier brûlis (espacé en général au moins de deux ans) afin aussi que le feu qui se développe ne produise qu'une petite flamme.

Photo 41 : brûlis pastoral ponctuel visant à détruire le développement de ligneux (ajoncs)



- sur des surfaces étendues au lieu de les **fractionner par petites parcelles préalablement préparées** (par des travaux de terrain, des contre-feu préventif, ...) de sorte que le feu meure de lui-même au terme du parcours prévu
- lors des séquences inadaptées (conditions climatiques et botaniques non réunies) qui font qu'on allume quand même le feu parce que l'autorisation a été obtenue pour un jour ou une période donnée alors que le vent se lève ce jour là, attise les flammes, échappe au contrôle et finit par déborder sur les forêts voisines.

Ce que réaffirment aussi ces éleveurs, c'est que les **pratiques ancestrales des feux pastoraux** sont multiples car ils ne visent pas qu'à détruire mais sont conçus comme de réels outils de sélection végétale.

Ils doivent en effet :

- apporter des **réponses adaptées à la complexité** à la fois des conditions physiques (situation anticyclonique, vent, sol, pente par exemple) et végétales (état et nature du couvert).
- **répondre à des objectifs économiques eux-mêmes diversifiés et précis** : par exemple choix de maintenir une lande en état de parcours d'appoint pour le bétail (chevaux et bovins) ou la transformer en pâture extensive ou laisser croître des ligneux pour une exploitation ultérieure et le plus souvent éviter que la dynamique naturelle de l'enfrichement prenne le pas sur la strate herbacée. Le feu pastoral est donc un outil de sélection et de régénération naturelle (avec apport de cendres) de l'herbe (photo 42).

²⁸ il est prouvé ainsi que le feu favorise la reprise et l'extension des graminées vivaces au détriment des légumineuses annuelles dont la graine est détruite. Or ce sont ces dernières pour lesquelles les ovins ont le plus d'appétence. De même sur certains versants exposés au vent dominant, celui-ci chasse les cendres.

Photo 42 : repousse de l'herbe au printemps après un feu pastoral d'hiver



Certaines techniques de feu constituent ainsi les moyens les mieux adaptés à la fois du point de vue économique et biologique. Des études scientifiques²⁹ ont ainsi montré que les incendies peuvent avoir un rôle positif pour l'avifaune et les micromammifères selon certaines conditions, en particulier celles de la faible intensité des feux et leurs fréquences de retour.

S'ils sont pratiqués tous les deux ans sur une même parcelle, avec dans l'intervalle un entretien ponctuel de celle-ci, lors d'une journée de fin d'hiver présentant les conditions optimum du point de vue de paramètres bio-physiques, ces pratiques ne constituent pas une source de risque d'érosion. Le feu parcourt rapidement la parcelle, réduit en cendres les végétaux morts durant l'hiver et les jeunes pousses de ligneux, la quantité de chaleur produite par le feu courant n'assèche que très superficiellement le sol qui à la première pluie de printemps bénéficie de l'apport des cendres.

L'outil « feu pastoral », tel qu'il est valorisé dans les connaissances scientifiques et revendiqués par les savoirs communs, joue un rôle non négligeable du point de vue économique et biologique : il permet le fonctionnement de la dynamique paysagère des « zones intermédiaires »³⁰ en favorisant le maintien d'une diversité de leur mosaïque par une hétérogénéité spatiale de la végétation des parcelles qui font de ces zones des « espaces réserves » pour l'économie pastorale.

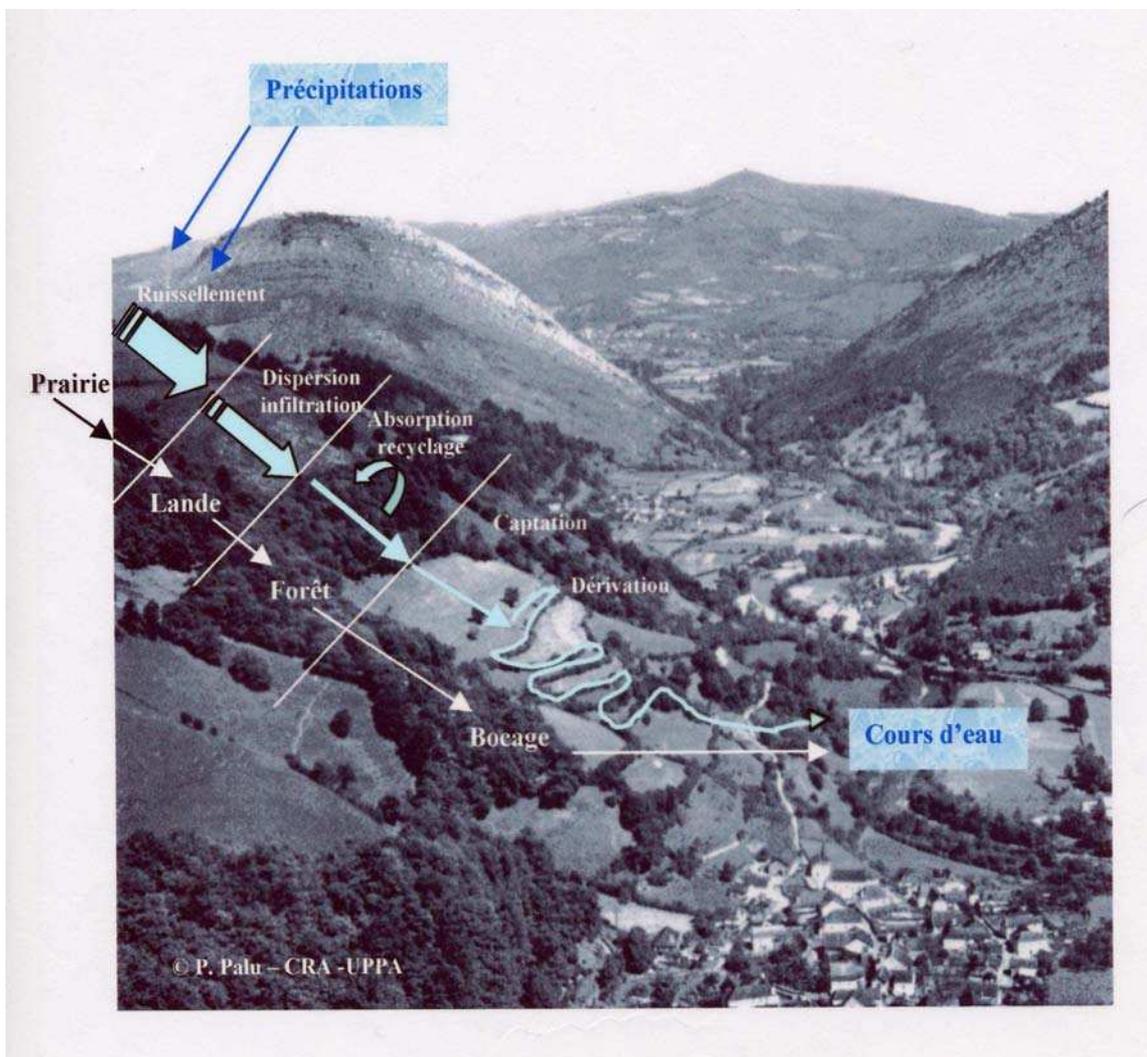
²⁹ Prodon 1999

³⁰ De Bortoli., Cunchinabe., Palu 2003

Dans les bassins amont des Nives, les **conditions géophysiques sont depuis longtemps favorables à l'érosion** : nature limoneuse des sols, pentes et climat océanique constituent en effet un ensemble propice à l'action des eaux de ruissellement. Les sociétés pastorales qui se sont adaptées aux conditions de ces milieux les ont structuré en une mosaïque des paysages agraires contribuant au maintien des sols tout en permettant le développement de l'élevage : **l'importance de la couverture végétale en prairies et en landes jointe à celle des bois dans les parties les plus accidentées constituent autant de facteurs de frein l'érosion** (figure 21)

Cette occupation du sol variée, conçue dans la complémentarité de diverses formations végétales, forme un « écosystème pastoral », c'est-à-dire un **assemblage d'écosystèmes emboîtés occupant un territoire utilisé et aménagé par l'homme**.

Figure 21. Les « zones intermédiaires » de lande, forêt et bocage : rôles et fonctions de leur structure dans le contrôle des eaux de ruissellement sur les pentes.



L'évolution récente de l'économie pastorale aboutit à une transformation de cette structure des paysages qui se traduit par un **double processus à la fois d'intensification**

de l'exploitation de certains milieux et d'un abandon de l'usage et de l'entretien d'autres.

En effet, les secteurs de plaines alluviales ou de fonds de vallées adjacentes (en particulier les paléo-vallées dans le bassin des Aldudes) sont exploités depuis longtemps en prairies par l'homme. Il en est de même pour les parties sommitales des vallées « cultivées » en estives. Le **gain herbager nécessité par l'évolution actuelle de l'économie pastorale** ne peut donc se faire sur ces deux écosystèmes de l'écocomplexe pastoral. Ce sont donc **sur les « zones intermédiaires »** que ce gain s'accomplit.

Or si celles-ci peuvent paraître comme des secteurs « peu exploités », avoir l'aspect de milieux de déprise, elles constituent néanmoins, dans le système pastoral, une **zone tampon** entre le système de culture du bas et le système pastoral du haut et tiennent lieu d'un véritable interface en héritant de l'un et de l'autre. En ce sens, les « zones intermédiaires » peuvent être considérées comme des **réservoirs de diversité**. Elles ne sont pas seulement un ensemble de landes rases ou arbustives gérées en bien collectif comme les définissent certains agriculteurs, techniciens ou agronomes, mais plutôt un **ensemble de prairies, fougères, boisements de diverses natures, landes rases et arbustives** dont une partie est sous gestion privée. L'interaction de tous ces éléments constitue précisément le caractère et la fonction singulière de cette partie dans le fonctionnement global de l'écocomplexe pastoral.

Les **transformations et forçages** dont ces « zones intermédiaires » sont aujourd'hui l'objet **remettent en cause l'ensemble du système et tout particulièrement le dispositif de stabilisation et fixation des sols sur les pentes** que constitue la mosaïque paysagère dont la fonction physique est de contrôler l'écoulement des eaux de surface (figure 21).

Les phénomènes d'érosion engendrés par cette évolution se traduisent-ils pour autant par une différence significative de production de matières en suspension collectée par le réseau de drainage de ces bassins ?

4. Un important transfert de matières mais des processus d'érosion non homogènes :

Sur les différentes sites retenus, les bases de données sur les flux de MES sont encore en cours d'acquisition. Les résultats n'étant significatifs qu'au bout d'un cycle hydrologique soit un an, nous ne sommes en mesure d'analyser correctement que les résultats de l'année 2002 et de présenter des indications pour 2003. Afin d'analyser la variabilité interannuelle du transport de matière, nous souhaitons pérenniser ces installations jusqu'à la fin 2004 pour avoir trois cycles hydrologiques complets.

4.1. Des teneurs en MES plus élevées dans le bassin versant le moins anthropisé :

La Nive d'Arnéguy ne disposait pas de mesures de débits. Nous l'avons équipée en juillet 2002 d'un limnigraphe mais en restant dans l'impossibilité de déterminer parfaitement la courbe d'étalonnage pour calculer des flux de MES. En effet, il est nécessaire de mesurer, pour différentes hauteurs d'eau, les débits équivalents à l'aide d'un courantomètre permettant alors d'établir une courbe de tarage. Deux problèmes majeurs nous ont empêchés de l'établir :

- le manque d'évènements de hautes eaux et de crues, les années 2002 et 2003 étant particulièrement « sèches » sur ce plan .
- les rares épisodes de crues qui se sont produits ont été soudain et brefs et avec des courants trop importants pour pouvoir effectuer des mesures dans le cours d'eau. Ceci devrait être possible courant 2004.

En terme de résultats pour l'année 2002, nous avons constaté que la courbe des concentrations en MES de la Nive d'Arnéguy suit parfaitement celle de la Nive des Aldudes avec des valeurs dans l'ensemble plus fortes (figure 22).

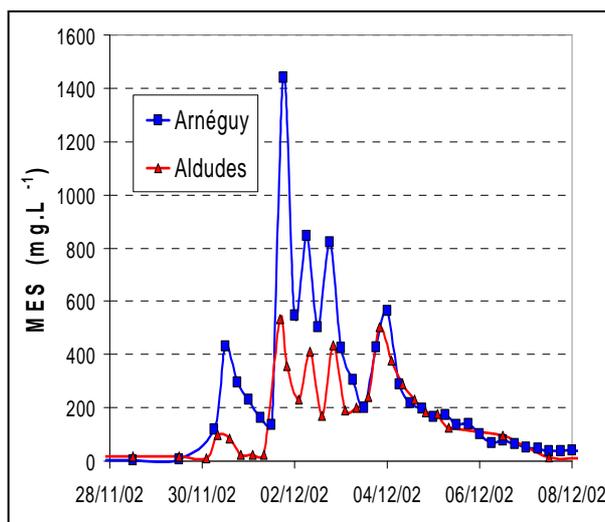


Figure 22 – Données de MES sur la Nive des Aldudes et la Nive d'Arnéguy

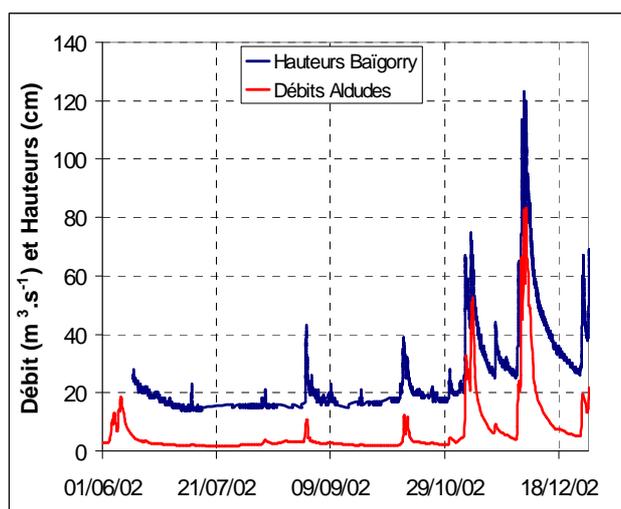


Figure 23 : Débits des Aldudes et hauteurs d'eau sur la Nive

Dans la mesure où, pour les raisons invoquées précédemment, nous n'avons pas pu établir cette courbe de tarage, nous avons envisagé d'utiliser les débits des Aldudes rapportés à la taille du bassin d'Arnéguy pour obtenir les débits à Uhart-Cize. En effet, la figure 23 confirme bien le synchronisme entre débits aux Aldudes et hauteurs d'eau à Uhart-Cize. La dynamique temporelle de la Nive des Aldudes semble pouvoir être généralisée à celle de la Nive d'Arnéguy, ce qui nous amène à conclure que **le flux spécifique de MES de la Nive d'Arnéguy est supérieur à celui de la Nive des Aldudes en raison des teneurs en MES plus fortes sur Arnéguy.**

4.2. Des taux d'exportation très élevés dans les sites étudiés :

Le tableau suivant traduit les flux de MES constatés en 2002. Pour la Nivelle et la Nive à Ustaritz, le flux annuel est basé sur des prélèvements des dix derniers mois de l'année. Cependant, aucune crue majeure n'a eu lieu les deux premiers mois et ces deux valeurs reflètent bien le transfert annuel. Afin d'effectuer des comparaisons entre bassins de tailles différentes, les flux spécifiques ont été calculés en divisant le flux total par la superficie du bassin. Nous pouvons constater que les rivières de montagne présentent des taux d'exportation supérieurs à des rivières de plaine comme l'Adour (valeur exceptionnellement basse cette année là).

Rivières	Flux MES (tonnes)	Flux MES (t.km ² .an ⁻¹)
Nive des Aldudes	11 500	73
Nive* (Ustaritz)	30 000	30
Nivelle*	10 000	73
Adour	150 000	18
Gaves	385 000	76
Garonne (94-01)	610 000 3 845 000	12 (1997) 72 (1996)

Résultats des flux de MES en 2002
* :début des prélèvements : fin février 2002

A titre d'indication, la gamme des flux de la Garonne suivie depuis dix ans par l'équipe TGM de l'Université Bordeaux 1 montre que celle-ci peut varier du simple au double en terme de débits annuels et corrélativement de 1 à 7 en flux de MES (figure 24). Autrement dit, la Garonne présente un taux d'érosion identique à ceux trouvés pour les rivières pyrénéennes mais ceci pour la seconde année la plus humide du siècle sur la Garonne (1996) avec une crue centennale sur le Tarn, ce qui souligne la spécificité des rivières pyrénéennes.

