



Master Géologie des Ressources
Naturelles

Année universitaire 2013-2014

Surfaces aplanies Pyrénéennes perchées (nature, histoire, cartographie): exemple des massifs de Bordères-Louron et de l'Aston



Panorama sur les surfaces aplanies du massif de l'Aston (Ariège)

Responsables de stage:

Vincent Regard
GET
14 avenue Edouard Belin,
31400 Toulouse

Bernard Monod
BRGM
3 rue Marie Curie,
31520 Ramonville-Saint-Agne

Etudiant: Mlle Julie Carcone

Correspondant Universitaire: Stéphane Brusset

Date du stage: 3/02/14- 1/08/14

Remerciements

Je voudrais remercier tout d'abord Vincent Regard et Bernard Monod qui ont encadré ce stage. Merci pour votre patience, votre aide et vos conseils dans cette étude et dans la rédaction de ce rapport. Merci aussi pour votre disponibilité au cours de ces six mois de stage qui m'a ainsi permis de réaliser une étude de terrain suite aux problèmes de convention.

Je remercie le CNRS, le GET et le RGF qui ont permis la réalisation de ce stage, dans le cadre du chantier régional du RGF sur les Pyrénées. Merci au BRGM Midi-Pyrénées et le GET pour leur bon accueil dans leurs locaux.

Je remercie à présent tout ceux qui ont contribué dans la réalisation de ce stage. Merci à Robert Wyns pour son suivi et ses conseils ainsi qu'à sa participation au cours de trois journées de terrain. Merci à Magalie Delmas ainsi que Marc Calvet pour sa disponibilité et son échange téléphonique concernant ses travaux de thèse. Merci à ceux qui m'ont aidé dans l'analyse de mes échantillons. Merci à Caroline Sanchez pour ses conseils dans la préparation des échantillons par broyage. Merci à Didier Béziat pour son aide dans l'analyse sous microscope optique à lumière réfléchie des minéraux opaques. Merci à Damien Guillaume et Michel Thibaut pour les analyses sous diffraction aux rayons X de mes échantillons. Merci aussi à Cécile Gautheron pour ses conseils quant à la méthode de datation (U-Th)/He sur minéraux supergènes.

Table des matières

Résumé - Abstract	5
Introduction	6
1 Présentation des entreprises	7
1.1 Le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière)	7
1.2 Le GET (Géosciences Environnement Toulouse)	8
2 Cadre de l'étude et état des connaissances sur les surfaces aplanies pyrénéennes et le processus d'altération	9
2.1 Contexte géographique	9
2.2 Contexte géologique	9
2.3 Histoire et problématique des surfaces d'aplanissement pyrénéennes	10
2.3.1 Mise en évidence des surfaces d'aplanissement	10
2.3.2 Cartographie et caractérisation des surfaces d'aplanissement	11
2.3.3 Problématique sur le modèle de formation des surfaces d'aplanissement.	12
2.3.4 Etablissement d'un lien entre les surfaces d'aplanissement et l'altération	12
2.3.5 Datation des surfaces d'aplanissement	13
2.4 Mécanisme d'altération et profils d'altération	13
2.4.1 Mécanisme général du processus d'altération	13
2.4.2 Description d'un profil d'altération sur les formations de socle	13
2.4.3 Profils d'altération et potentiels aquifères	15
3 Matériel et méthode	16
4 Etude des surfaces d'aplanissement du pluton de Bordères-Louron	19
4.1 Contexte géologique et géomorphologique	19
4.2 Cartographie et observations des surfaces d'aplanissement	20
4.3 Observations sur les horizons d'altération et interprétations.	22
4.3.1 Description des horizons d'altération	22
4.3.2 Description et observations des profils d'altération	24
4.3.3 Interprétations au travers l'analyse des profils d'altération	26
4.3.4 Etude pétrologique approfondie de l'altération	27
5 Etude de la vallée de l'Ariège (cas du massif de l'Aston)	30
5.1 Contexte géomorphologie et géologique	30
5.2 Cartographie des surfaces d'aplanissement et observations de terrain	31
5.3 Description de l'altération sur le massif de l'Aston	33
5.4 Analyses et interprétations de la morphogenèse de la zone	35
5.4.1 Analyse des données numériques	35
5.4.2 Analyse des données sur les glaciations quaternaires	36
5.4.3 Analyse de la géomorphologie et des profils d'altération	37
Conclusion et conclusion personnelle	41
Bibliographie	42

Annexes	45
.1 Annexe 1 :Légende de la carte géologique de Arreau (page 20)	45
.2 Annexe 2 : Localisation des affleurements sur le massif de Bordères-Louron sur fond topographique au 1 :25 000	47
.3 Annexe 3 : Tableau des affleurements sur le massif de Bordères-Louron	48
.4 Annexe 4 : Localisation des affleurements sur le massif de l'Aston sur fond topographique au 1 :25 000	50
.5 Annexe 5 : Tableau des affleurements sur le massif de l'Aston	51
.6 Annexe 6 : Profils topographiques sur le massif de l'Aston	53

Table des figures

1.1	Distribution du budget recherche du BRGM pour chaque thématiques	7
2.1	Localisation des zones d'études de Bordères-Louron et de l'Aston	9
2.2	Schéma structural des Pyrénées	10
2.3	Carte d'analyse du relief pyrénéen à partir des données du modèle numérique de terrain SRTM90.	11
2.4	Carte des surfaces d'aplanissement dans les Pyrénées Orientales en Ariège	12
2.5	Modèle conceptuel de la structure des aquifères de socle	14
2.6	Photographie d'un horizon fissuré	14
2.7	Photographies d'un horizon feuilleté (a) d'un horizon d'arènes (b)	15
3.1	Modèle numérique de terrain des Pyrénées en Lambert 93 à la résolution de 50m.	16
3.2	Analyse de pente sur le MNT des Pyrénées en Lambert 93 à la résolution de 50m	17
3.3	Tableau récapitulatif des journées de terrain	17
3.4	Photographies sous microscope optique à lumière polarisée sur le granite à deux micas (a) à lumière polarisée réfléchie sur la granodiorite (b)	18
3.5	Diffractogramme obtenu par diffraction aux rayons X	18
4.1	Vue d'ensemble vers le sud sous google earth de la vallée d'Aure et de la vallée du Louron	19
4.2	MNT en 2D, à résolution de 50m, de la vallée du Louron et de la vallée d'Aure	19
4.3	Schéma structural du pluton de Bordères-Louron	20
4.4	Cartographie des surfaces d'aplanissement sur fond géologique harmonisé du BRGM	21
4.5	Photographie d'une surface aplanie proche de Ris sur des formations du Trias	21
4.6	Panorama depuis le village de Jézeaux en direction de l'ouest	22
4.7	Panorama depuis le village de Jézeaux en direction du sud sur le massif de Bordères-Louron	22
4.8	Photographie de la surface aplanie proche du village de Ilhan sur le massif de Bordères-Louron	22
4.9	Photographies d'un horizon fissuré dans la granodiorite proche du village de Ris (a) d'un échantillon de granite à deux micas(b)	23
4.10	Photographie de la limite entre horizon fissuré et horizon feuilleté	23
4.11	Photographie d'un horizon feuilleté	23
4.12	Photographies d'un horizon feuilleté avec filons de quartz (a) d'un horizon feuilleté avec une boule de granite saine (b)	24
4.13	Photographies d'un horizon d'arènes sablo-argileuses (a) d'un horizon d'arènes très argileuses (b)	24
4.14	Carte topographique au 1 :25 000 avec la répartition des surfaces d'aplanissement et des arrêts de terrain	25
4.15	Coupe AB sur la granodiorite de Bordères-Louron	25
4.16	Coupe CD sur le pluton de Bordères-Louron	25
4.17	Coupe AB interprétative sur le granodiorite de Bordères-Louron	26
4.18	Coupe CD interprétative sur le pluton de Bordères-Louron	26
4.19	Photographies d'un horizon fissuré avec fissures issues de l'altération basculées (a) d'un plan de faille dans l'horizon fissuré proche du village de Ris (b)	27
4.20	Photos sous microscope optique en lumière polarisée, d'une lame mince de granite à deux micas (a) d'une lame mince de granodiorite (b)	28
4.21	Photos sous microscope optique en lumière polarisée réfléchie	28
4.22	Diffractogramme de comparaison des échantillons analysés sous diffraction aux rayons X	29