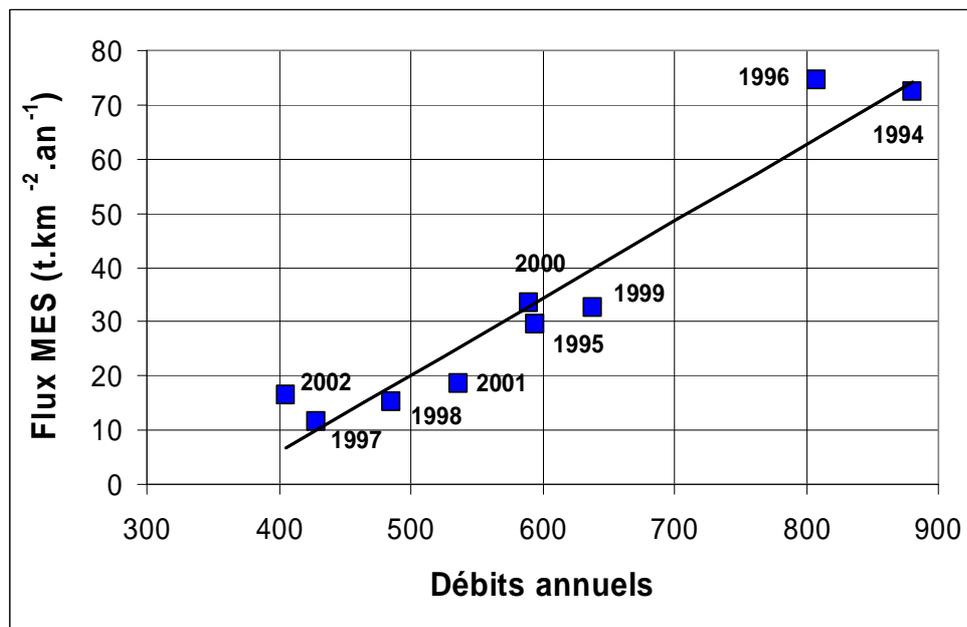


Figure 24. Variabilité annuelle : l'exemple de la Garonne

Par contre, en 1997 et 2002, années « sèches », nous retrouvons une valeur plus modérée. Avec une telle corrélation entre taux d'exportation et hydrologie annuelle, nous pouvons à juste titre nous demander, s'il existe des **gammes aussi larges de taux d'érosion pour les rivières pyrénéennes suivant l'année hydrologique** (il est alors nécessaire de pérenniser ces installations pour les suivre sur plusieurs années contrastées) et **quelle était la situation hydrologique lors du suivi en 2002 pour les rivières pyrénéennes ?**

4.3. La nécessité de mesures sur le moyen terme :

En comparant les débits mensuels pluriannuels et les débits mensuels 2002, nous avons pu constater que globalement, les débits étaient déficitaires sur les petites rivières de montagne et l'Adour et dans une situation d'année moyenne sur les Gaves.

A titre d'exemple, le débit annuel de la Nive des Aldudes est 15% plus faible que la moyenne interannuelle avec un fort déficit en eau jusqu'en Novembre hormis le mois d'Août (figure 25). Nous pouvons donc penser que les **flux de 2002 sont sous-estimés par rapport à une année « dite normale » sur les rivières de montagne et l'Adour.**

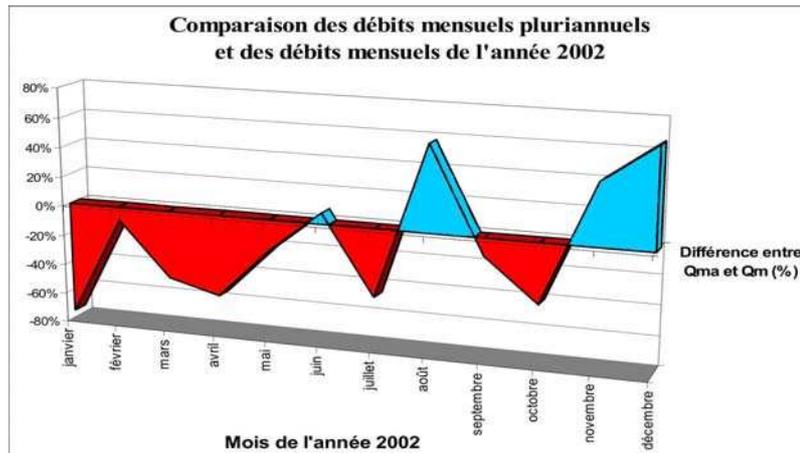


Figure 25 : Situation hydrologique - Comparaison entre débits mensuels 2002 et débits mensuels pluriannuels (Nive des Aldudes)

4.4. L'effet déterminant des épisodes de crues :

Une telle distribution des débits a une incidence sur la répartition des flux sur l'année (figure 26). En effet, les transferts ne se répartissent pas de manière homogène sur l'année et pose le problème de l'importance des événements brefs qui amènent l'essentiel du flux de MES.

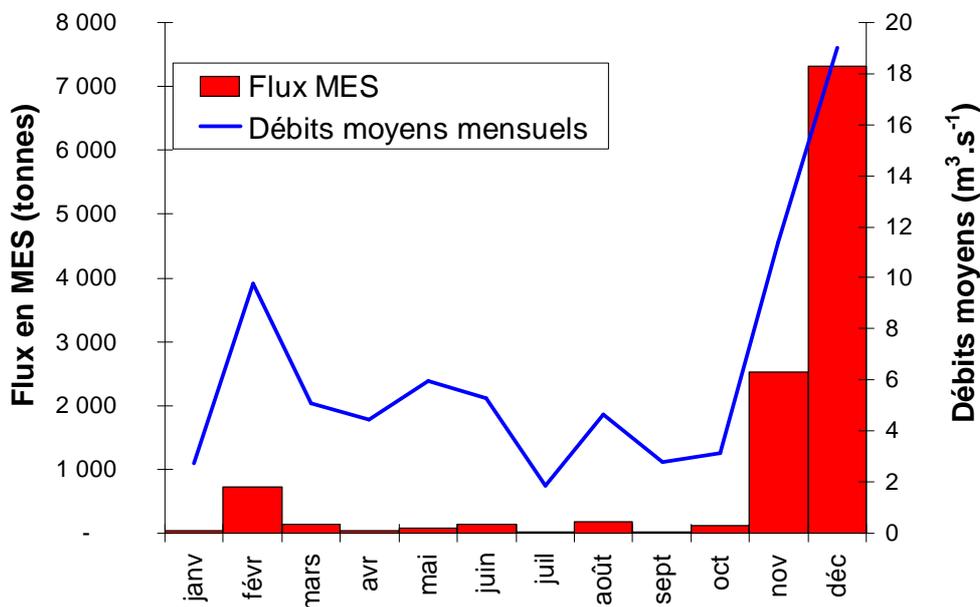


Figure 26 : Répartition mensuelle du flux annuel en MES en 2002 sur les Aldudes

Cette figure illustre parfaitement l'importance d'évènements brefs sur le flux total annuel. Le flux cumulé de MES durant l'année est reporté en fonction de la progression des jours de l'année 2002. Jusqu'en Novembre, le flux total sur la Nive des Aldudes était faible autour de 1500 tonnes et ce sont **deux événements**, l'un daté du 6-13 novembre et l'autre du 1^{er} au 7 décembre (figure 27), qui **ont contribué au flux final des 11500 tonnes**. L'association de **ces deux épisodes dont la durée totale est de 15**

jours (soit 4% du temps) **contribue à environ 80% du flux total**. Ceci souligne le problème de la fréquence d'échantillonnage.

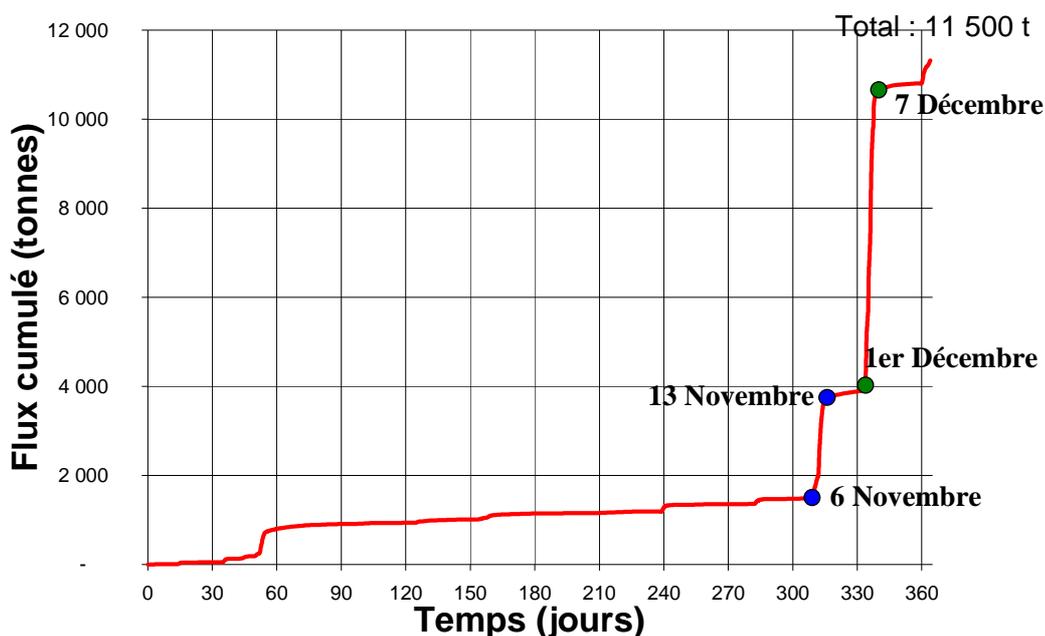


Figure 27 : Flux cumulé des apports sur la Nive des Aldudes en fonction du temps

Les premiers résultats de l'année 2003 sont comparables à ceux de 2002 avec un débit annuel identique de $6.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ d'où un déficit par rapport à une année dite moyenne ($7.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) de 15%.

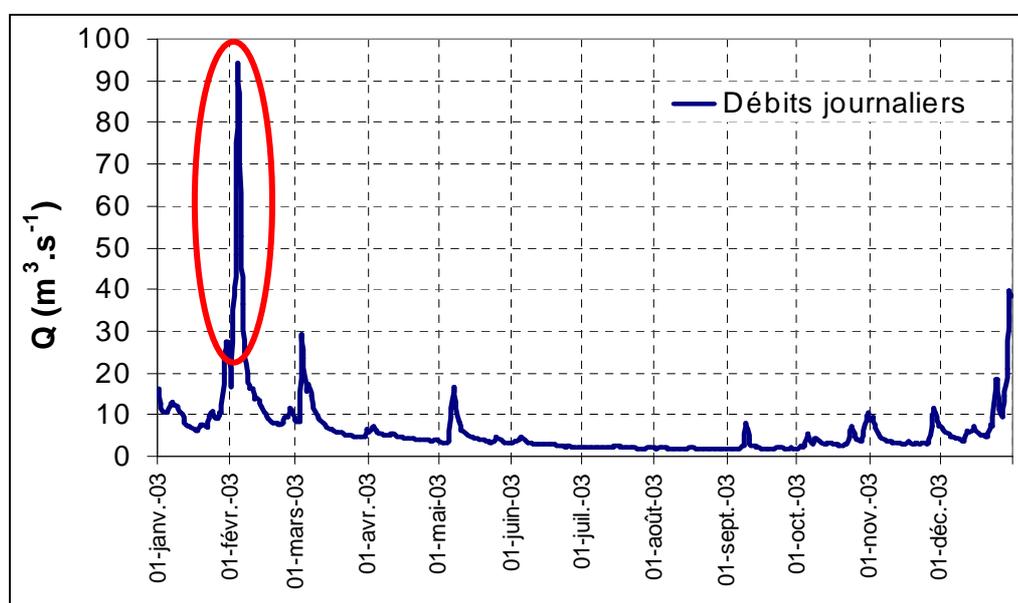


Figure 28 : Hydrogramme journalier de l'année 2003 sur la Nive des Aldudes

Le 4 février 2003 à 10:31, un débit instantané maximum de $128 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a été enregistré, le débit journalier a atteint alors une valeur avoisinant les $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (figure 28). Lors de cet épisode de crue, nous avons mesuré une concentration en MES de 1000

mg.l⁻¹. On peut présager, qu'avec uniquement cet événement, le flux de 2003 avoisine la même valeur qu'en 2002.

Au terme de ces deux années de suivi sur les rivières pyrénéennes, il s'avère que **nous ne sommes pas en mesure de connaître les transferts de MES hors du bassin pour des années normales voire humides**. Seul un niveau d'érosion minimum (reproductible) durant deux années sèches consécutives a pu être établi. Cependant, il est à noter que **ces flux spécifiques, même sous-estimés, font partie des transferts les plus importants du Sud-Ouest de la France**

Concernant, l'impact ou non des activités humaines, nous avons comparé deux sites : la Nive des Aldudes et la Nive d'Arnéguy. **La Nive des Aldudes** (dite « anthropisée ») **présenterait un flux spécifique plus faible que la Nive d'Arnéguy: l'influence humaine ne se ferait donc pas ressentir.**

Toutefois, cette conclusion est à nuancer et ce, pour plusieurs raisons :

- la situation hydrologique : les activités humaines fragilisent le milieu. La preuve en est faite avec les observations de terrain menées sur le bassin des Aldudes. **Les processus d'érosion directement imputables aux activités humaines sur les versants résultent de l'agrégation de petites interventions de natures différentes, qui ne créent pas de cicatrices patentes ou des effets massifs mais des séries de matières libérées.** En raison de la situation hydrologique et du déficit de précipitations, il est possible d'imaginer que seule une partie de ce matériel a été transportée jusqu'à la rivière par le lessivage des terrains. Le reste du matériel stocké sera peut-être véhiculé lors de pluies de période plus longue et de plus grande intensité. Ceci est uniquement vérifiable avec un suivi sur le long terme.

- la position du préleveur : l'étude que nous avons réalisée a pu mettre en évidence que **l'érosion ne se faisait pas de manière homogène sur l'ensemble du bassin des Aldudes**. Les **zones sources de MES seraient plutôt en amont** identique à celle établie à Saint Etienne de Baïgorry. Cependant, elle aurait été ramenée à une surface moins grande de bassin et le flux spécifique aurait été plus important. **du bassin**. En plaçant le préleveur plus en amont du bassin, la quantité de flux de MES aurait été quasiment Tandis que **pour le bassin d'Arnéguy**, le cas est inverse. **Le préleveur** est situé en amont et **prend en compte une zone « naturellement » érodable** (sous-bassin de Lasse). Pour valider cette hypothèse, il serait intéressant d'instrumenter la Nive des Aldudes avec un préleveur automatique supplémentaire, situé plus en amont, afin de voir si les concentrations en MES sont plus élevées que celles mesurées à Saint Etienne de Baïgorry. De plus, **si on veut mettre en évidence un impact anthropique majeur sur l'érosion des bassins pyrénéens, il serait intéressant de rajouter un préleveur sur la Nive d'Arnéguy pour évaluer l'impact de l'extension constante du vignoble de l'Irouléguay.**

Conclusion

L'analyse des transformations des milieux sur ces secteurs intermédiaires de la Nive des Aldudes montre que **les interventions, les travaux d'aménagements et les pratiques culturelles** actuellement mis en oeuvre **ont des effets érosifs manifestes**. S'ils ont **tendance à s'intensifier** depuis une dizaine d'années, ils restent **pour l'instant dispersés dans l'espace et étalés dans le temps**. L'effet des eaux de ruissellement apparaît d'autant plus circonscrit que les processus de maintenance structurelle des paysages sont encore spatialement dominant dans les « zones intermédiaires ».

Les résultats de ce travail de recherche, qui confirme une fois de plus l'absence de déterminisme apparent entre qualité du substrat et occupations des sols, montrent qu'il n'y a pas de variables prépondérantes ou explicatives de facteurs sociaux ou physiques qui soient responsables des variations affectant les milieux étudiés.

Néanmoins, des analyses régressives des rapports entre homme et milieu ³¹ dans le Sud-Est de la France ont récemment montré les **liens étroits entre habitat et types de sols**. Comme en basse vallée du Rhône, la spatialisation de l'activité pastorale dans la montagne basque a abouti à la formation de finages associant plusieurs types de sols, afin de **tirer au mieux parti de la diversité de ressources** correspondant typiquement aux ruptures de pente et aux vallonnements. Ainsi, en vallée des Aldudes, la topographie et la susceptibilité des sols limoneux à l'érosion ont conduit à rendre attractifs les sols d'érosion et alluviaux.

Cette contradiction, qui n'est qu'apparente, résulte d'analyses conduites à différentes échelles de temps et d'objet. Elle met en évidence, au cœur des processus d'érosion, le réseau de systèmes emboîtés, insérés dans un même processus de « conquête » et d'exploitation des milieux, que constitue « l'éco-complexe pastoral ».

Les transformations et l'intensification qui caractérisent aujourd'hui les « zones intermédiaires » constituent peut-être une des façons possibles de tirer profit d'une partie de ce réseau sans le remettre en cause dans sa globalité : **les phases de colonisation ne s'accompagnent pas nécessairement de changements fondamentaux de stratégie dans l'occupation des sols**.

Reste que le problème essentiel ne se situe pas forcément à ce niveau et à cette échelle car **toutes ces évolutions accompagnent une transformation des logiques d'exploitation et de la gestion collective de ces espaces** qui, si elles ne se traduisent pas pour l'instant par des manifestations directes, peut avoir des effets asynchrones à plus long terme.

Jusqu'alors en effet, **le système pastoral intégrait encore totalement la « zone intermédiaire » comme élément indispensable au fonctionnement de l'ensemble**. Cette extension à la montagne dans la totalité de ses composantes naturelles s'explique par la recherche constante de l'autonomie fourragère par un élevage

³¹ Favory, Tourneux 2003

extensif qui « exportait » peu alors qu'il intégrait très fortement la totalité des ressources naturelles du milieu montagnard qui l'entourne (figure 29).

La dynamique du système s'inscrivait dans une « boucle de rétroaction »³², entité organisée et hiérarchisée afin d'être **capable, par sa diversité, d'amortir ou d'utiliser jusqu'à un certain seuil les perturbations** externes ou les dérèglements internes pour se perpétuer tout en se modifiant.

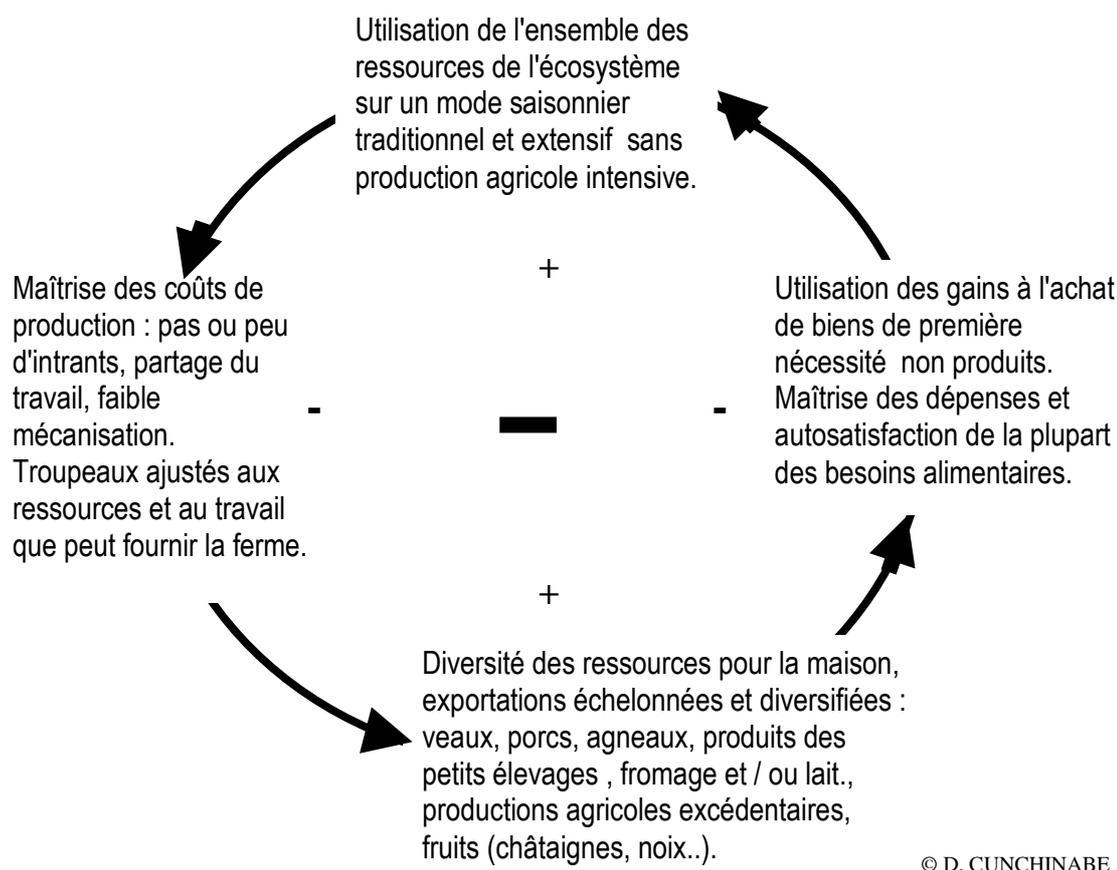


Figure 29. Dynamique de fonctionnement sur un modèle extensif "traditionnel" (D. Cunchinabe)

En « entrée » du système pastoral, l'ensemble des ressources de l'écosystème constitue la base du dispositif de production. Après une première transformation par les animaux, ce sont les personnes (« consommateurs secondaires ») qui bénéficient, après une seconde transformation, des résultats des producteurs (végétaux) et consommateurs

³² L'approche « systémique » définit les propriétés d'un système sur la base de trois principes : 1) les différents éléments qui composent le système exercent une influence réciproque (principe de dépendance interactive). 2) le tissu d'interactions, qui en résulte, détermine le comportement et l'évolution d'un élément du système et définit un comportement global dont émanent des propriétés de régulation du système (principe d'émergence = « le tout est plus que la somme des parties » Aristote). 3) Et ce tout a un effet en retour sur les parties (principe de rétroaction).

« primaires » (animaux). Lorsque l'objectif est le maintien de l'autosuffisance ainsi qu'un accès raisonné à la consommation de produits venant de l'extérieur, on obtient une boucle « négative », véritable instrument de régulation d'un système qui maintient l'écosystème en l'état en lui associant un mode de vie adapté.

« Dans une boucle négative, toute variation vers le plus entraîne une correction vers le moins et inversement. Il y a régulation : le système oscille autour d'une position d'équilibre qu'il n'atteint jamais »³³..

Actuellement, **la pression économique exercée sur ce type de milieu tend à restructurer les propriétés** par absorption d'autres exploitations. Cette **rationalisation des espaces menace le contenu de l'activité agropastorale :**

« c'est politique... ils veulent de grandes structures, tout est fait pour les grandes structures. C'est un problème de contrôle, nous on est juste là pour entretenir ces paysages pour les touristes »³⁴

Alors que le système oscillait avant autour d'une position d'équilibre jamais atteinte dans lequel la « zone intermédiaire » était rendue à son état fonctionnel optimal, **il est aujourd'hui entré en déséquilibre et les fonctionnalités des zones intermédiaires ont atteint leurs limites.**

En effet, les landes arbustives à arborées sont l'objet d'une véritable mutation, qui résulte de leur mécanisation qui permet :

- de transformer les parties les plus plates aux sols plus profonds en prairies de fauche par girobroyage, amendement en minéraux, épandage de fumier.
- d'augmenter la part de litière en fauchant régulièrement de grandes parcelles qui seront de facto soustraites à l'écobuage dans une logique de stratégie économique.

Les landes s'inscrivent donc progressivement dans le modèle dominant d'intensification de l'agriculture.

Cette évolution des systèmes pastoraux peut être considérée comme une perte d'organisation de l'espace même s'il reste évident qu'il y a toujours, comme par le passé, **recherche de complémentarité entre les espaces dans la gestion des ressources et une volonté de coordination plus ou moins réussie en vue de maintenir cette complémentarité.**

La perte d'organisation résulte essentiellement des modifications encore peu formalisées que chaque exploitant apporte en réponse à la fois aux réglementations et normes (prime à l'herbe par exemple), au manque de rusticité des animaux, au manque de main-d'oeuvre et surtout aux nécessités liées à la productivité.

Ainsi, de négative la « boucle de rétroaction » tend à devenir positive : la « **position d'équilibre** » du système est rompue (figure 30)

Les conséquences de cette évolution économique se traduisent pour l'instant par des effets de déséquilibres localisés sur les composantes « naturelles » du système. **L'action humaine a en effet des effets sur la couverture végétale, sur les sols et sur**

³³ J. de Rosnay 1975

³⁴ Femme – exploitante agricole – 63 ans

L'hydraulique qui, avec le climat et la topographie (pente) constituent les principaux facteurs d'érosion ³⁵.

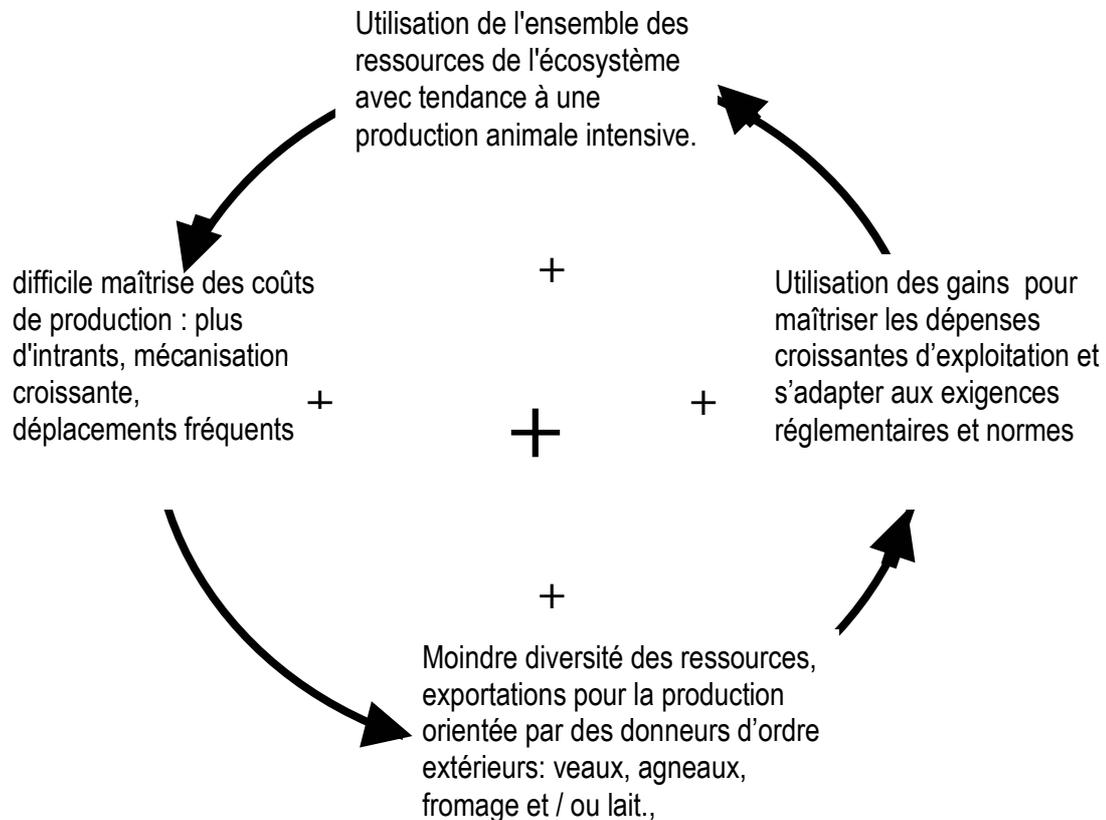


Figure 30. Dynamique de fonctionnement du modèle actuel

De la capacité du système à maintenir l'interactivité et la cohésion « sociale » qui ont permis sa régulation équilibrée dépend en grande partie l'avenir des milieux. Or, lorsque différents forçages agissent dans la quasi simultanéité, on constate des dégradations souvent irréversibles, du moins à moyen terme, des milieux. C'est donc dans la convergence de plusieurs facteurs synchrones qu'il faut rechercher les explications sur les états d'équilibre ou de déséquilibre transitoire des systèmes.

Au terme des constats établis au cours de ces recherches sur la vallée des Aldudes, peut on parler de structure a minima des paysages au-delà de laquelle il y a mise en déséquilibre des milieux ? A t'on assez d'éléments pour y répondre ? A quelle échelle d'espace-temps et sur quels facteurs doit on se concentrer pour avoir une réponse pertinente ?

³⁵ Le Bissonnais et al. 1998

Bibliographie

- Boiffin J., Papy F., Eimberck M., 1988**, Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré, I – Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion, *Agronomie*, vol. 8, n° 8, p. 663-673
- Carruesco Ch., 1971** - Contribution à l'étude hydrogéologique et géochimique du bassin de la Haute Nive (Pyrénées Atlantiques), Thèse.
- De Bortoli D., Cunchinabe D., Palu p., 2003**, Requalification des milieux naturels et qualité de l'eau : le cas de l'intégration des « zones intermédiaires » dans l'activité agricole en Pays de Soule. Rapport pour le Conseil Général des Pyrénées-Atlantiques, Université de Pau, 35 p. et annexes.
- De Rosnay J. , 1975**, *Le Macroscopie*, Ed. Points, coll. Essais, 346 p.
- Duval M., 2003**. Evaluation des risques érosifs liés aux altérites des bassins versants de la Nive des Aldudes et de la Nive d'Arnéguy, *Maîtrise sciences de la Terre*, 45 p. + annexes.
- Favory F., Tourneux F.P. , 2003**, L'expérience Archaeomedes en basse vallée du Rhône : analyse régressive des rapports homme-milieu, , *in* Levêque C. , Van der Leeuw S., *Quelles natures voulons nous ?* Ed. Elsevier pp. 155-160
- Flamand B., 2001**. Evaluation des risques érosifs dans le bassin versant de la Nive des Aldudes à l'aide de toposéquences, *Maîtrise sciences de la Terre*, 49 p. + annexes.
- Galop D., Tual M., Monna F., Dominik J., Beyrie A., Marembert F., 2001**, Cinq millénaires de métallurgie en montagne baque. Les apports d'un démarche intégrée alliant palynologie et géochimie isotopique du plomb, *Sud-Ouest européen*, n° 11, p. 3-15.
- INRA, 1998**, Politiques innovantes de pérennisation de l'agropastoralisme au Pas basque – documents de travail, Ed. INRA, déc. 1998, 194 p.
- Le Bissonnais Y. (dir.) et al. 1998**, Cartographie de l'alea « érosion des sols » en France, Ed. INRA – IFEN, *Etudes et travaux*, n° 18, 77 p.
- Levêque C., Muxart T., Abbadie L., Weill A., Van der Leeuw S. 2003**, L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieux , *in* **Levêque C. , Van der Leeuw S.,** *Quelles natures voulons nous ?* Ed. Elsevier pp. 110-129
- Macary F., Paulais J., 2003**, Méthode d'identification de zones prédisposées aux émissions et aux transferts particuliers – Application à une zone d'élevage bovin intensif dans le bocage sud-Manche, *Ingénieries*, n° 36, Décembre, p. 3-17.
- Machot P., (textes réunis par), 1995**, *Mines et établissements métallurgiques de Banca*, Ed. Izpegui, 405 p.
- Maneux E., Dumas J., Clément O., Etcheber H., Charritton X., Etchart J., Veyssy E. et Rimmelin P., 1999** -. Assessment of suspended matter input into the oceans by small mountainous coastal rivers : the case of the Bay of Biscay, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 329, p. 413-420.
- Métaillé J.P., 1998**, « Crémades, écobuages et brûlages dirigés . les avatars de la pratique du feu dans les Pyrénées », *Pastum*, doc. Spécial brûlages dirigés : 17-21
- Métaillé J.P., 1999**, « Le feu : un entre-deux scientifique et social », *Montagnes méditerranéennes* , n° 10 : 81-85
- Meybeck M., Idlafkih Z., Fauchon N., Andreassian V., 1998**. Variabilité temporelle des MES dans le bassin de la Seine, *In Les systèmes fluviaux anthropisés*, Conf. Internationale. CNRS Ed., p. 189-191
- PIREN Seine, 2000**, Les particules en suspension : des bombes à retardement. *In La seine en équations*, CNRS et Agence de l'Eau Seine-Normandie Ed., p. 16-17.
- Prodon R., 1999**, Landscape dynamics and bird diversity in the Mediterranean : conservation issues. *in* : Trabaud L. Ed., *Advances in Ecological Science*, WIT-Press, Southampton, 40 p.

Ribet N., 1999, « L'invention du brûlage pastoral. Histoire d'un savoir faire en réhabilitation », *Montagnes méditerranéennes*, n° 10 : 23-30

Saillard M., 2003. Contribution à l'étude des altérites de surfaces d'érosion, du bassin versant de la Nive des Aldudes, Maîtrise sciences de la Terre, 32 p. + annexes

Tellier F., 2000, *Occupation des sols et paysages des bassins versants de la baie du Mont Saint-Michel. Nouvelles approches pour l'évaluation des risques érosifs*, Centre de Biogéographie-écologie, CNRS – ENS, St Cloud, 76 p.