4.23	Diffractogramme et identification des pics de diffraction pour le granite à deux micas	29
4.24	Photographie de galets de granite altérés dans le Trias	29
5.1	Carte géomorphologique de la vallée de l'Ariège au niveau du massif de l'Aston et du Saint-Barthélemy	30
5.2	Carte géologique du massif de l'Aston et de l'Hospitalet montrant la structure, le magmatisme et le métamorphisme	31
5.3	Cartographie des surfaces d'aplanissement en Pyrénées Orientales	31
5.4	Photographie de la surface aplanie du plateau de Beille	32
5.5	Photographie de la surface aplanie au rocher de Miglos	32
5.6	Panorama vers le sud sur le massif gneissique de l'Aston	32
5.7	Panorama vers le nord-est sur la surface du col de Chioula	33
5.8	Photographies d'un horizon fissuré sur le plateau de Beille (a) sur le granite (b) .	33
5.9	Photographies d'un horizon fissuré avec des fissures orientées le long des plans de foliation (a) de biotites orientées selon le plan de foliation dans l'horizon fissuré (b)	34
5.10	Photographie d'un horizon feuilleté sur gneiss migmatisé	34
5.11	Photographie d'un horizon feuilleté sous la surface d'Ax-Bonascre	34
5.12	Photographie d'un horizon d'arènes sablo-argileuses près de la surface d'Ax-Bonascre	35
5.13	MNT en 2D représentant la surface enveloppe créée à partir des données des surfaces cartographiées	35
5.14	MNT en 3D avec la surface enveloppe	36
5.15	Coupe géologique simplifiée sur le massif de l'Aston d'orientation nord-ouest sud-est	36
5.16	Carte géomorphologique de la zone de l'Aston avec les limites des glaciations quaternaires	37
5.17	Panorama vers l'ouest sur le massif de l'Aston et la vallée de l'Ariège	37
5.18	Tableau descriptif des étagements entre les surfaces sur le massif de l'Aston . . .	38
5.19	Carte des ensembles pétrographiques et des isogrades de métamorphisme du massif de l'Aston	38
5.20	Photographie d'un horizon fissuré sur le flanc sud du massif de Saint Barthelemy	39
5.21	Panorama à partir de la piste de la Jasse de Dédort vers la Jasse de Courtal Gélât	39
5.22	Stéréogramme des fractures et plans de foliations sur les formations gneissiques autour de la vallée de l'Ariège	40
5.23	Photographies d'un horizon d'arènes abaissé par rapport à un horizon feuilleté sur le granite(a) d'un horizon feuilleté intercalé dans l'horizon fissuré (b)	40

Résumé

Lors de mon stage au laboratoire du GET, j'ai réalisé en collaboration avec le BRGM Midi-Pyrénées une étude sur les surfaces d'aplanissement et les profils d'altération des Pyrénées, sur le massif de Bordères-Louron à l'amont du bassin versant de la Garonne et en Ariège sur le massif de l'Aston. J'ai plus particulièrement réalisé cette étude à partir d'un travail de terrain au cours duquel, j'ai récolté de nombreuses données sur les profils d'altération que j'ai géoréférencé et répertorié selon la norme du Référentiel Géologique de France. J'ai également effectué des échantillonnages dans les profils d'altération pour un essai de datation sur les minéraux supergènes. De plus, j'ai travaillé sur le traitement de données SIG pour la cartographie des surfaces d'aplanissement et sur la réalisation de cartes. Cette étude intervient en complément des nombreux travaux et débats depuis le début du siècle dernier sur les surfaces aplanies.

Mots clés : surfaces d'aplanissement, profils d'altération, minéraux supergènes

Abstract

During my internship in GET laboratory, I realized in collaboration with BRGM Midi-Pyrenees a study on planar surfaces and weathering profiles of Pyrenees, on the massif of Bordere-Louron upstream of the Garonne watershed and the Aston massif in Ariege. I particularly conducted a fieldwork-based study for which I have collected several data on weathering profiles that were georeferenced and listed according to Geological Repository France standards. I have also processed the wheathered samples in order to try to get an age of supergene minerals. Further, I worked on GIS data to map the planar surfaces. This study was conducted following severals works and discussions since the beginning of last century on low relief surfaces.

Keywords : planar surfaces, weathering profiles, supergene minerals

Introduction

L'existence de surfaces de haute altitude et de faible relief est l'une des caractéristiques morphologiques majeures des Pyrénées. Ces topographies planes sont connues et décrites depuis le début du siècle dernier et ont fait l'objet de nombreuses études notamment géomorphologiques. L'âge de ces surfaces dans l'est des Pyrénées est estimé aujourd'hui post-Eocène, entre fin Oligocène et Miocène supérieur. Ces surfaces sont des témoins de l'histoire géologique et climatique des Pyrénées, depuis l'orogénèse jusqu'aux glaciations quaternaires. Cependant, les surfaces suscitent de nombreuses questions notamment sur leur mode de formation, qui reste aujourd'hui très débattu. Pour participer à ce débat, le travail présenté ici se propose d'étudier l'état d'altération des roches associé aux surfaces aplanies.

Mon stage s'est réalisé en collaboration entre le BRGM et l'Observatoire Midi-Pyrénées. Pour le BRGM il s'inscrit dans le cadre du chantier RGF (Référentiel Géologique de France) sur les Pyrénées. Il se place aussi dans le projet Potapyr (Potentiel Aquifère Pyrénéen), pour la détermination du potentiel aquifère au sein des formations de socle dans les Pyrénées et particulièrement dans les profils d'altération associés aux surfaces aplanies. Ce stage consista à réaliser une cartographie détaillée des surfaces aplanies pyrénéennes, à partir de cartes et de bases de données SIG. Mais aussi d'essayer d'établir une hiérarchisation entre les différents niveaux de surface. Enfin au travers d'un travail de terrain, d'échantillonner les profils d'altération, pour un essai de datation du processus d'altération et ainsi la mise en place de ces surfaces. Les zones d'études se sont portées sur deux massifs paléozoïques dont le massif de Bordères-Louron, à l'amont du bassin versant de la Garonne et celui de l'Aston en Ariège. Ces zones ont été choisies par leur appartenance à la région Midi-Pyrénées, en rapport avec le projet Potapyr et la proximité de la Cerdagne où des surfaces ont déjà été étudiées au cours de travaux antérieurs.

Ce rapport présente dans une première partie le BRGM et le GET. Dans une deuxième partie une synthèse des connaissances sur les surfaces d'aplanissement pyrénéennes et du processus d'altération associé. Dans une troisième partie à décrire les méthodes utilisées et les étapes de déroulement de mon stage. Une analyse des surfaces et des profils d'altération du massif de Bordères-Louron et de l'Aston sera ensuite présentée.

Chapitre 1

Présentation des entreprises

Mon stage de six mois a été réalisé dans une collaboration entre le BRGM, dans le cadre du Projet PotaPyr, qui vise à diagnostiquer le potentiel aquifère des formations géologiques des Pyrénées et l'Observatoire Midi-Pyrénées à Toulouse, pour les problématiques pyrénéennes, sur l'évolution géomorphologique des orogènes, les paléosurfaces, l'érosion et les datations. Mes six mois de stage se sont déroulés au GET, avec une fréquence de un jour par semaine dans les locaux du BRGM Midi-Pyrénées.