Crédits illustrations :

Figures et tableaux :

Coynel A. : *pages 5,62,63,64,65,66*

Cunchinabe D. : *pages 69,71*

Cussey D., Sabrier R. : *pages 17,18(1),33*

Duval M. : *page 18(2),*

Hurtrez J.E. : *pages 10,13,14*

INRA : *page 45*

Lescure F. : *pages 3,7,8,9,11,12,29,30,31*

Palu P. : *pages 4,16,26,27,36,50,60*

Saillard M. : *pages 20,32,34*

Photos :

Coynel A. : *page 5*

Hurtrez J.E. : *page 12*

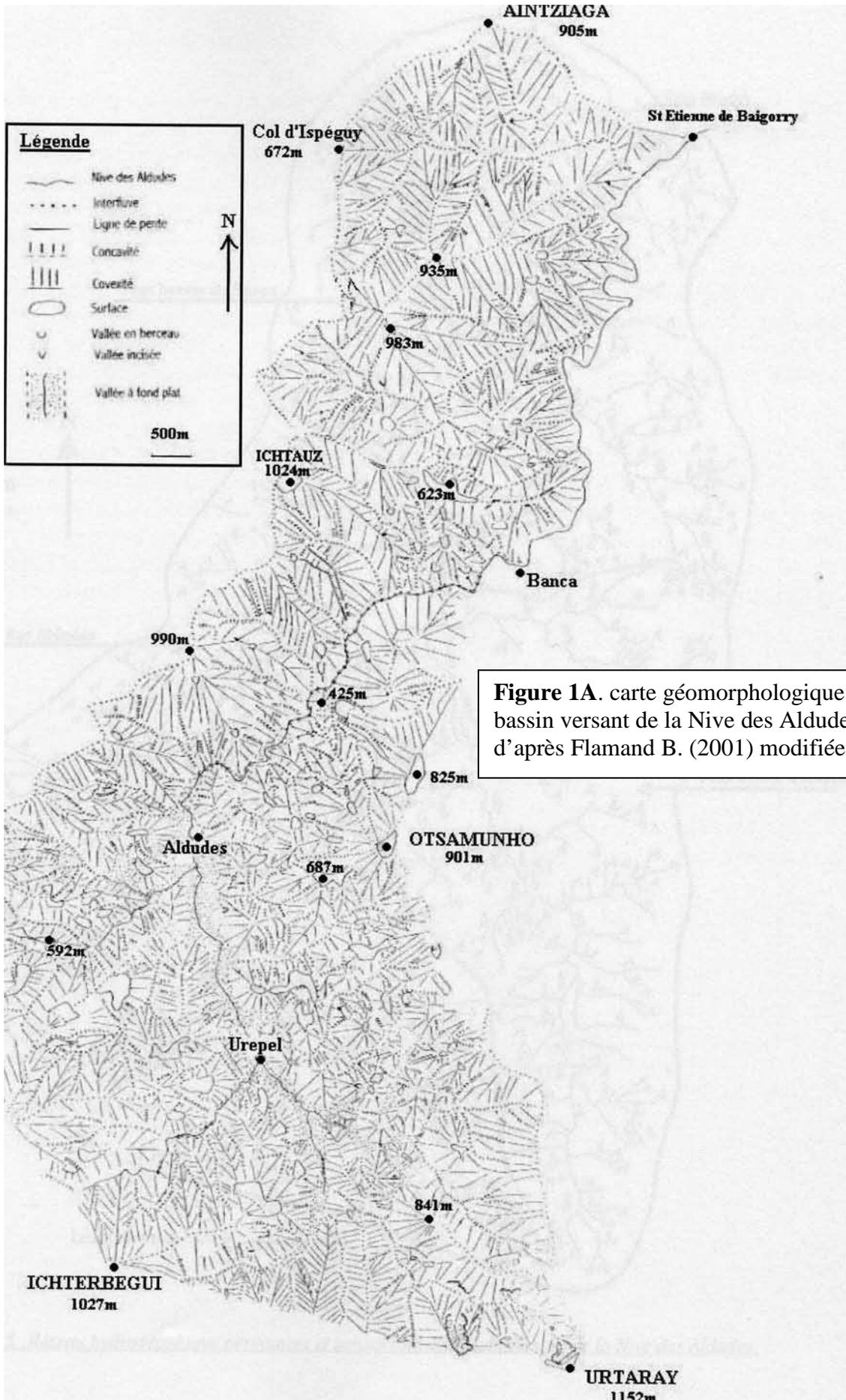
Palu P. : *pages 21,22,23,37,38,39,40,41,42,43,44,46,47,48,49,51,52,53,54,55,56,57,58,59,*

Saillard M. : *page 19*

ANNEXE 1

**Caractéristiques physiques des bassins versants
des Nives des Aldudes et d'Arnéguy**

source : Duval M. (2003)



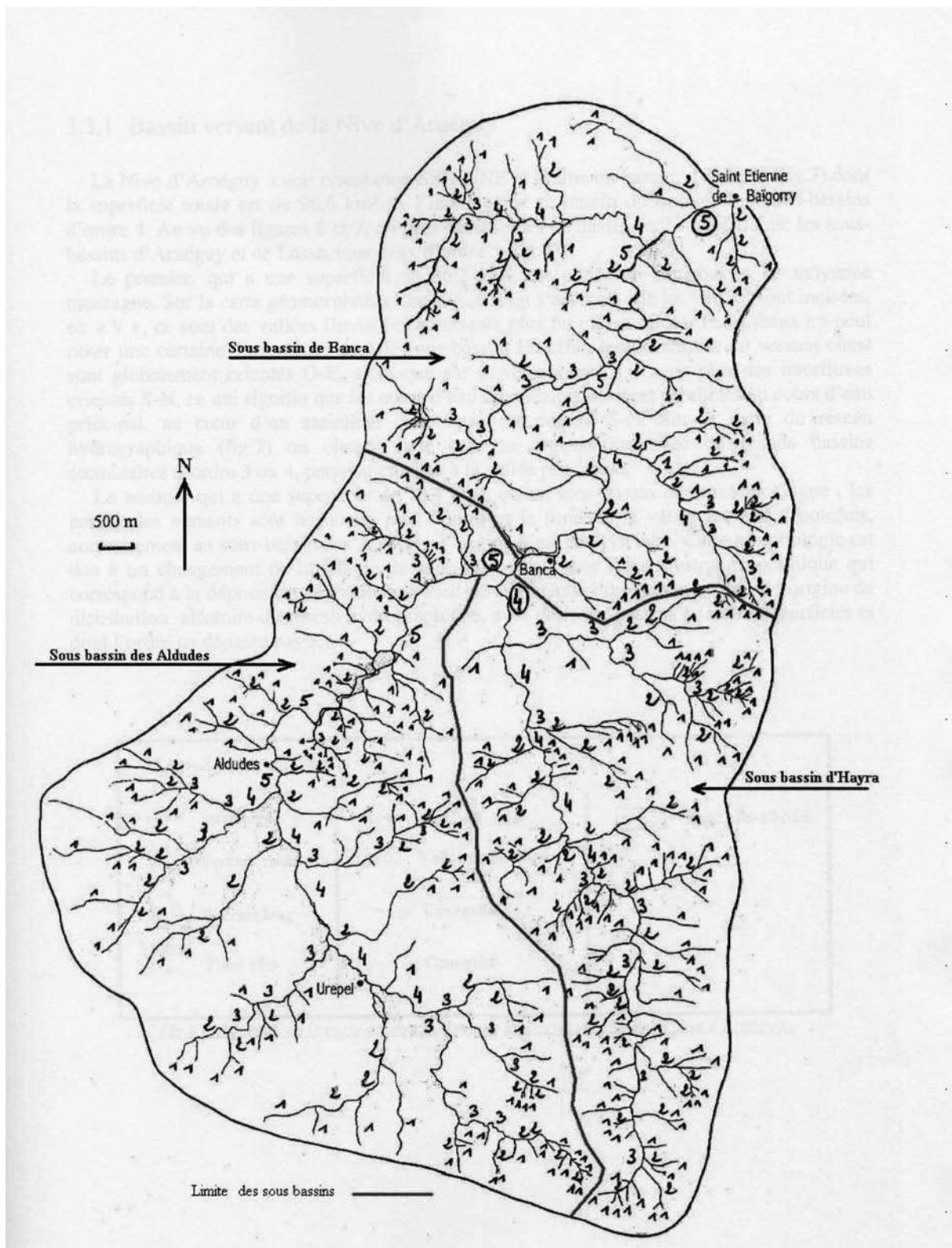


Figure 1B. Réseau hydrographique permanent et temporaire du bassin versant de la Nive des Aldudes

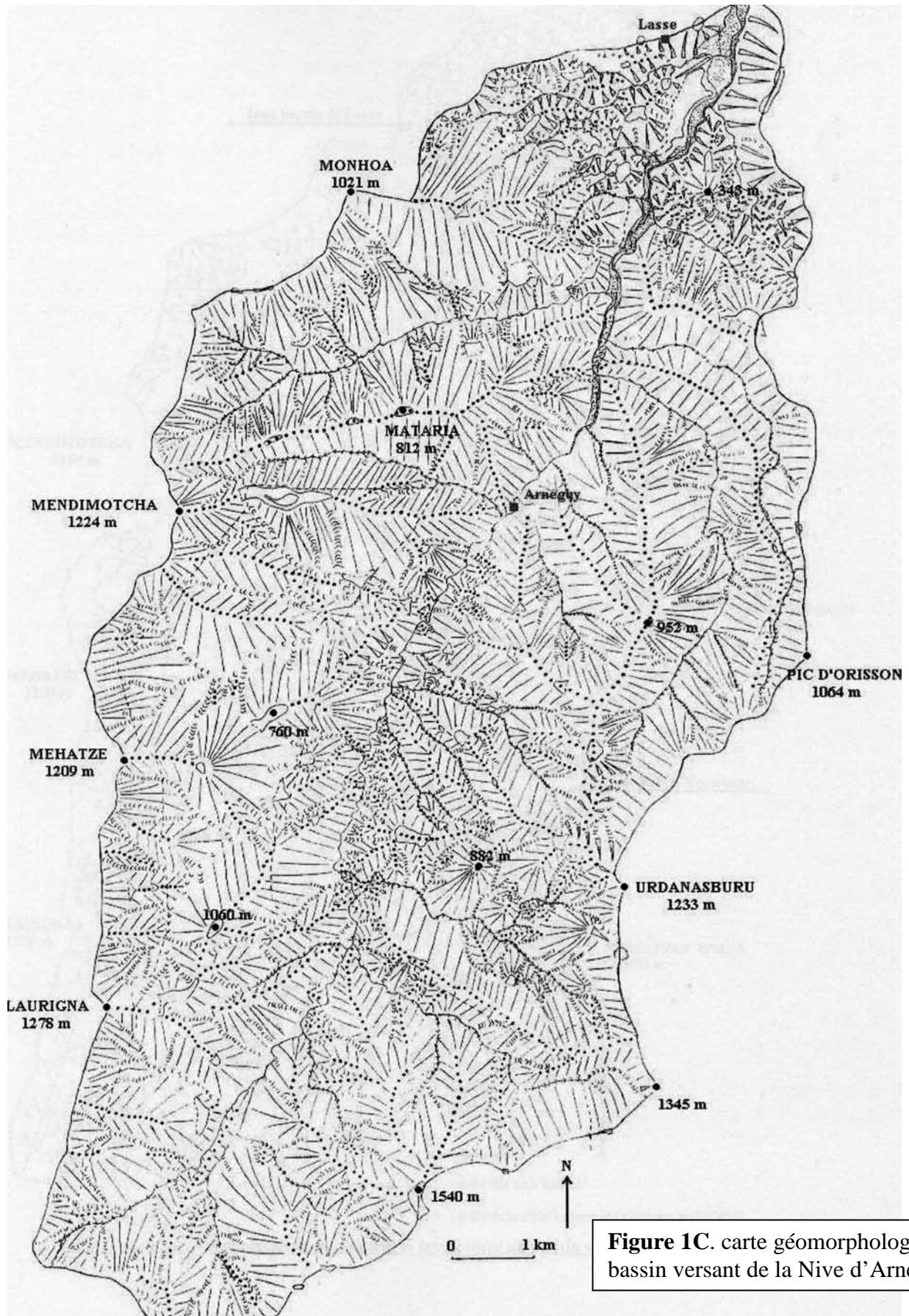


Figure 1C. carte géomorphologique du bassin versant de la Nive d'Arnéguy

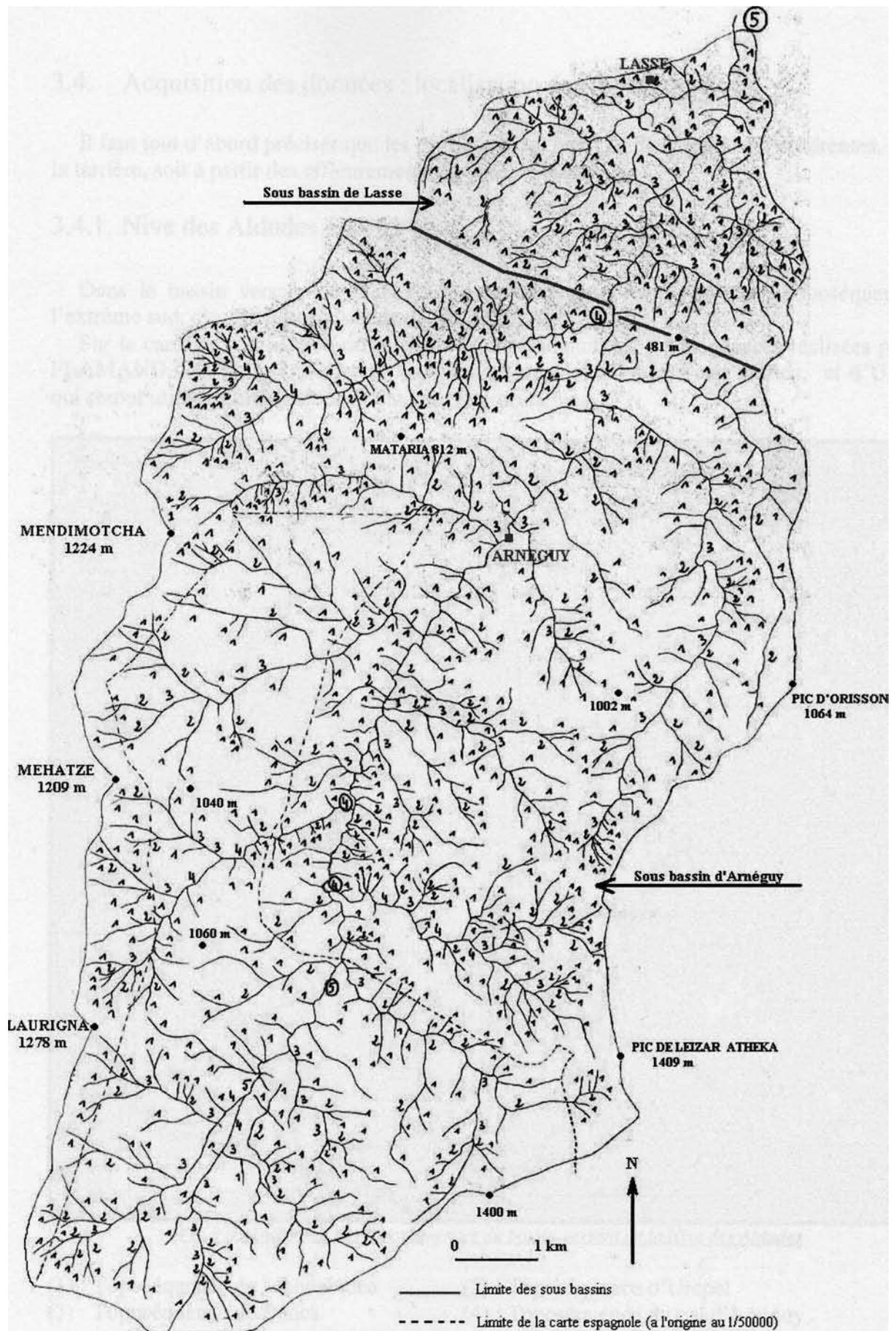


Figure 1D. Réseau hydrographique permanent et temporaire du bassin versant de la Nive d'Arnéguy

ANNEXE 2



Carte géologique de Saint-Jean-Pied-de-Port



ANNEXE 3

**Caractéristiques pédologiques des bassins versants
des Nives des Aldudes et d'Arnéguy**

source : Duval M. (2003) et Saillard M. (2003)

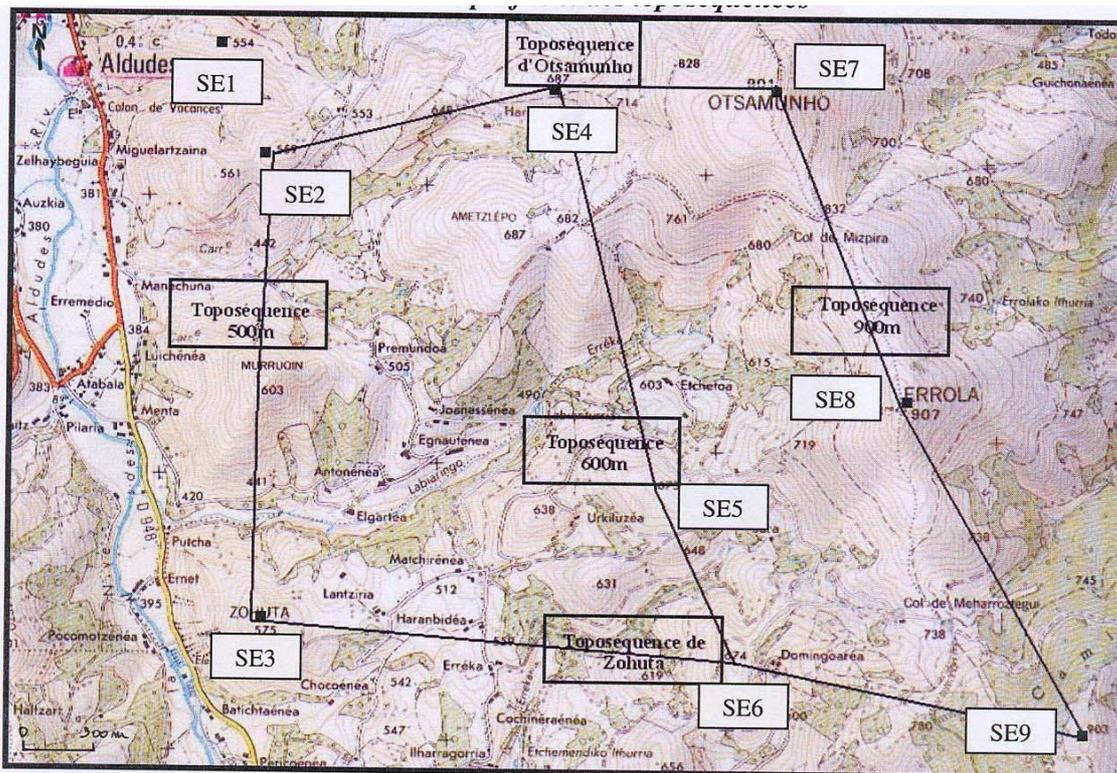


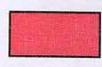
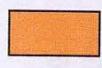
Fig 10 : Localisation des profils et des toposéquences