1.1 Le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière)

Le BRGM est un établissement public à caractère industriel et commercial. Son siège social est situé à Paris et le centre de recherche et technique se trouve à Orléans. Il possède 32 sites régionaux répartis en France métropolitaine et outre mer. Il emploie 1100 personnes avec plus de 700 chercheurs et ingénieurs. Ces activités se développent aussi bien au niveau national que mondial, dans 40 pays au travers de 200 projets de coopérations internationales. Le BRGM s'applique à la gestion des ressources et des risques du sol et du sous-sol, sous la tutelle du ministre de l'enseignement supérieur, du ministre de l'écologie, du développement durable, de l'énergie et du ministre du redressement productif. Ses objectifs majeurs sont orientés selon 5 missions : la recherche scientifique, l'appui aux politiques publiques, la coopération internationale, la sécurité minière et la formation. Les activités du BRGM s'articulent en 10 thématiques : la géologie, les ressources minérales, la géothermie, le stockage du CO₂, la gestion des risques, l'après-mine, l'eau, l'environnement, le laboratoire et l'expérimentation, les systèmes d'informations. Ces thématiques sont orientées pour répondre aux enjeux sociétaux et industriels. Avec un budget de 130 millions d'euros le BRGM consacre environ 45 millions d'euros pour la recherche (Figure 1.1).

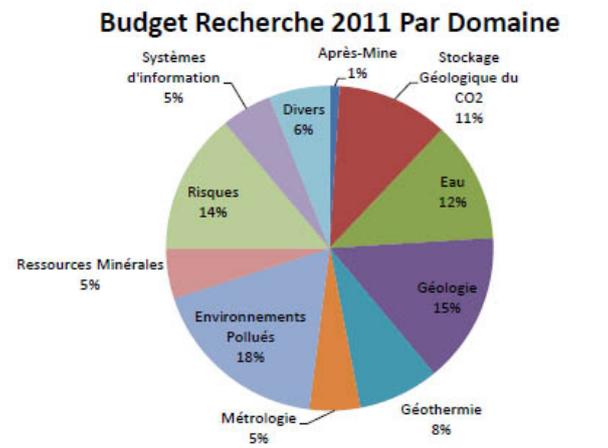


FIGURE 1.1 – Distribution du budget recherche du BRGM pour chaque thématiques

La direction régionale Midi-Pyrénées du BRGM se trouve à une place privilégiée géographiquement car encadrée par le Massif Central au nord et par les Pyrénées au sud. Il s'articule autour de 6 thématiques : l'eau, les risques naturels, les sites et sols pollués, les ressources minérales, la géologie et la géothermie. Son effectif comporte un directeur géologue/ressources minérales (Monsieur Philippe Roubichou), un géologue régional, un géologue environnement et risques naturels, quatre hydrogéologues, trois techniciens et une assistante de direction.

1.2 Le GET (Géosciences Environnement Toulouse)

Le GET situé en région Midi-Pyrénées, à Toulouse, est un laboratoire de recherche fondamentale. Il appartient à l'observatoire Midi Pyrénées (OMP). Ses domaines d'activités regroupent les géosciences et les sciences de l'environnement. Il s'organise avec des chercheurs de cinq statuts différents : le CNES (Centre National de la Recherche Scientifique), l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), le CNRS (Centre National d'Études Spatiales), le CNAP (Conseil National des Astronomes et Physiciens) et les enseignants chercheurs de l'université Paul Sabatier. Il compte environ 165 permanant (environ 250 personnes avec les étudiants, post-doctorants, personnels sous contrat à durée déterminée, etc.). Le laboratoire développe huit thématiques scientifiques majeures de recherche :

- T1 : Géoressource/ Géomatériaux
- T2 : Terre interne- Lithosphère
- T3 : Champs de gravité, déformation crustale
- T4 : Couplage lithosphère, océan, atmosphère
- T5 : Surfaces continentales et changements globaux
- T6 : Interaction contaminants métalliques, écosystèmes
- T7 : Interactions fluides minéraux, organismes vivants en contexte naturel et stockage du CO₂
- T8 : Géochimie des isotopes stables.

La taille du laboratoire constitue un poids sur le plan national et international, ce qui lui permet d'être dans les grands groupes de réflexions qui construisent les appels à projets nationaux et internationaux.

Chapitre 2

Cadre de l'étude et état des connaissances sur les surfaces aplanies pyrénéennes et le processus d'altération

2.1 Contexte géographique

Chaîne de montagne du sud-ouest de l'Europe, les Pyrénées s'étendent sur environ 400 km de long et 150 kilomètres de large formant ainsi une frontière naturelle entre l'Espagne et la France (Figure 2.1). Sur le plan géomorphologique, la distribution des réseaux hydrographiques indique une orientation générale nord-sud des vallées. La chaîne montre une variété de paysage dont des vallées en auge, des canyons, des cirques glaciaires, des reliefs émoussés et plutôt abrupts. Les Pyrénées Centrales offrent les sommets les plus hauts, et c'est en Espagne qu'on trouve le plus culminant le pic d'Aneto autour de 3404 m. Les zones de Bordères-Louron et de l'Aston qui constituent l'objet de notre étude, se situent en région Midi-Pyrénées (département des Hautes-Pyrénées et de l'Ariège) en plein coeur des Pyrénées françaises (Figure 2.1).

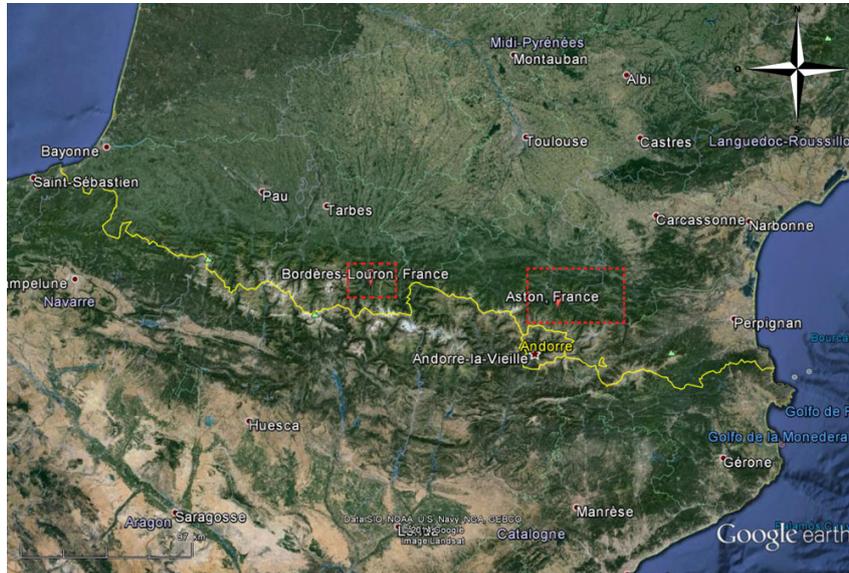


FIGURE 2.1 – Localisation des zones d'études de Bordères-Louron et de l'Aston dans les Pyrénées [image google earth]

2.2 Contexte géologique

La chaîne des Pyrénées se divise en trois domaines distincts (Figure 2.2) : la zone nord pyrénéenne (ZNP), la zone axiale (ZA) et la zone sud-pyrénéenne (ZSP). La zone nord-pyrénéenne (Figure 2.2) constituée par une série carbonatée (Jurassique à Aptien) et une série grésopélitique (Albien à Crétacé supérieur) est délimitée au sud par la faille nord-pyrénéenne (FNP) et au nord

par le chevauchement frontal nord pyrénéen (CFNP). Elle fut le lieu d'un métamorphisme de haute température et basse pression ainsi que du magmatisme alcalin entre 100 et 85 Ma [16, Lacan, 2008]. La zone axiale quant à elle est constituée exclusivement de terrains paléozoïques déformés et de quelques plutons granitiques [16, Lacan, 2008]. La zone sud-pyrénéenne (Figure 2.2) délimitée au sud par le chevauchement sud-pyrénéen (CFSP), est formée de terrains sédimentaires principalement des carbonates et des molasses. L'histoire géologique de la chaîne fut longue car résultant de deux cycles orogéniques dont le cycle hercynien (400- 245Ma) et le cycle alpin (250 Ma à l'actuel). L'orogène Pyrénéenne se serait édifiée au Paléogène [8, Calvet et al, 2008], en raison de la compression nord-sud liée au mouvement de la plaque Ibérique vers la plaque Européenne [16, Lacan, 2008].

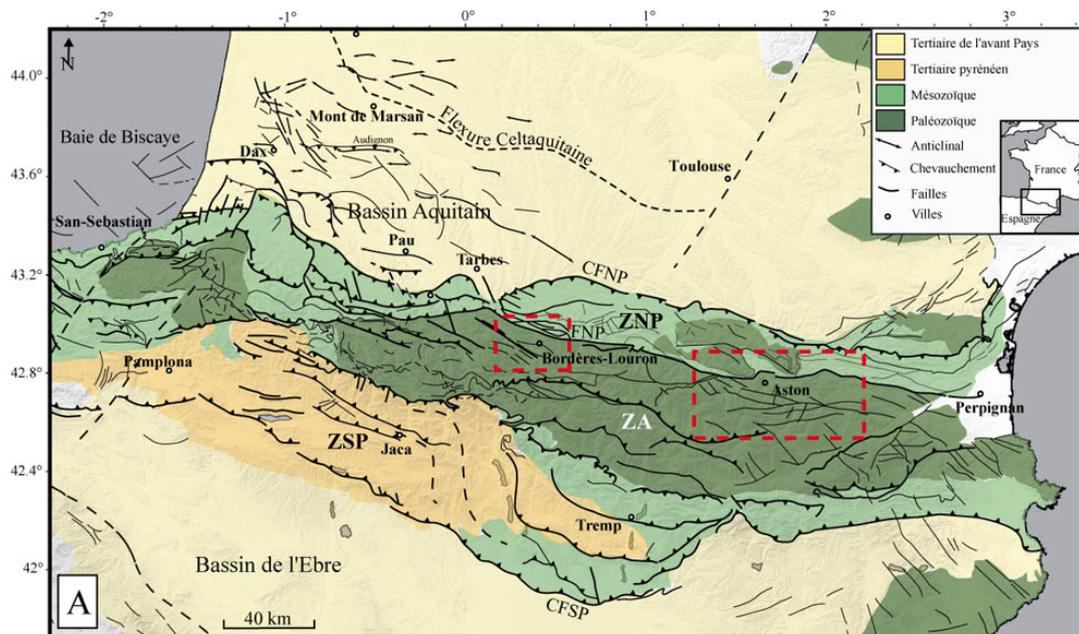


FIGURE 2.2 – Schéma structural des Pyrénées [16, Lacan, 2008]. Zone nord-pyrénéenne (ZNP), zone axiale (ZA), zone sud-pyrénéenne (ZSP), chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP), chevauchement frontal sud-pyrénéen (CFSP). Les zones d'études sont localisées par les encadrés en rouge

2.3 Histoire et problématique des surfaces d'aplanissement pyrénéennes

2.3.1 Mise en évidence des surfaces d'aplanissement

Dans leur article, Babault et al [2005] [2] mettent en avant l'existence de topographies planes dans le relief Pyrénéen à travers le traitement de données altimétriques SRTM90 et d'une analyse du relief local. Ils décrivent ainsi les Pyrénées comme une chaîne de montagne asymétrique dont l'élévation moyenne maximale se situe dans la zone Axiale. Leur résultat montre que globalement sur la chaîne, le relief local est proportionnel à l'élévation moyenne. Cependant ils observent des irrégularités, avec des zones de faible relief en haute altitude dans la partie orientale des Pyrénées au niveau des Encantats, de l'Aston, du Capcir et de la Cerdagne (Figure 2.3). Dans la zone axiale pyrénéenne, ils estiment que ces reliefs représentent 10% de la superficie. Ils décrivent ces irrégularités comme des surfaces d'érosion de pente inférieure à 10°.

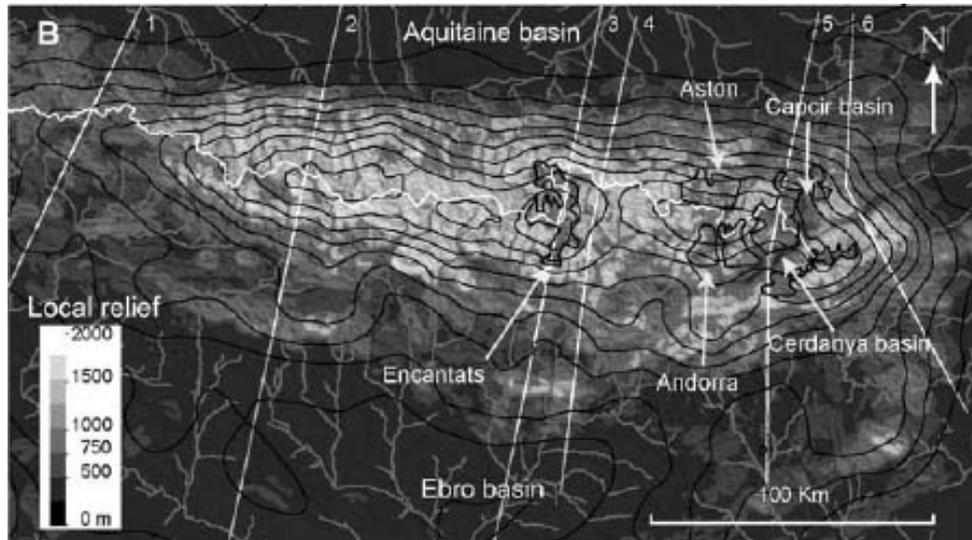


FIGURE 2.3 – Carte d’analyse du relief pyrénéen à partir des données du modèle numérique de terrain SRTM90 [2, Babault et al, 2008]. Sur cette carte on voit que le relief local augmente avec l’élévation représentée par les lignes de niveau. Les zones entourées en noirs mettent en évidence des surfaces d’érosion à relief plat et à haute altitude

L’existence de ces surfaces dans les Pyrénées Orientales est confirmée par Calvet et al [2006] [7] au travers d’une étude réalisée à partir d’un modèle numérique de terrain, sur lequel ils ont obtenu une distribution des topographies de faible relief par l’extraction des pentes d’un angle moyen et inférieur à 8° [7, Calvet et al, 2006]. Ils mettent en évidence une absence de ces surfaces dans les Pyrénées Centrales. C’est sur la base de ces travaux, que nous avons cherché à obtenir une distribution des surfaces aplanies sur l’ensemble des Pyrénées et ainsi sur les Pyrénées Occidentales encore peu étudiées.