V.2.2 Légende des profils

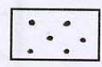
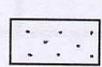
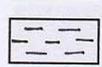
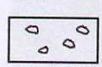
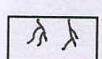
➤ Pour les minéraux argileux :

-  Kaolinite
-  Illite
-  Interstratifié Illite -Vermiculite

➤ Pour la granulométrie :

-  Sable
-  Limon
-  Argile

➤ Pour les horizons :

-  Sable
-  Limon
-  Argile
-  Eléments siliceux
-  Racines

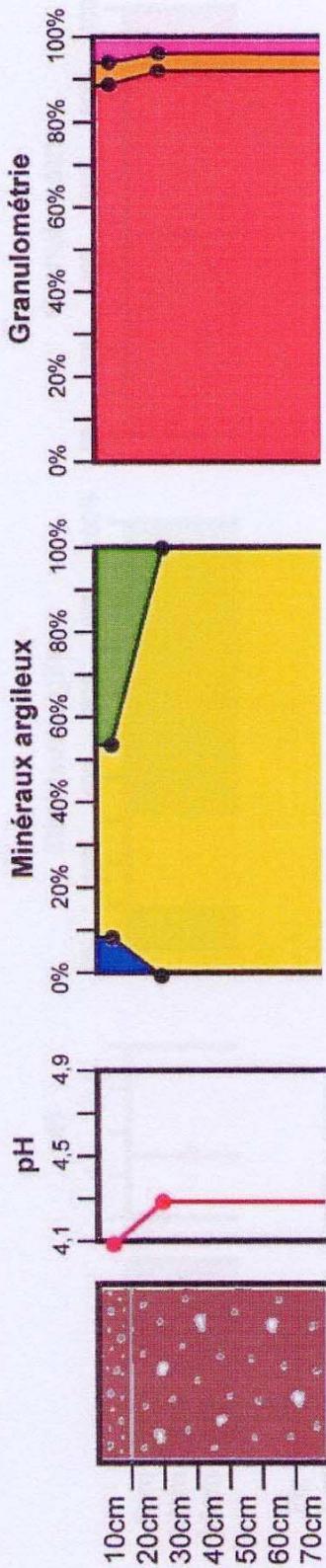


Fig 11 : SE2 559m

Végétation : Herbe

Roche mère : Dolomies et grès du Dévonien

Couleur des horizons : Brun foncé

Texture : sable

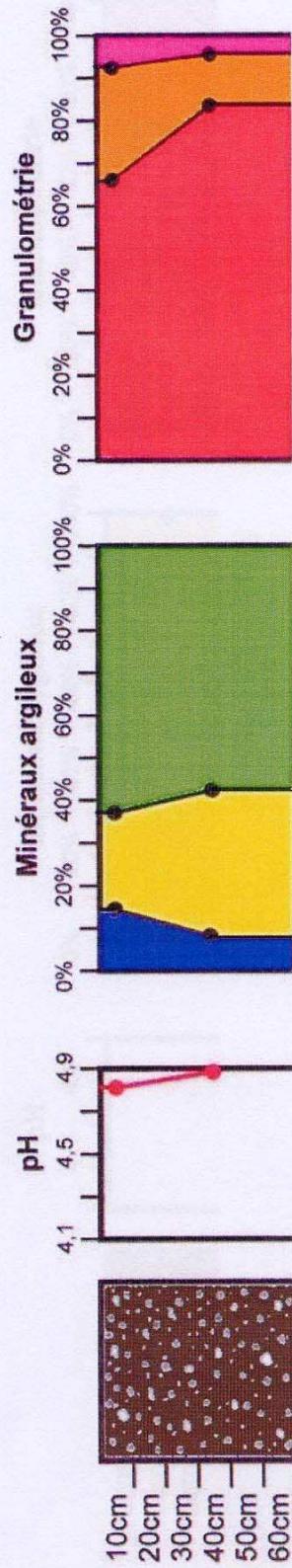


Fig 12 : SE3 575m Zohuta

Végétation : Herbe

Roche mère : Dolomies et grès du Dévonien

Couleur de l'horizon : noir

Texture de la partie supérieure de l'horizon : sable limoneux

Texture de la partie inférieure de l'horizon : sable

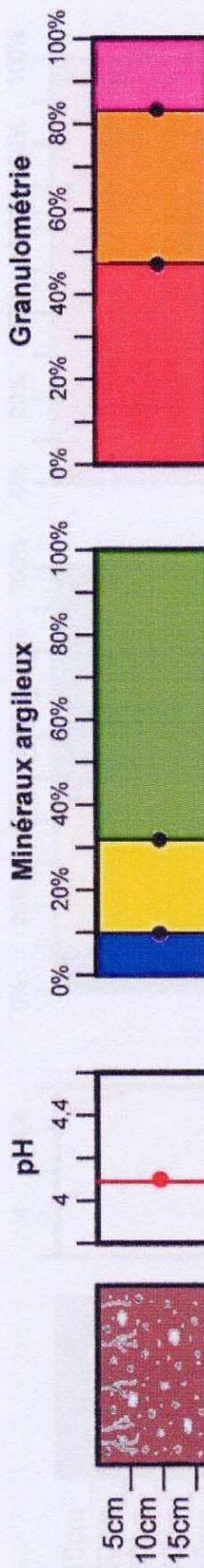


Fig 13 : SE4 687m

Végétation : Herbe rase, fougères et ajoncs
Roche mère : Dolomies et grès du Dévonien
Couleur de l'horizon : Brun foncé
Texture : limon sableux



Fig 14 : SE5 675m

Végétation : Herbe
Roche mère : Dolomies et grès du Dévonien
Couleur de l'horizon : Brun très foncé
Texture : sable limoneux

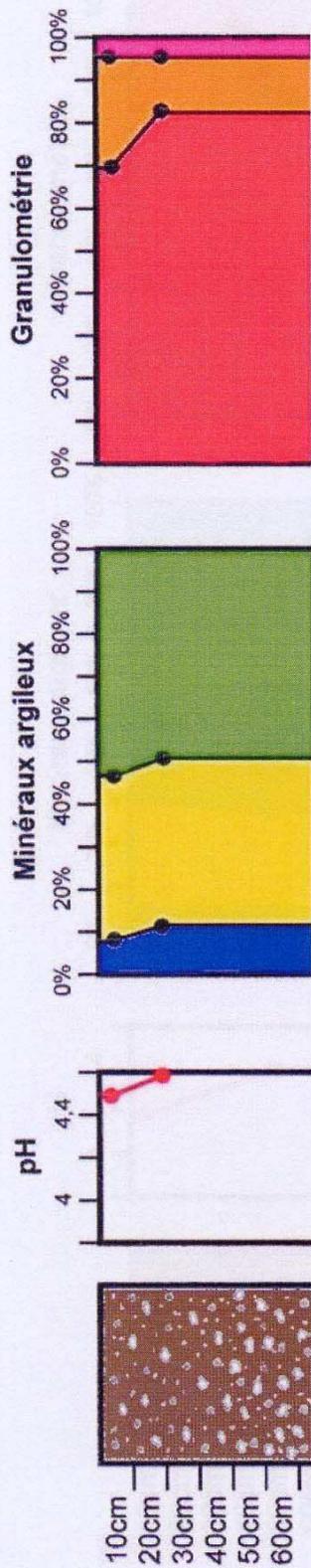


Fig 15 : SE6 674m

Végétation : Herbe rase

Roche mère : Dolomies et grès du Dévonien

Couleur de l'horizon : Brun très foncé

Texture de la partie supérieure de l'horizon : sable limoneux

Texture de la partie inférieure de l'horizon : sable

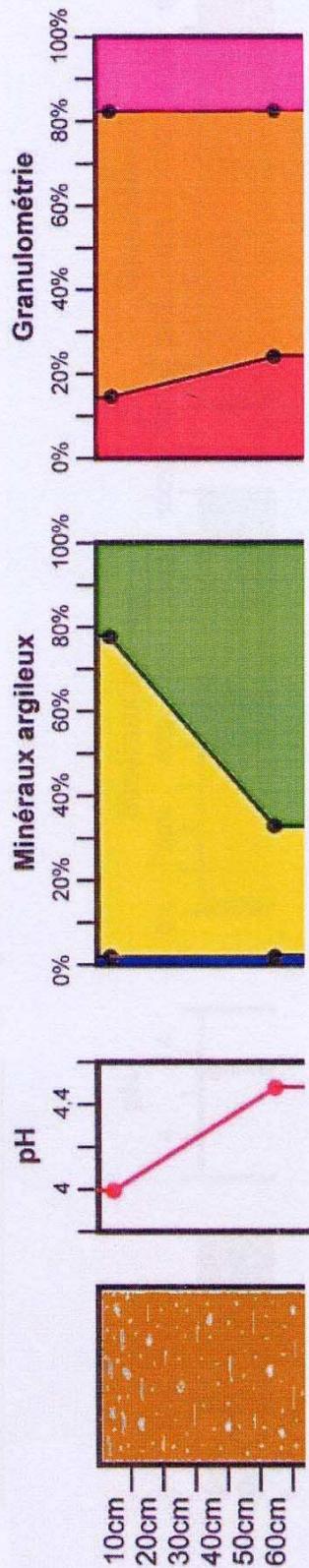


Fig 16 : SE7 901m

Végétation : Herbe rase

Roche mère : Formation quartzitique inférieure et schistes intermédiaires

Couleur de l'horizon : Brun ocre

Texture de la partie supérieure de l'horizon : limon moyen sableux

Texture de la partie inférieure de l'horizon : limon moyen sableux

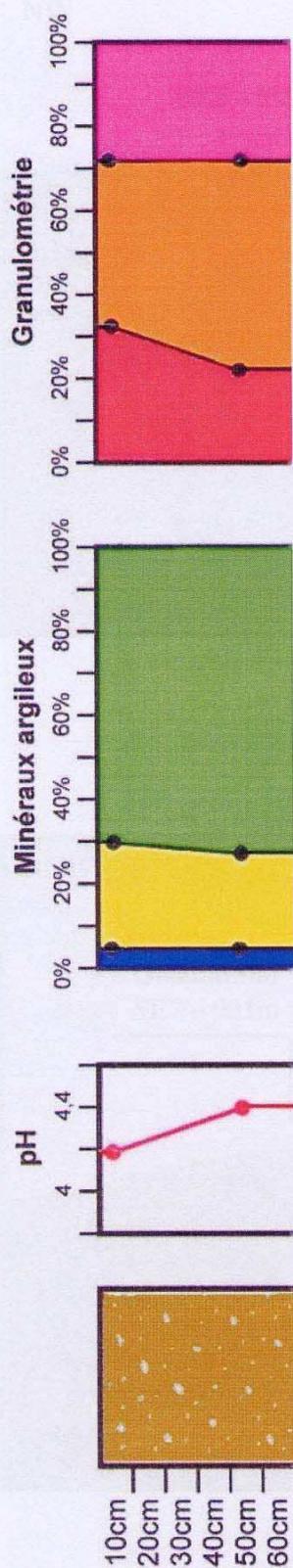


Fig 17 : SE8 907m Errola

Végétation : Herbe rase

Roche mère : Formation quarzitique inférieure et schistes intermédiaires

Couleur de l'horizon : Brun clair

Texture de la partie supérieure de l'horizon : limon argilo-sableux

Texture de la partie inférieure de l'horizon : limon argilo-sableux

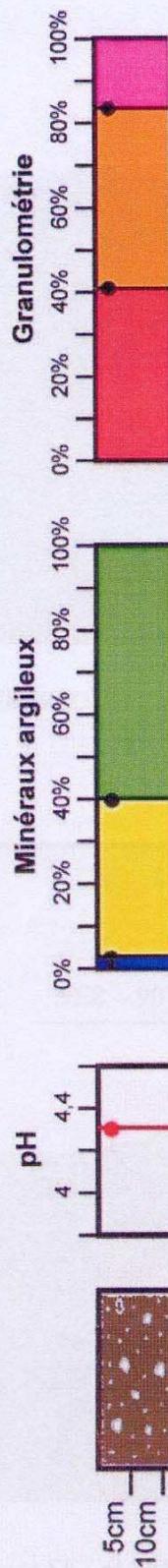


Fig 18 : SE9 903m

Végétation : Herbe rase et fougères

Roche mère : Formation quarzitique inférieure et schistes intermédiaires

Couleur de l'horizon : Brun très sombre

Texture : limon sableux

V.2.4 Les différentes roches mères des sols des surfaces d'érosion.

Surface	Altitude	Roche mère
SE1	554m	Dolomies et grès
SE2	559m	Dolomies et grès
SE3	575m	Dolomies et grès
SE4	687m	Dolomies et grès
SE5	675m	Dolomies et grès
SE6	674m	Dolomies et grès
SE7	901m	Formation quartzitique inférieure et schistes intermédiaires
SE8	907m	Formation quartzitique inférieure et schistes intermédiaires
SE9	903m	Formation quartzitique inférieure et schistes intermédiaires

Fig 21 : Tableau récapitulatif des différentes roches mères.

V.2.5 Légende des toposéquences

Les toposéquences qui vont suivre ne sont pas des coupes géologiques, nous avons juste représenté les différentes roches mères des surfaces d'érosion.

➤ Pour les minéraux argileux :

	Kaolinite
	Illite
	Interstratifié Illite -Vermiculite

➤ Pour la lithologie :

	D2bc – Dolomies et grès
	O14-b – Formation quartzitique inférieure et schistes intermédiaires

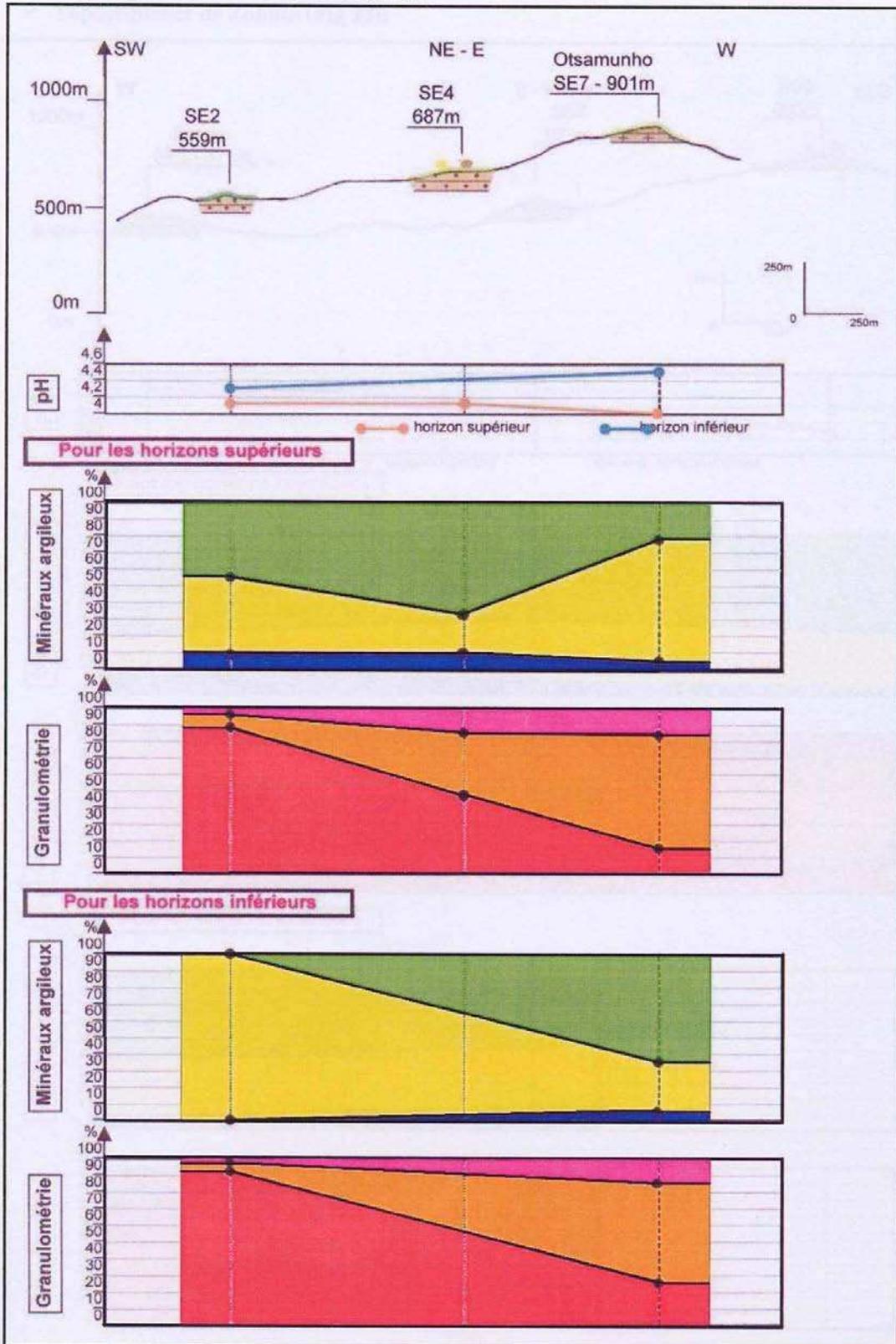
➤ Pour la granulométrie :

	Sable
	Limon
	Argile

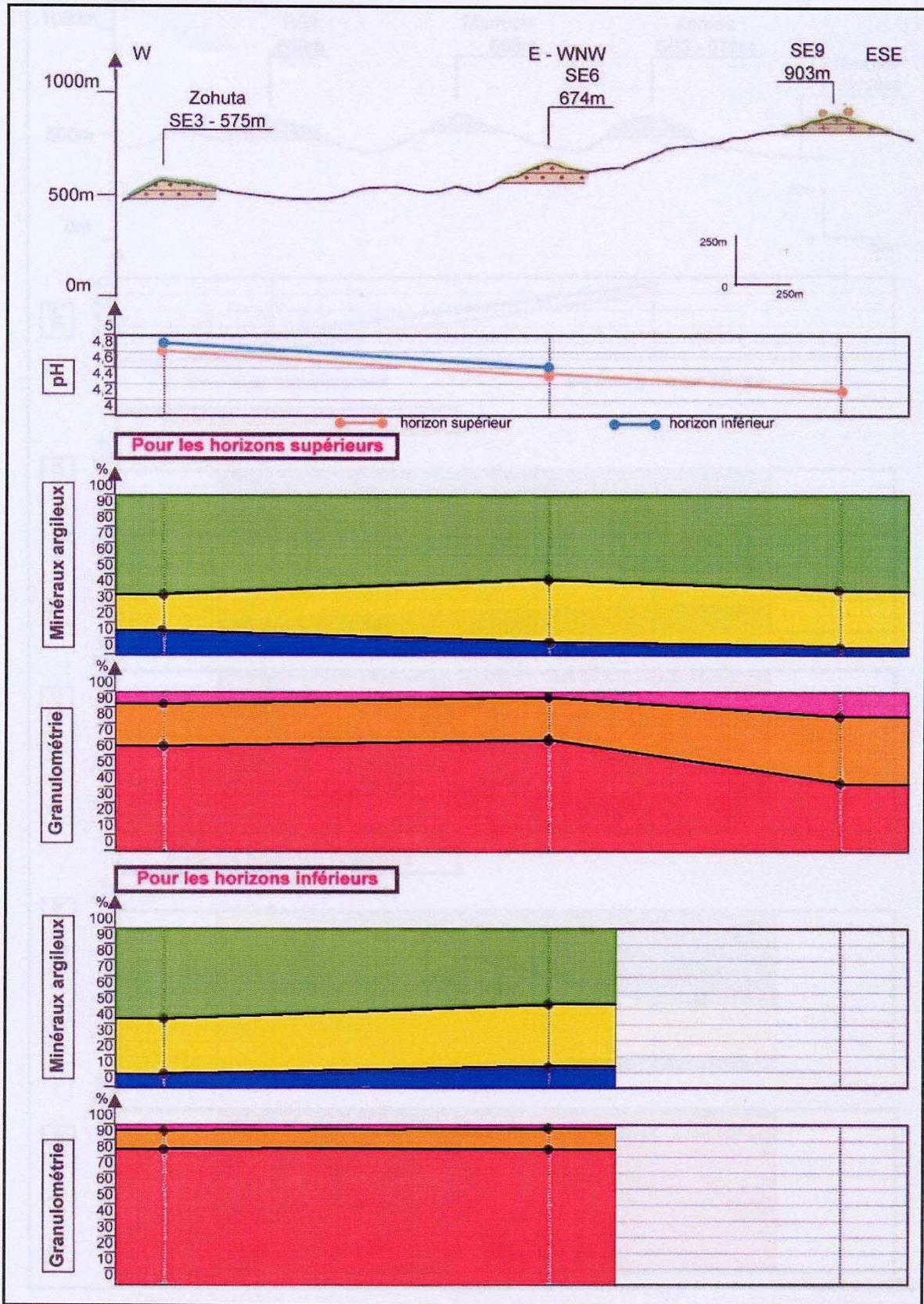
➤ Pour la végétation :

	Herbe rase
	Herbe
	Ajoncs
	Fougères

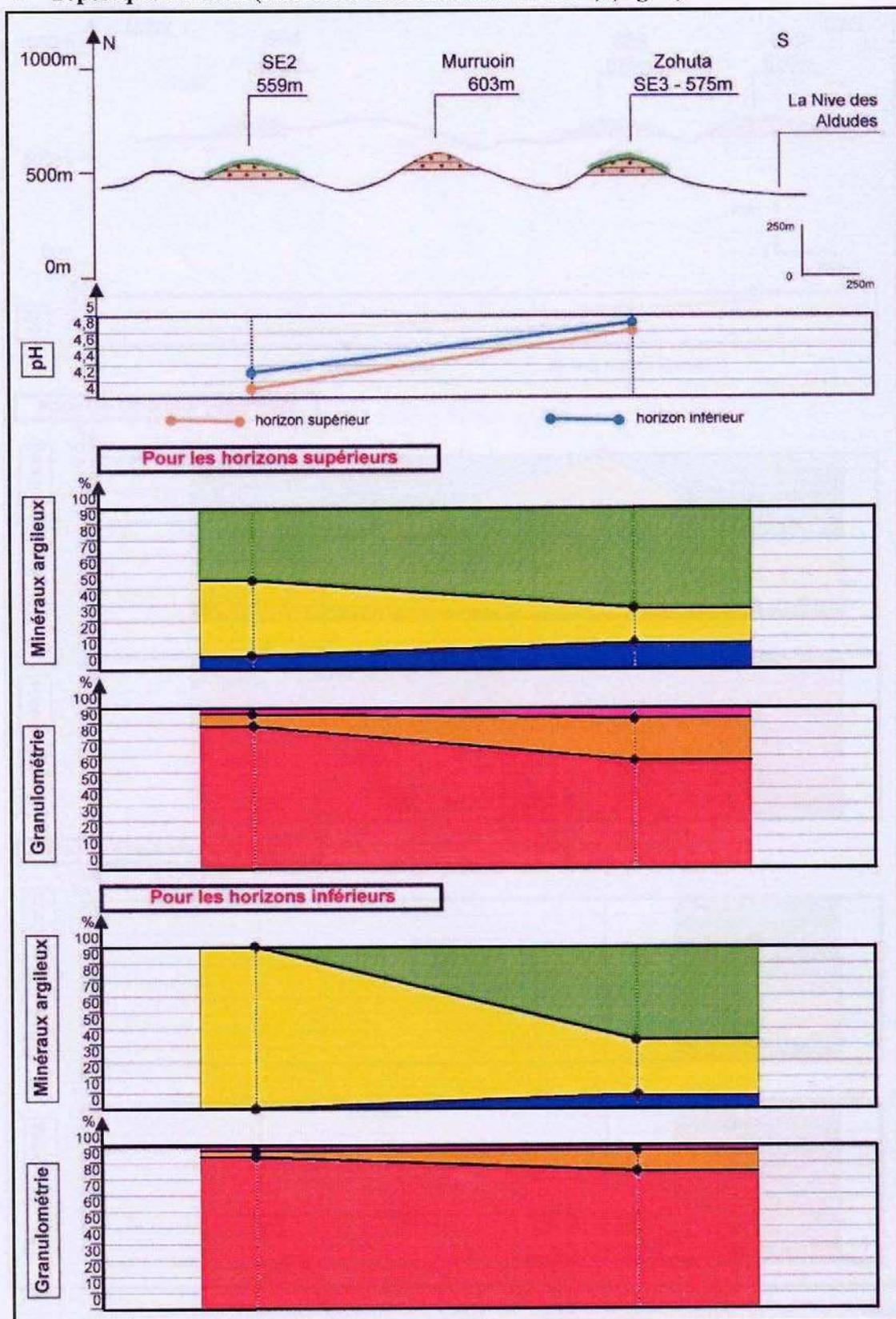
➤ Toposéquence d'Otsamunho (Fig 22):



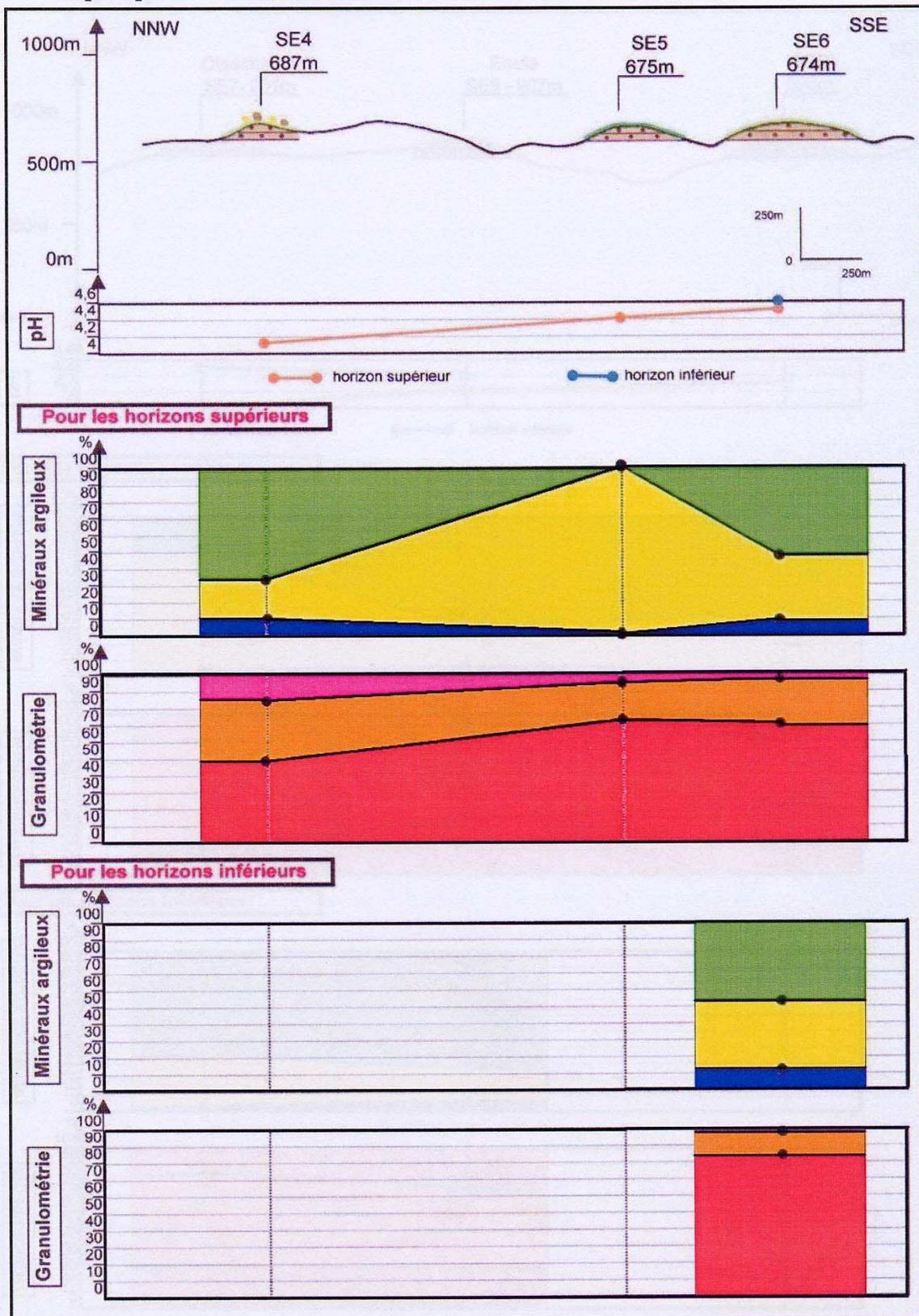
➤ Toposéquence de Zohuta (Fig 23):



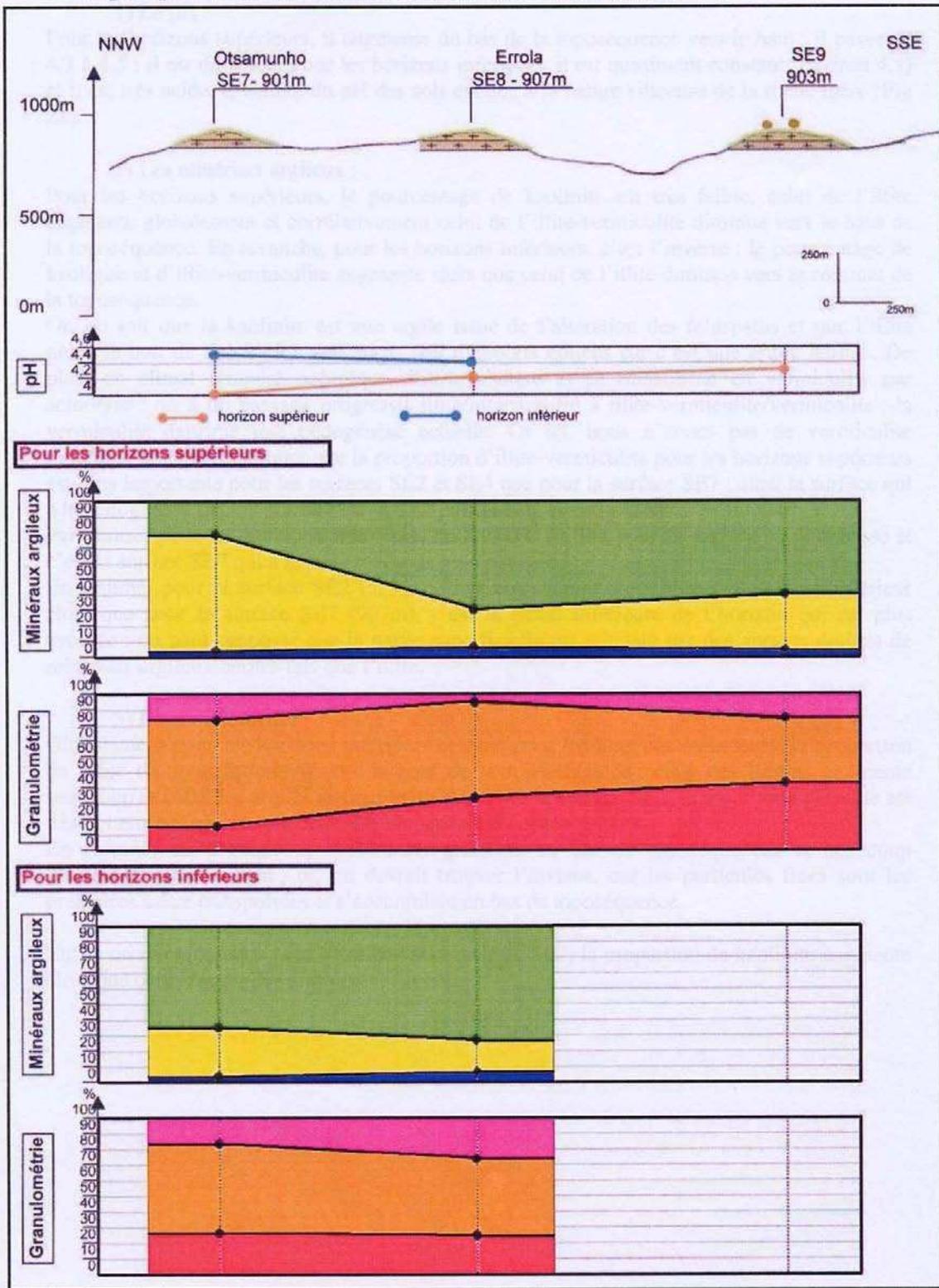
➤ Toposéquence 500m (surfaces d'érosion autour de 550m) (Fig 24) :



➤ Toposéquence 600m (surfaces d'érosion autour de 680m) (Fig 25) :



➤ Toposéquence 900m (surfaces d'érosion autour de 900m) (Fig 26) :