2.3.2 Cartographie et caractérisation des surfaces d’aplanissement

Notre étude cartographique s’est basée particulièrement sur les travaux de Calvet [2006] [6] et Delmas [2009] [9] dans les Pyrénées Orientales. Delmas [2009] [9] s’est intéressée à l’influence et la répartition des glaciations quaternaires pour en venir à établir trois catégories de surfaces (Figure 2.4). La figure 2.4 représente la cartographie des surfaces aplanies sur laquelle elle distingue les surfaces recouvertes par les paléo englacements quaternaires en gris rayé, peu préservées dans le relief car très érodées par les glaciers. Dans ses descriptions elle indique la présence de dépôts glaciaires sur ces surfaces tels que des moraines . Les surfaces en position supraglaciaire en noir sont décrites comme étant des surfaces d’altitude élevée, bien conservées car peu érodées par les glaciers, bien que des formes d’érosion glaciaire discrètes aient été observées [9, Delmas, 2009]. Les surfaces hors domaines englacés en gris foncé sont des surfaces qui n’auraient pas été touchées par les glaciations car elles sont en dehors des limites des glaciations quaternaires [9, Delmas, 2009]. A partir de ces observations, nous avons cherché à réaliser une cartographie plus précise de ces surfaces, sur la même zone selon les mêmes critères tout en l’appliquant aux Pyrénées Occidentales pour le massif de Bordères-Louron.

Dans sa thèse d’Etat portant sur la morphogenèse des Pyrénées, Calvet [1996] [6] définit deux générations de surfaces dans l’extrême est des Pyrénées, qui se seraient mises en place depuis l’Oligocène supérieur. Les surfaces de type S0 qui sont en position culminante dans le paysage et les surfaces de type S1 emboîtées . Cependant pour les massifs de l’Aston et de Bordères-Louron, la question se pose quant à l’existence de deux générations de surfaces aplanies ou bien d’un aplanissement généralisé, au travers d’une étude portée sur une hiérarchisation des surfaces.

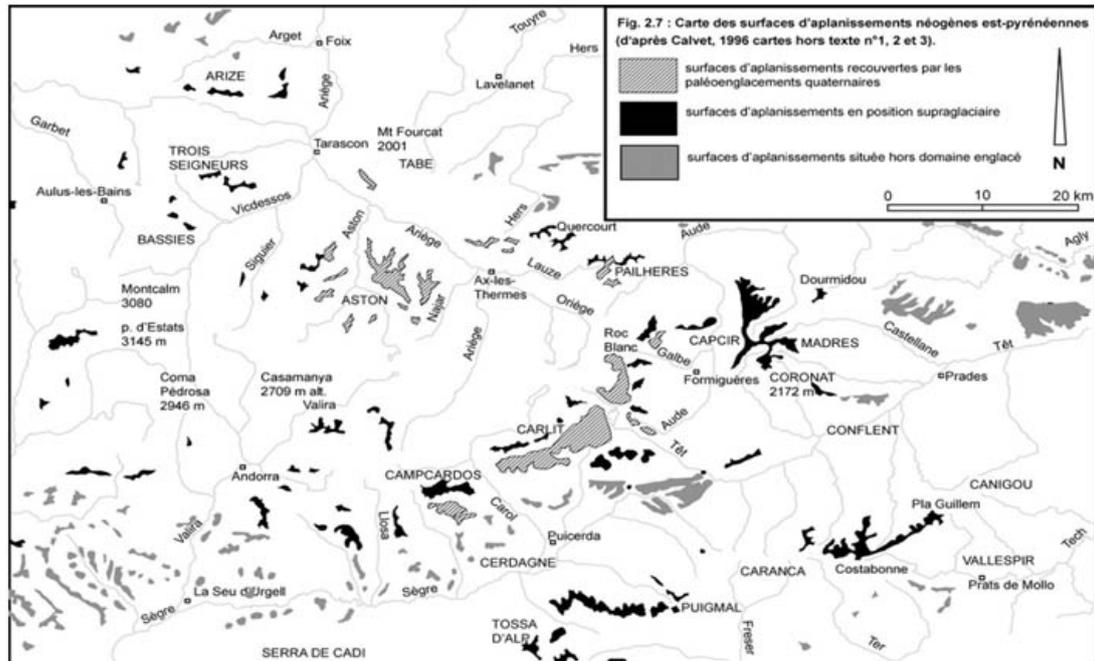


FIGURE 2.4 – Carte des surfaces d’aplanissement dans les Pyrénées Orientales en Ariège [9, Delmas, 2009]

2.3.3 Problématique sur le modèle de formation des surfaces d’aplanissement.

Aujourd’hui encore l’établissement d’un modèle de mise en place de ces surfaces d’érosion reste très débattu. Des études géomorphologiques antérieures ont caractérisé ces surfaces planes comme étant des pénéplaines. Les pénéplaines résultent d’un long processus d’érosion lissant le relief et se formant à une altitude très basse proche du niveau de la mer. C’est pourquoi ces surfaces pourraient-être des témoins d’un soulèvement post-tectonique car aujourd’hui elles sont comprises entre 1400 et 2000m d’altitude [2, Babault et al, 2005]. Deux modèles sont actuellement proposés. Le premier modèle de formation est un modèle en deux étapes composé d’une pénélplanation de l’édifice orogénique, associée à un effondrement gravitaire, suivi par une surrection post-tectonique associée au soulèvement post-Burdigalien dans la zone axiale [8, Calvet et al, 2008]. Une absence de ces surfaces dans les Pyrénées Centrales est expliquée par Calvet et al [2008] [8] par la compression orogénique qui se serait poursuivie au Néogène. Le deuxième modèle proposé par Babault et al [2005] [2] porte sur la formation de plateau en altitude, suite à une sédimentation importante par les bassins de piedmont (Ebre, Bassin Aquitain) qui remontent en discordance en envoyant les parties internes de l’orogène. Ces topographies planes se seraient alors conservées par une stabilité du relief.

2.3.4 Etablissement d’un lien entre les surfaces d’aplanissement et l’altération

Notre étude sur les surfaces d’aplanissement s’est portée aussi sur l’altération. Nous avons suivi les travaux de Wyns et al [2008] [22], portant sur l’observation des traces d’altération en France, en lien avec la déformation lithosphérique au cours de la période post-Paléozoïque. Ils ont mis en évidence que les traces d’altération observées sur le Massif Central sont associées à des pénéplaines continentales. Le développement et la préservation des profils d’altération sont contrôlés par des facteurs géomorphologiques et tectoniques. En effet ils montrent l’importance d’avoir des surfaces de faible pente pour permettre aux eaux de ruissellement de s’accumuler et de s’infiltrer dans le sol. Le processus d’altération est relié au mouvement vertical ascendant de la lithosphère, lors d’épisodes de compression, sous forme de dôme pour obtenir des surfaces aplanies adaptées [22, Wyns et al, 2003].

2.3.5 Datation des surfaces d'aplanissement

L'âge des surfaces planes dans les Pyrénées Orientales a pu être estimé par Calvet et al [2008][8] au travers de divers critères. Sur le plan structural et stratigraphique, ces surfaces planes recoupent toutes les lithologies aussi bien des roches ignées que métamorphiques, ainsi que toutes les structures compressives issues de la formation de la chaîne dans l'est des Pyrénées. Les conglomérats paléogènes sur la chaîne axiale montre le signe d'une érosion active dès le Bartonien avec une dénudation plurikilométrique qui n'aurait pu permettre la conservation des surfaces [8, Calvet et al, 2008]. Sur les marges du bassin de l'Ebre les surfaces recoupent l'Oligocène mais semblent être raccordées au Miocène moyen du côté de la Sierra de Guara [8, Calvet et al, 2008]. D'autres indices sont mis en évidence par la paléontologie, à partir des faunes localisées dans les karsts des paléosurfaces topographiques [8, Calvet et al, 2008]. Des gisements ont été datés à 17-10Ma sur le plateau de Castelnou et Tautavel . En complément de ces observations, des datations par thermochronologie basse température (traces de fission sur apatite) ont permis de mettre en évidence des âges de dénudation [8, Calvet et al, 2008]. A partir d'échantillonnages effectués sur différentes surfaces aplanies à différentes altitudes, les résultats de ces datations donnent des âges de dénudation entre 30-25 Ma. De même les résultats de Denèle [2007][11] sur l'âge d'exhumation sur apatite (et zircon) du massif de l'Aston ont mis en évidence des âges de 32 à 40 Ma. La mise en place de ces surfaces d'aplanissement serait estimée postérieur à 20-25Ma. Dans leur travail, Wyns et al [2003] [22] montrent que deux principales périodes ont pu être favorables au processus d'altération en France : comme le Crétacé Inférieur associé aux bauxites des Pyrénées et le Tertiaire comprenant les intervalles du Paléocène à l'Eocène moyen, associé à l'altération dans le Massif Central et du Miocène supérieur à l'actuel . Une des questions fondamentales conditionnant ce stage, est de savoir si la datation de minéraux dits supergènes tels que la goethite dans les profils d'altération pourrait donner un âge de mise en place de ces surfaces dans nos deux zones d'études.

2.4 Mécanisme d'altération et profils d'altération

2.4.1 Mécanisme général du processus d'altération

Le processus d'altération consiste en une dégradation physique et chimique de la roche mère, par fracturation et transformation de la roche, à l'aide de processus chimiques tels que l'hydrolyse. L'hydrolyse va dégrader la roche par l'intermédiaire de protons amenés par les eaux de pluie. De cette façon certains éléments les plus solubles des minéraux primaires (K, Ca, Na...) vont être entraînés en solution. Les éléments chimiques les plus résistants vont permettre la néoformation de minéraux secondaires. C'est ainsi que la biotite de par sa composition en fer formera des hydroxydes de fer tels que la goethite. Les feldspaths aussi par hydrolyse vont s'altérer et donner des argiles (kaolinite, smectites, illites). Un autre processus induit une dégradation de la roche c'est l'hydratation. Le processus d'hydratation peut induire un gonflement de certains minéraux par l'infiltration de l'eau dans leur feuillet (exemple : micas). Ce gonflement peut désolidariser les grains de la roche et la fissurer permettant aux agents climatiques et biologiques se s'infiltrer rapidement dans la roche et donc faciliter l'altération [5, BRGM, 2012]. Dans le granite tous les éléments ne s'altèrent pas. C'est le cas du quartz que l'on retrouve dans le sable des arènes granitiques qu'il compose essentiellement . Ce qui n'est pas le cas du feldspaths et de la biotite (micas noir).

2.4.2 Description d'un profil d'altération sur les formations de socle

Les formations de socle sont considérées comme étant des unités aptes à développer un bon profil d'altération. Les granites sont connus pour leur dureté, cependant ils sont tout de même vulnérables aux processus d'altération. C'est d'ailleurs sur les granites que l'on observe les meilleurs marqueurs de l'altération. La figure 2.5 représente le modèle conceptuel d'un profil d'altération, sur les formations de socle, présentant trois horizons d'altération indiquant l'évolution croissante du degré d'altération de la base vers le sommet [21, Wyns, 2010].

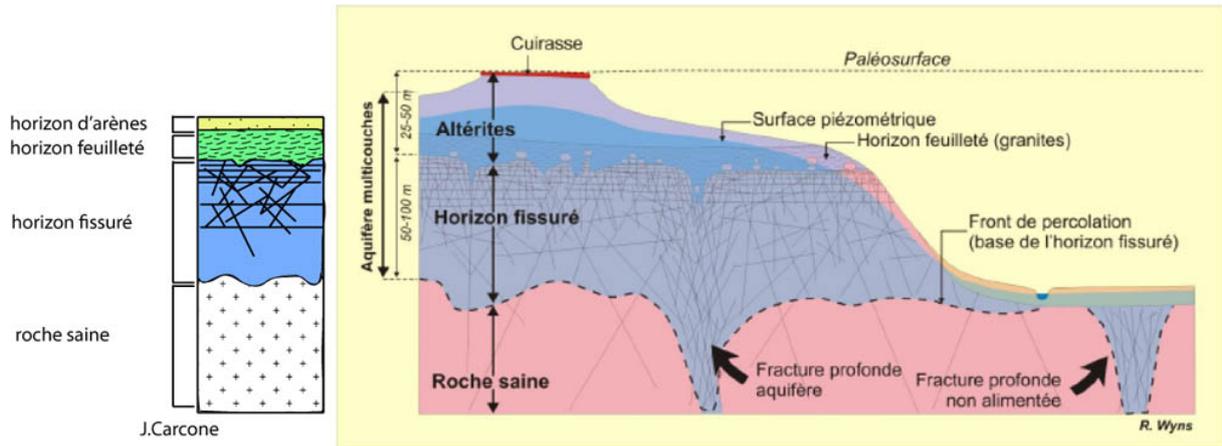


FIGURE 2.5 – Droite : Modèle conceptuel de la structure des aquifères de socle [21, Wyns, 2010]. Gauche : ma convention graphique.

La base du profil est constituée par un horizon de roche saine faiblement altérée au sein de laquelle se développe un horizon fissuré (Figure 2.6). Dans cet horizon la roche garde sa structure et sa dureté. Cependant elle développe des fissures horizontales parallèlement à la surface d'altération [22, Wyns et al, 2003] plus ou moins ouvertes (espacement décimétrique à plurimétrique) dont la fréquence augmente vers le sommet de l'horizon (Figure 2.5). Ces fissures sont issues du processus d'altération en réponse au gonflement des biotites dans les premiers stades de l'altération [22, Wyns et al, 2003].



FIGURE 2.6 – Horizon fissuré inférieur sur le granite de Bassiès dans vallée de Vicdessos en Ariège [Photo Carcone, 2014]

L'horizon fissuré est surplombé par des altérites, composées d'un horizon feuilleté et d'un horizon d'arènes. Le degré d'altération est nettement plus fort que dans l'horizon fissuré et il augmente du feuilleté aux arènes. L'horizon feuilleté présente une roche très altérée sur laquelle on observe encore la texture de la roche. On retrouve de la fracturation dont les fractures plus ou moins ouvertes et fines sont héritées de l'horizon fissuré (Figure 2.7(a)). Au dessus de l'horizon feuilleté on passe à l'horizon d'arènes (Figure 2.7(b)). On peut distinguer deux niveaux d'arènes suivant le degré d'altération, l'un plus sableux à la base et l'autre plus argilo-sableux au sommet dont l'absence de minéraux primaires indique la kaolinisation des feldspaths et la chloritisation des biotites. La dominance argilo-sableuse de ces arènes induit une porosité importante et une perméabilité relativement faible.



FIGURE 2.7 – (a) Gauche : Horizon feuilleté avec boules de granite peu altérées et fissures héritées de l’horizon fissuré (vallée du Louron) [Photo Carcone , 2014] , (b) Droite : Affleurement d’altérites argileuses avec galets de granite altérés (vallée du Louron) [Photo Carcone , 2014]

Concernant les épaisseurs des horizons d’altération, Wyns [2010] [21] propose sur son modèle conceptuel, des proportions qui sont de 50 à 100m d’horizon fissuré (2/3 de l’ensemble) et de 25-50m pour les altérites (1/3 de l’ensemble). Cependant ces épaisseurs peuvent-être variables d’un endroit à l’autre ce que nous avons pu voir aux travers de nos observations de terrain. La description des horizons d’altération observés dans nos deux zones d’études sera précisée dans les parties 4.3.1 et 5.3 de ce rapport.