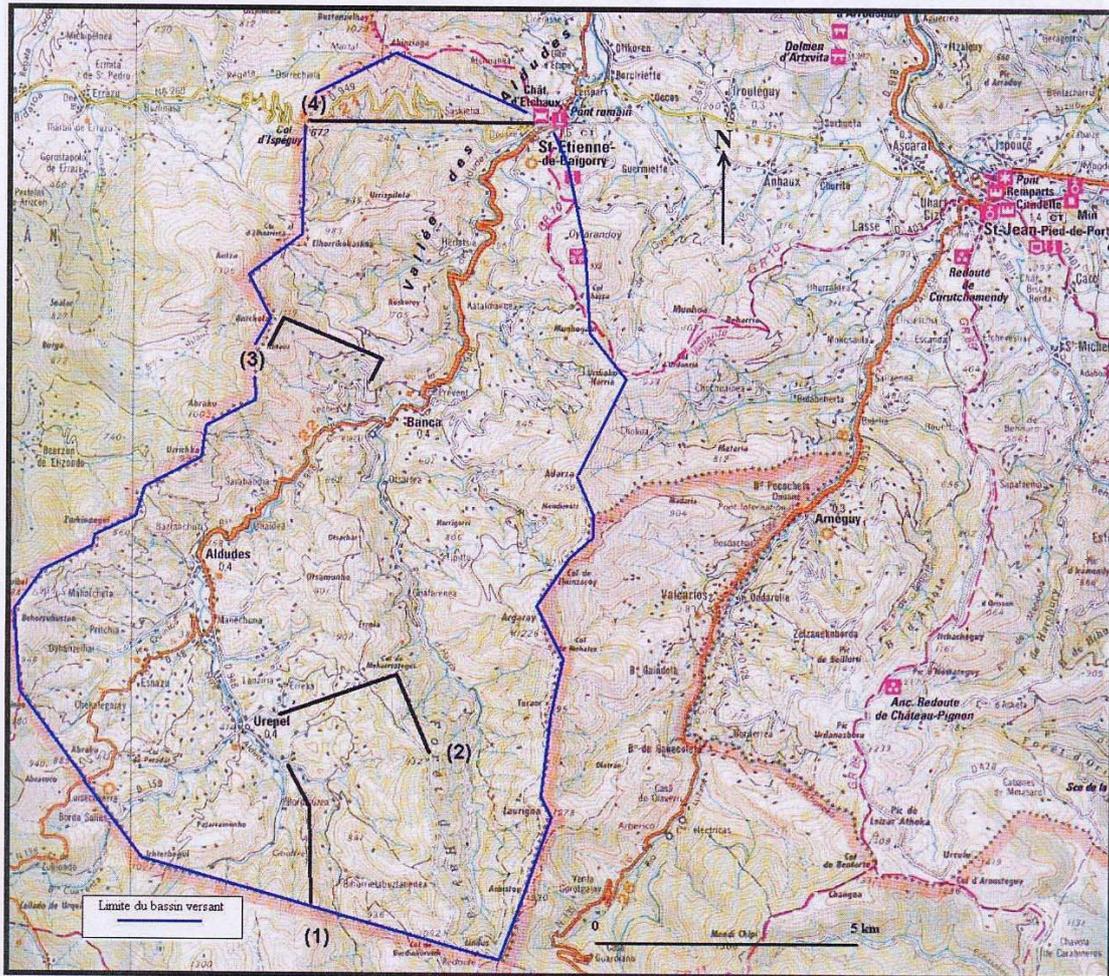


Fig.8 :Localisation des toposéquences du bassin versant de la Nive des Aldudes

(1) : Toposéquence de Mandabidéa

(2) : Toposéquence d'Urepel

(3) : Toposéquence de Banca

(4) : Toposéquence du col d'Ispéguy

4.2. Légendes des profils et schémas de synthèse

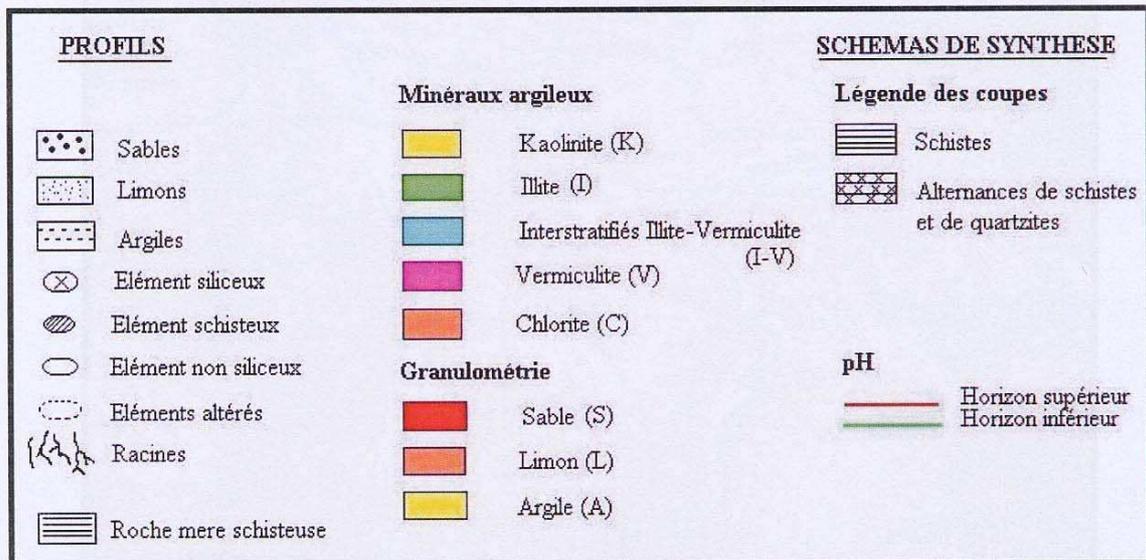


Fig.10 a : Légende utilisée pour les profils et les schémas de synthèse .

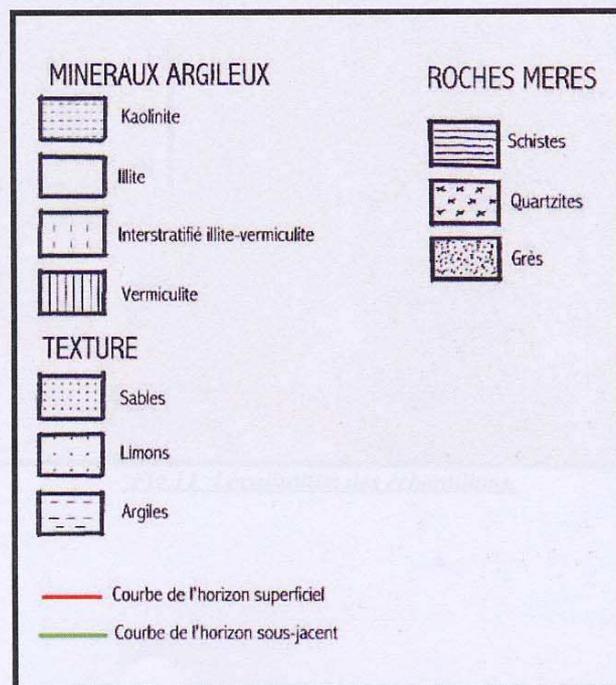


Fig.10 b : Légende utilisée pour les schémas de synthèse des toposéquences de B. FLAMAND (2001).

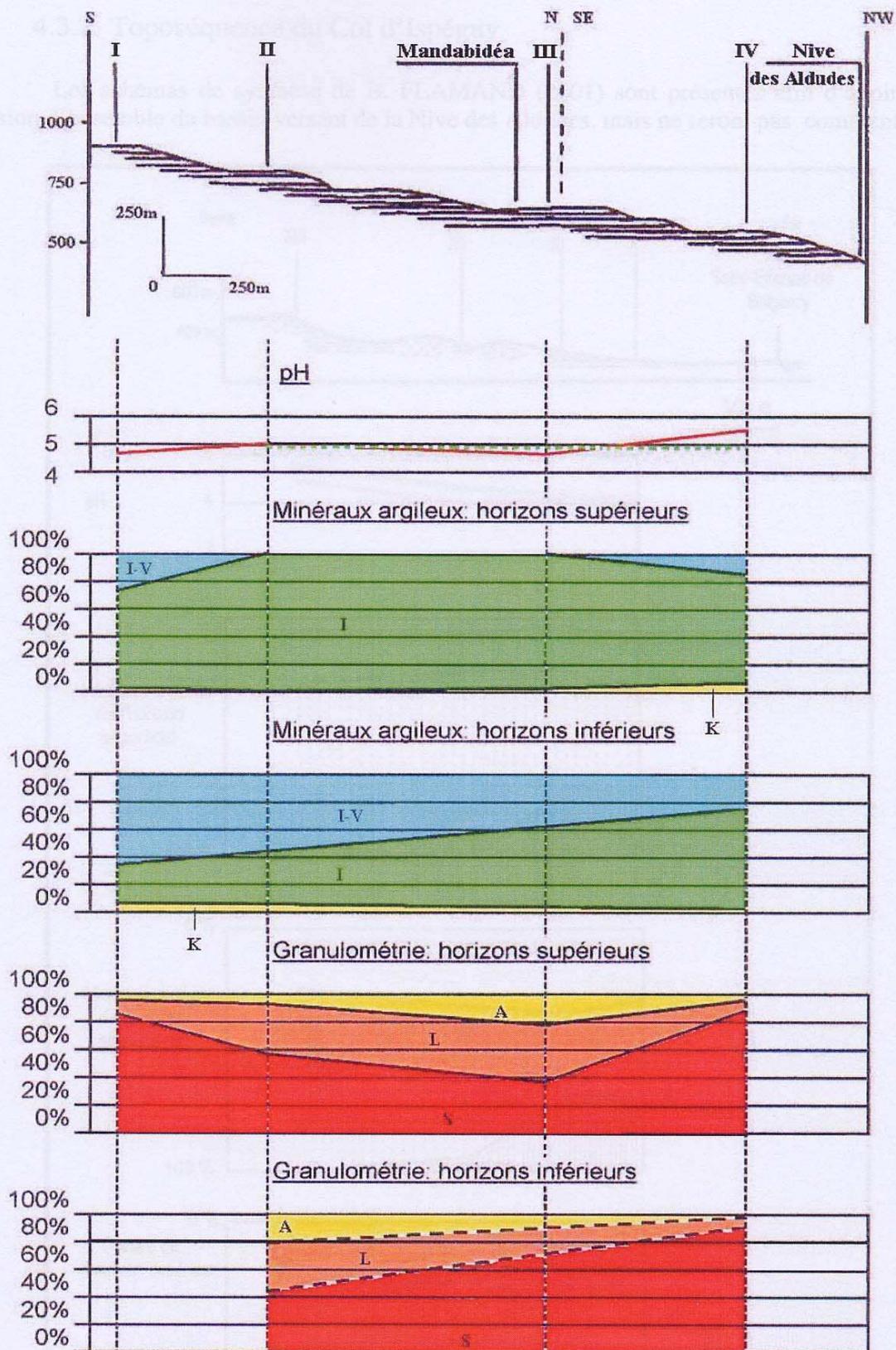


Fig.13 :Evolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence de Mandabidéa, (Cf. fig. 12a, b, c et d.).

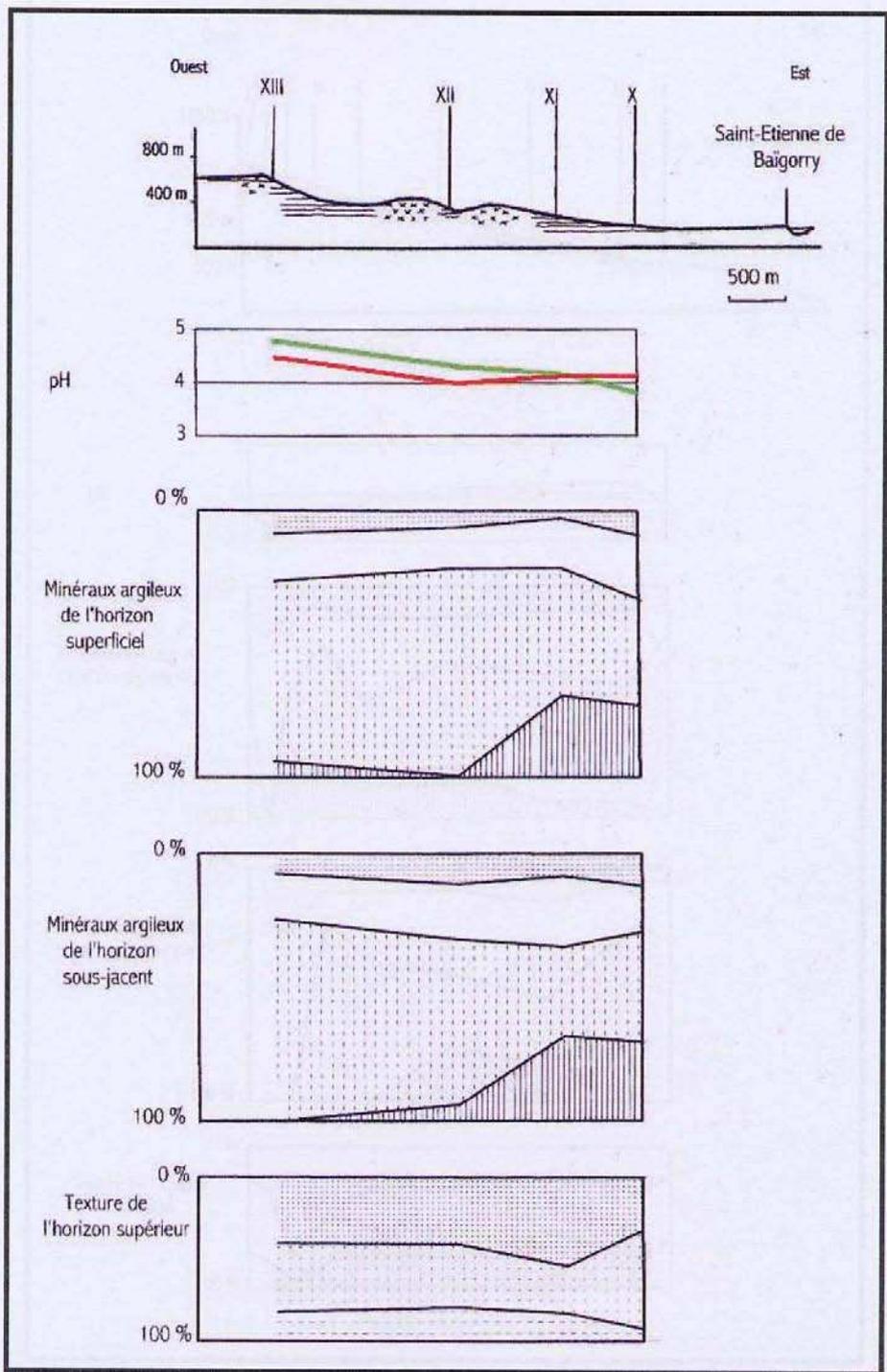


Fig.14: Evolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence du Col d'Ispéguy, d'après B.FLAMAND (2001).

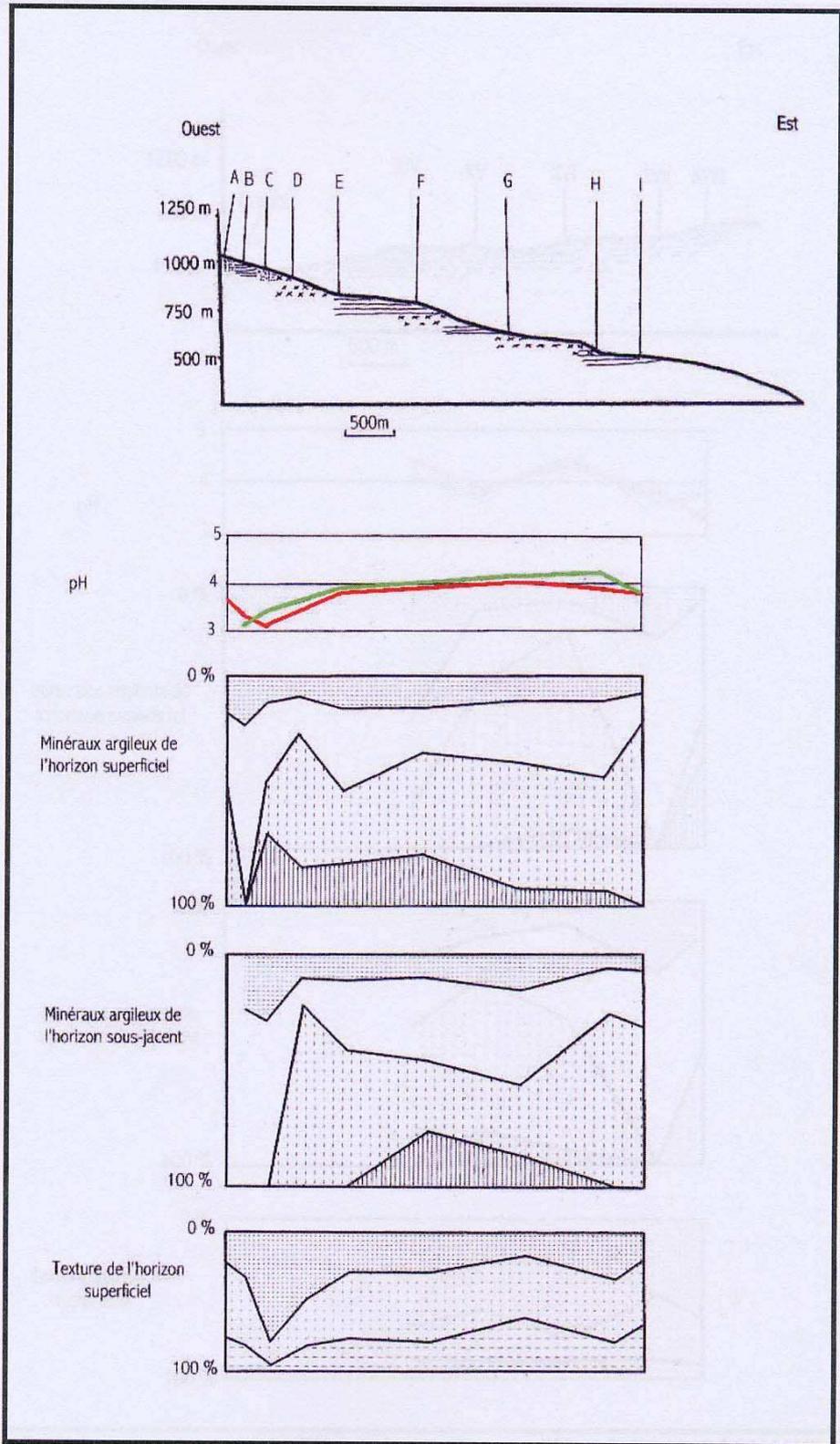


Fig.15 :Evolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence de Banca, d'après B.FLAMAND (2001).