2.4.3 Profils d’altération et potentiels aquifères

Dans ces profils d’altération, les fissures de l’horizon fissuré, rendent l’horizon plus poreux et perméable dans lequel l’eau s’accumule. Il a été estimé que 85 à 90% de la réserve en eau se localise dans le sommet de l’horizon fissuré. Les altérites meubles ayant une forte porosité et une perméabilité plutôt faible, vont pouvoir aider dans le captage de cette eau [5, BRGM, 2012]. L’aptitude des roches à développer un aquifère dépend de la composition minéralogique, de la texture (présence et taille de minéraux gonflants) et des caractéristiques structurales permettant la préservation des profils d’altération au cours du temps. Mais aussi l’âge de l’altération car un minimum de 10 Ma est requis pour développer un profil d’altération. Les roches cristallines plutoniques (granites) et métamorphiques (gneiss, schistes, micaschistes) sont caractérisées par des ressources souterraines en eau associées à leur profil d’altération (Figure 2.5). Le granite reste l’unité lithologique la plus apte à abriter un potentiel aquifère important par sa grande quantité en biotite. Un des objectifs de ce stage aura été d’observer sur le terrain ces horizons d’altération et les sources en eau éventuelles, pour aider dans la caractérisation des aquifères dans le cadre du projet Potapyr.

Chapitre 3

Matériel et méthode

Mon stage s'est construit au travers de diverses étapes : bibliographie, traitement de SIG (système d'information géographique) et de MNT (modèles numériques de terrain), cartographie des surfaces d'aplanissement, terrain, analyse des échantillons par microscope et diffraction des rayons X.

L'étude bibliographique approfondie, s'est faite au travers de nombreux articles et thèses répertoriés à la fin de ce rapport ; portant sur les recherches qui ont été faites sur les surfaces aplanies dans les Pyrénées, mais aussi sur l'altération et l'histoire géologique des Pyrénées.

Le traitement de MNT s'est fait sous le logiciel GRASS GIS. Je suis partie sur la base de trois MNT dont celui de Andorre à résolution de 5m en Lambert zone II [IEA¹] celui de la Catalogne à résolution de 50m en projection UTM 31[ICGC²] et celui des Pyrénées françaises en Lambert 93 [IGN³]. A partir de la superposition de ces MNT, dont les projections ont été converties dans un même système de coordonnées en Lambert 93 (projection de la France métropolitaine), j'ai assemblé le MNT à la résolution de 50m des Pyrénées (Figure 3.1). Ce MNT des Pyrénées constitue la base de mon travail. Nous avons tout d'abord choisi de réaliser une analyse de pente sur l'ensemble du massif pyrénéen, de façon à ne faire ressortir uniquement les topographies planes caractérisées par des pentes inférieures à 10° que l'on peut considérer comme caractéristiques des surfaces d'aplanissement (Figure 3.2). Cette valeur a été choisie à partir des données de Babault et al [2005] [2] et de celles de Calvet et al [2006] [7].

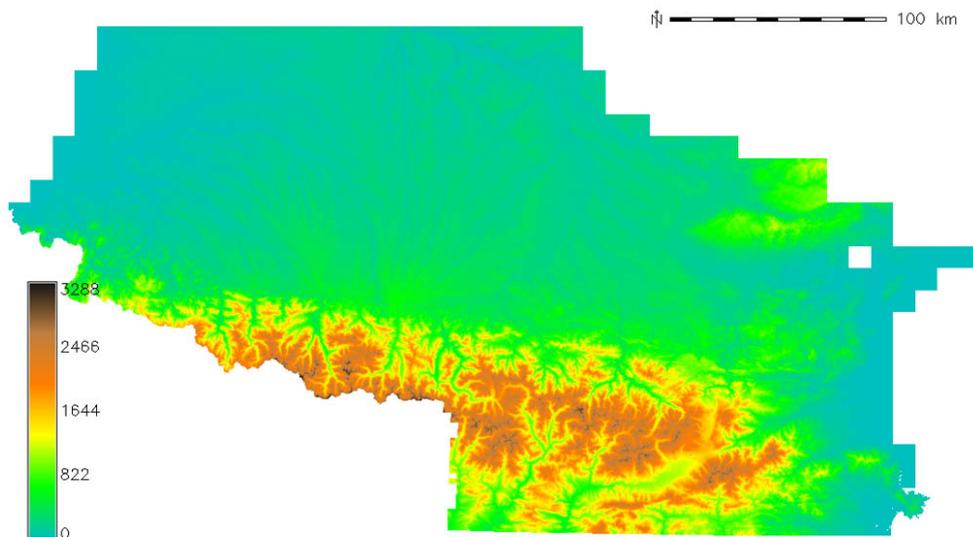


FIGURE 3.1 – Modèle numérique de terrain des Pyrénées en Lambert 93 à la résolution de 50 m [MNT Carcone, 2014]. L'échelle de couleur indique les variations d'altitudes du relief.

-
1. Institut d'Estudis Andorrans
 2. Institut Cartografic I Geologic de Catalunya
 3. Institut national de l'information géographique

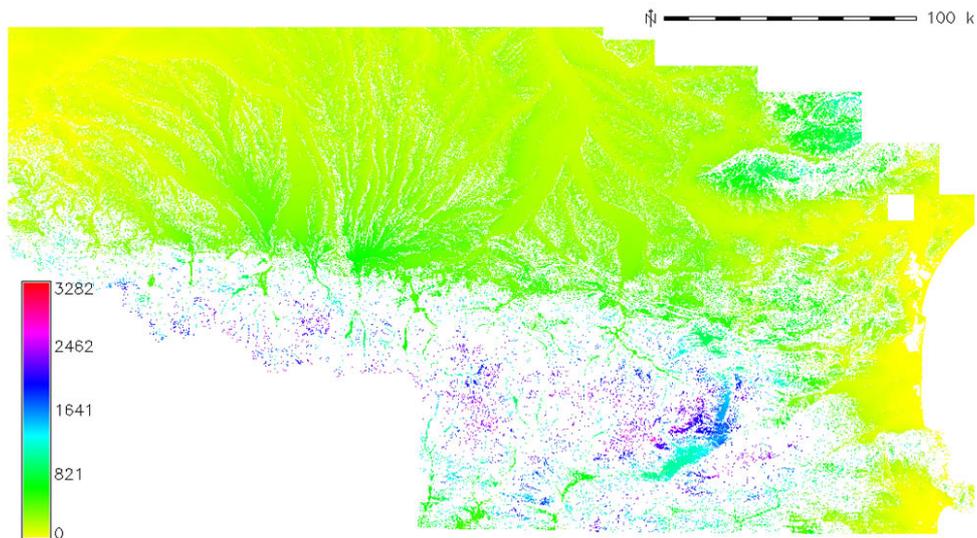


FIGURE 3.2 – Analyse de pente sur le MNT des Pyrénées en Lambert 93 à la résolution de 50m [MNT Carcone, 2014]. Les zones qui ressortent sur cette carte et dont l'altitude est indiquée par l'échelle de couleur, correspondent à des topographies de pente inférieure à 10°

Divers autres traitements ont été faits à partir du MNT des Pyrénées, tels que la construction de lignes de niveau avec un intervalle de 100m, la mise en place d'un ombrage ayant servi à la création d'une carte géomorphologique de l'Aston en Ariège qui sera présentée dans la partie V de ce rapport. Nous avons également créé une modélisation hydrologique par analyse des bassins versants pour définir les drains majeurs (paramètres : taille minimum du bassin versant= 2000 m, longueur maximale d'un drain= 100).

La cartographie des surfaces d'aplanissement dans les zones de Bordères-Louron et de l'Aston a été faite sous le logiciel Arcgis à partir du MNT sur lequel nous avons réalisé une analyse de pente (Figure 3.2), des photos aériennes et des cartes faites par Delmas [2009] [9] et Calvet [1996] [6].