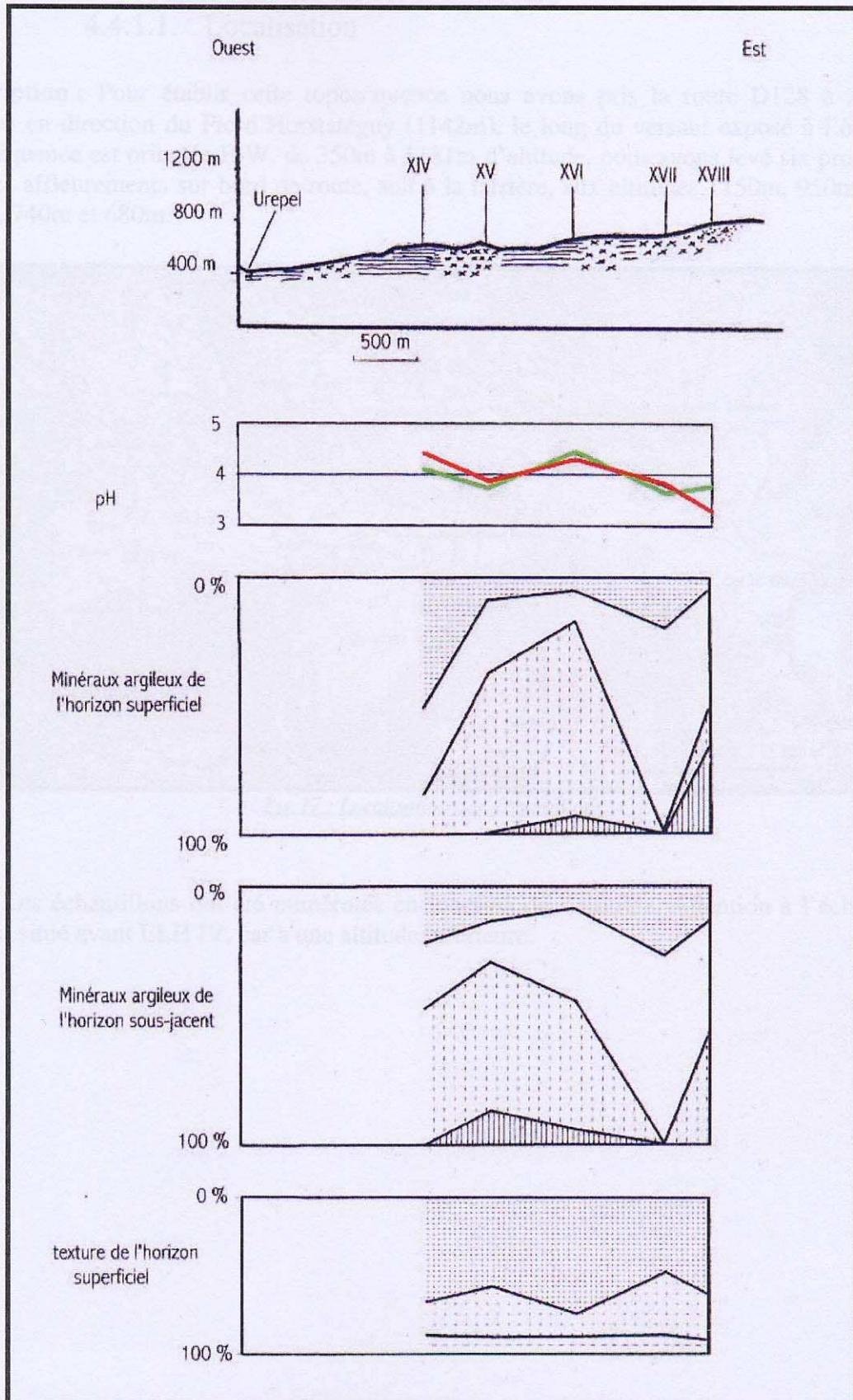


Fig.16 :Évolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence d'Urepel, d'après B.FLAMAND (2001).

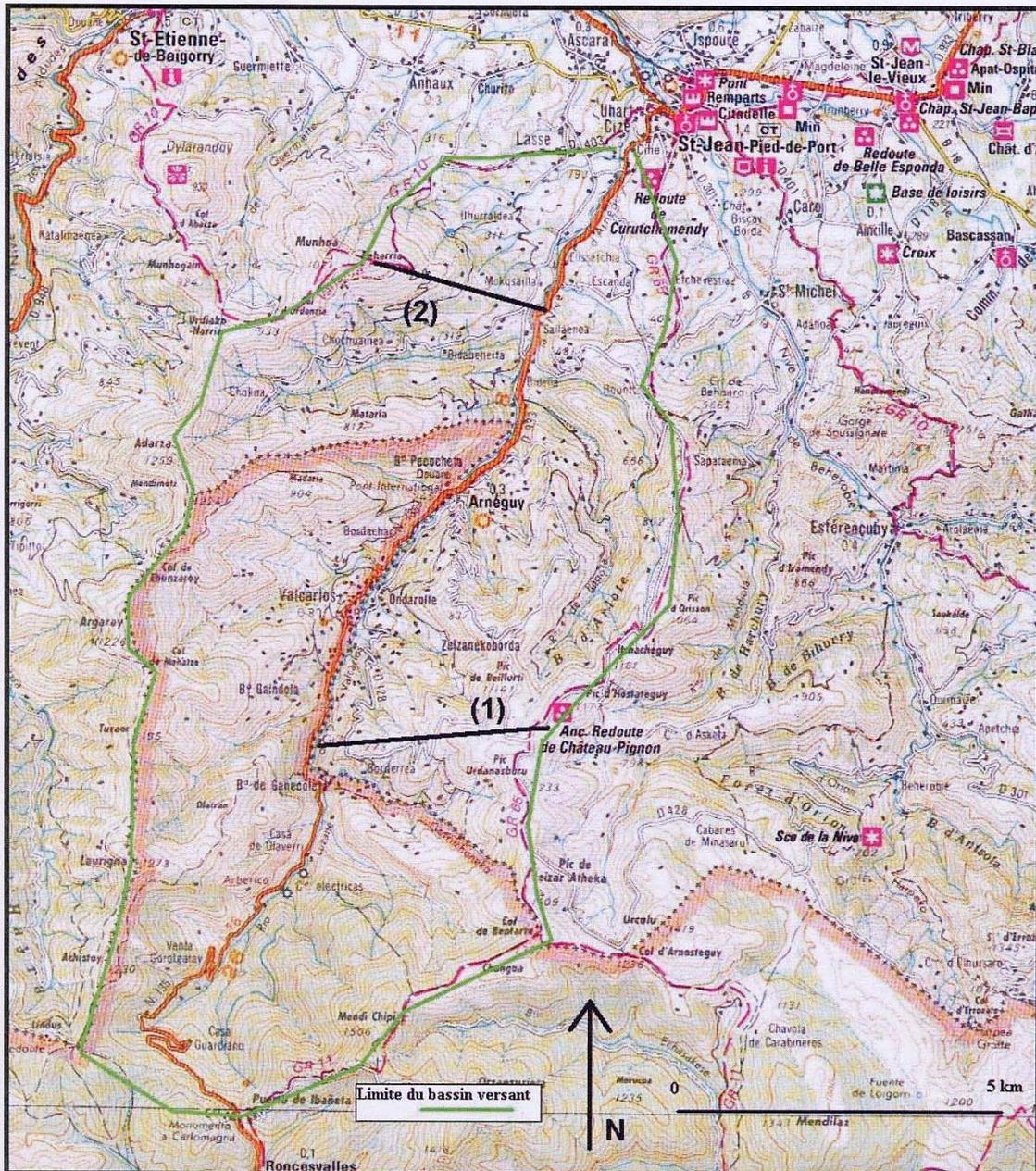


Fig.9 :Localisation des toposéquences du bassin versant de la Nive d'Arnéguy.

- (1) : Toposéquence du col d'Elhursaro
- (2) : Toposéquence de Beharria

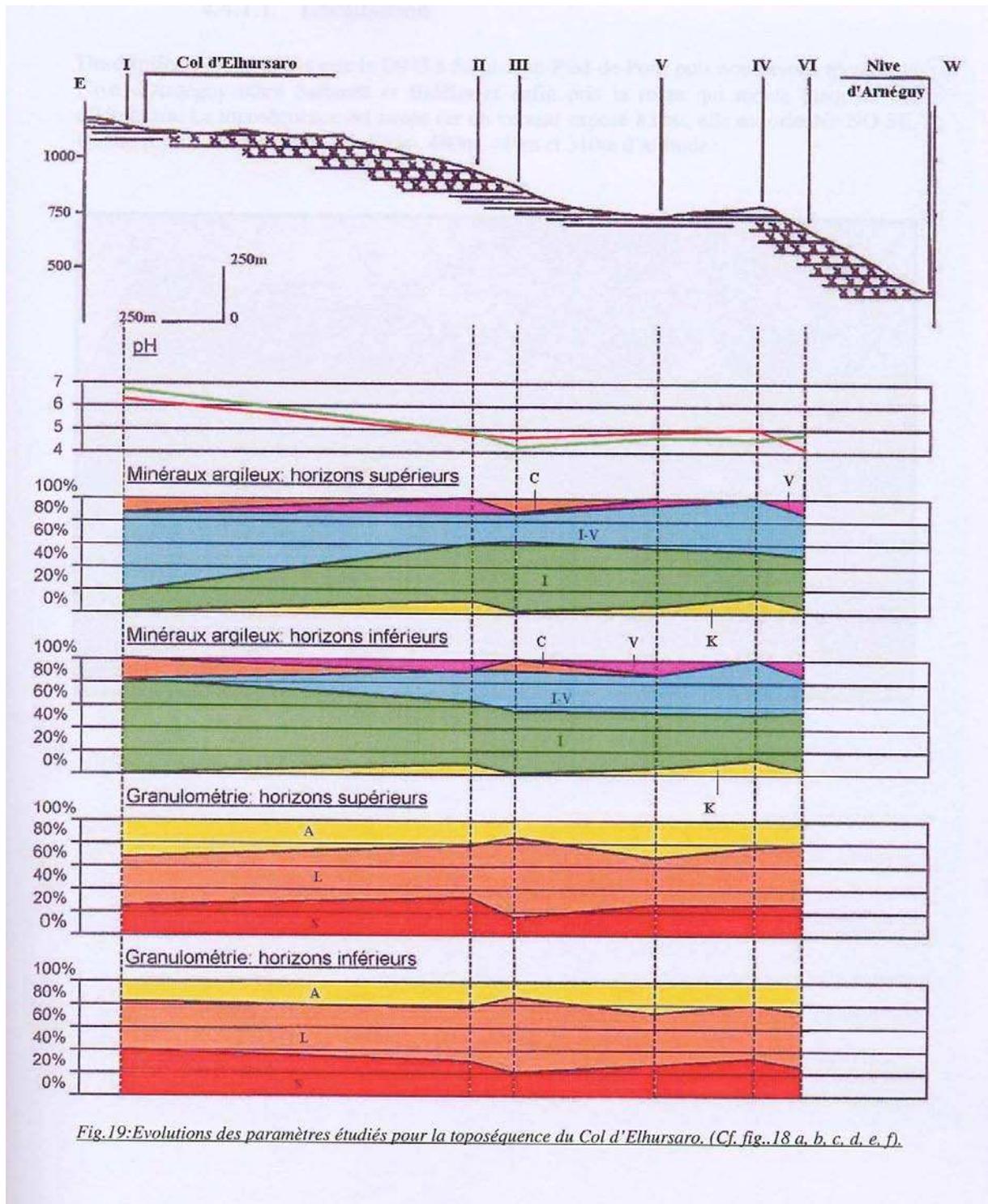


Fig.19: Evolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence du Col d'Elhursaro. (Cf. fig. 18 a, b, c, d, e, f).

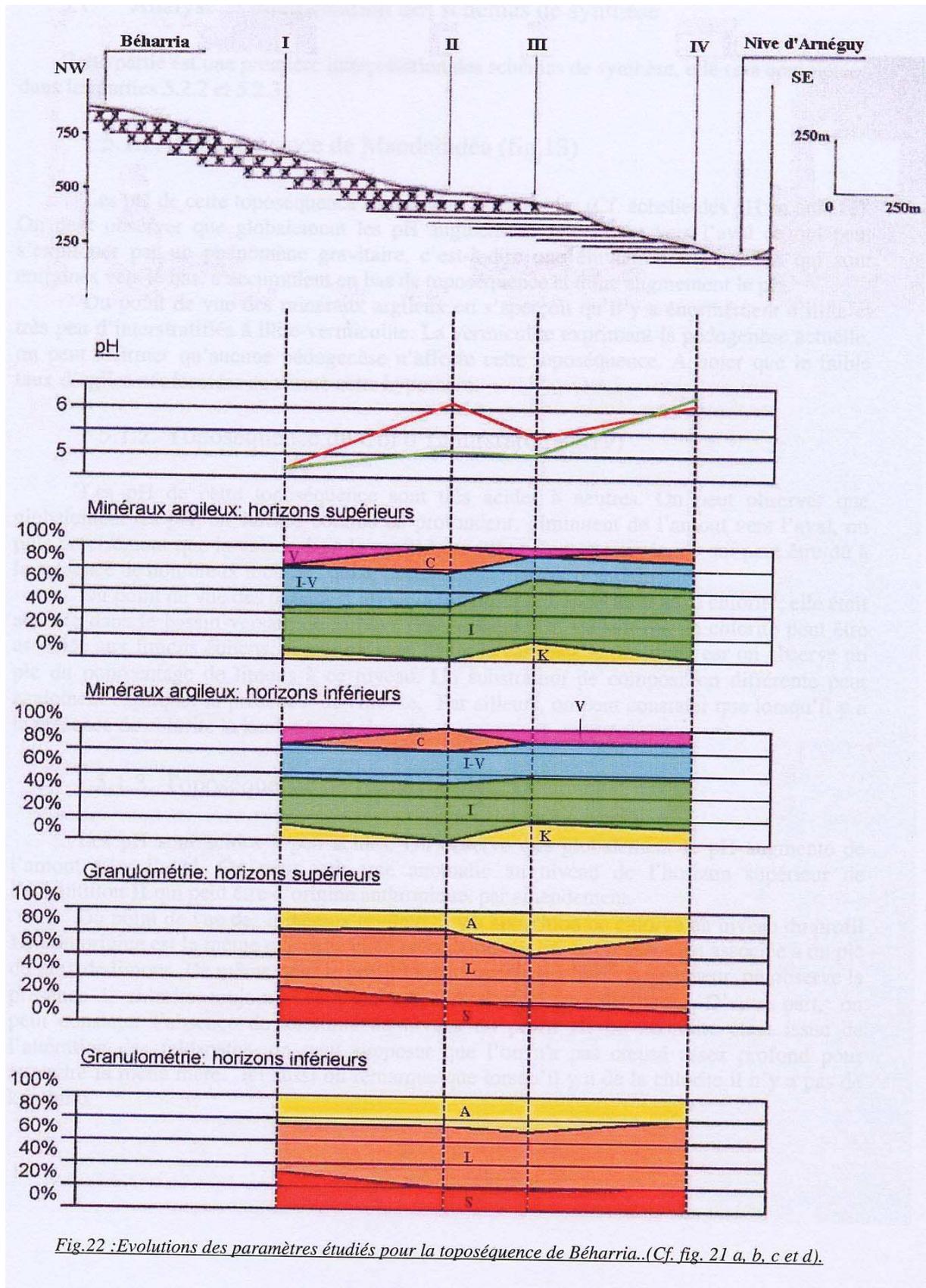


Fig.22 :Evolutions des paramètres étudiés pour la toposéquence de Béharria..(Cf. fig. 21 a, b, c et d).