Le terrain s'est organisé autour de 14 journées réparties sur l'ensemble des 6 mois de stage (Figure 3.3). Ce terrain fut encadré par Vincent Regard et Bernard Monod dans son ensemble. Nous avons été assistés par Robert Wyns spécialiste des processus d'altération pendant trois jours. Les données de terrain regroupant les observations, l'échantillonnage, les photos et les position GPS ont été répertoriées selon la norme RGF. Les données sont en annexe 3 et 5 de ce rapport. Leur utilisation aura permis de cartographier les horizons d'altération et seront exploitées dans le cadre du projet PotaPyr.

Localisation du terrain	dates du terrain	encadrants	Altitude maximale de la journée (mètres)
Arreau	06/03/2014	V.Regard, B.Monod, R.Wyns	1121
Arreau	07/03/2014	V.Regard, B.Monod, R.Wyns	1084
Arreau	27/03/2014	V.Regard	1116
Arreau	03/04/2014	V.Regard	1330
Arreau	07/04/2014	V.Regard, B.Monod	1460
Arreau	08/04/2014	V.Regard, B.Monod	1740
Arreau	14/04/2014	V.Regard, B.Monod	1297
Foix	22/04/2014	B.Monod	621
Aston	22/05/2014	V.Regard	1809
Aston	05/06/2014	V.Regard	1874
Aston	18/06/2014	B.Monod	1515
Aston	27/06/2014	V.Regard, B.Monod, R.Wyns	1930
Aston	09/07/2014	V.Regard	1592
Aston	17/07/2014	V.Regard, B.Monod	1895

FIGURE 3.3 – Tableau récapitulatif des journées de terrain

Les observations macroscopiques ont été faites à partir d'échantillons prélevés dans l'horizon fissuré sur le massif de Bordères-Louron. Les signes d'altération au niveau des biotites nous ont poussé à réaliser des lames minces polies destinées à l'utilisation du microscope optique dans un premier temps (Figure 3.4(a)) et au microscope à lumière polarisée réfléchie dans un second temps (Figure 3.4(b)).

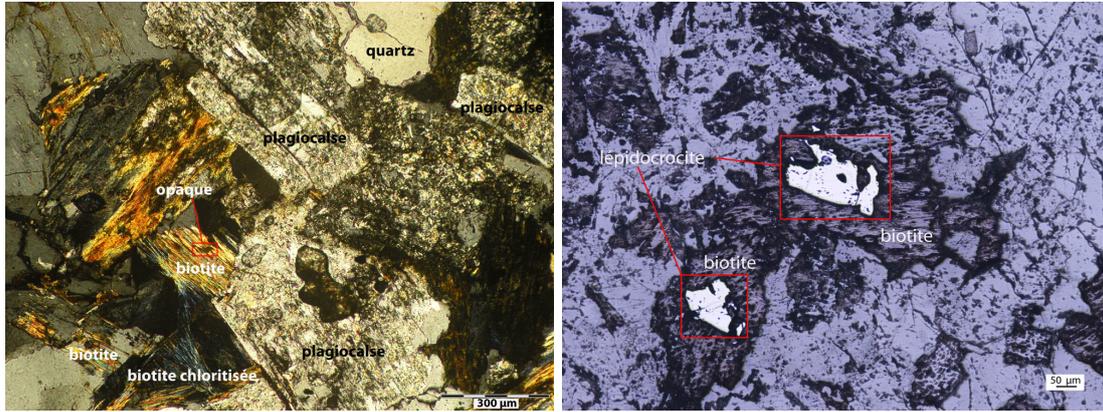


FIGURE 3.4 – (a) Gauche : Photo prise sous microscope optique à lumière polarisée d’une lame mince de granite à deux micas [Photo Carcone, 2014]. Les biotites montrent un degré d’altération fort et sont en voie de chloritisation. Quelques minéraux opaques sont visibles sur les clivages. Les feldspaths sont altérés et montrent des produits d’altération tels que des paillettes de micas. , (b) Droite : Photo prise sous microscope optique à lumière polarisée réfléchie d’une lame mince de granodiorite [Photo Carcone, 2014]. Au centre des biotites se place des minéraux à bon pouvoir réflecteur pouvant-être de la lépidocrocite.

D’autres analyses par la méthode de diffraction aux rayons X, ont été faites pour l’identification des différentes phases minérales, sur les mêmes échantillons observés sous microscope. Pour cela j’ai tout d’abord réalisé un broyage des échantillons, afin de garder une fraction inférieure à 500 microns. Le principe de cette méthode est d’envoyer un rayon X sur cette fraction, pour mesurer l’intensité du rayon X renvoyé par l’échantillon selon certaines directions, par un détecteur qui tourne autour de celui-ci. A partir des mesures on obtient un diffractogramme (Figure 3.5) avec des pics de diffraction qui, suivant l’intensité et la position des pics, permettront d’identifier les phases minérales au travers d’une base de données.

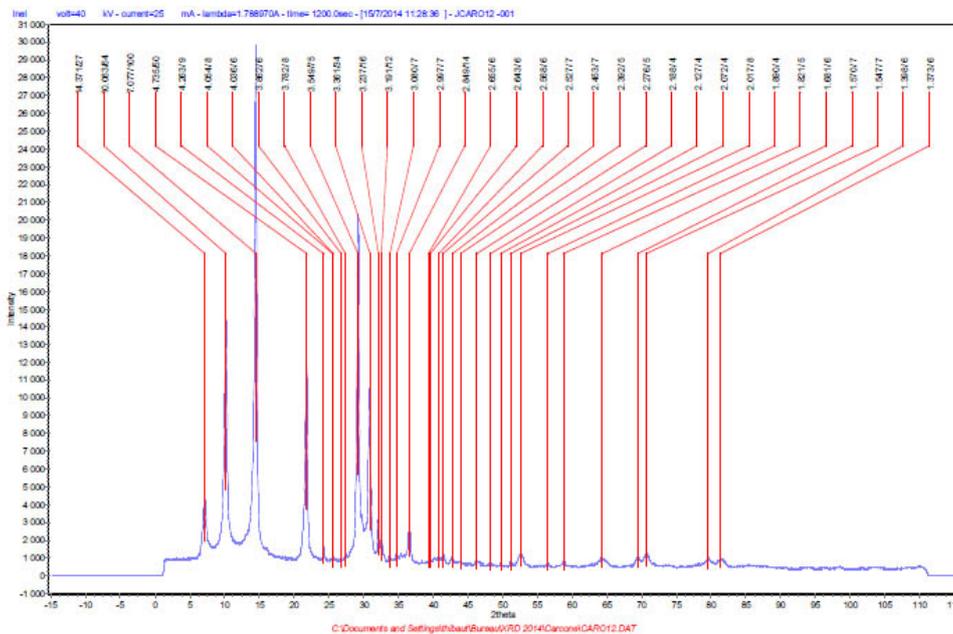


FIGURE 3.5 – Type de diffractogramme obtenu par diffraction aux rayons X

Chapitre 4

Etude des surfaces d'aplanissement du pluton de Bordères-Louron

4.1 Contexte géologique et géomorphologique

La zone de Bordères-Louron est située dans les Pyrénées Centrales au sud-est de Tarbes. La ville de Arreau se situe à la confluence entre deux vallées d'orientation nord-sud : la vallée du Louron et la vallée d'Aure alimentées respectivement par la Neste du Louron et la Neste d'Aure (Figure 4.1). Sur le plan géomorphologique la zone montre au sud des reliefs abrupts, à pentes raides, dont les altitudes dépassent les 2000m (Figure 4.2), disséqués par l'érosion et par les glaciations quaternaires. Plus au nord les reliefs montrent des altitudes plus modérées et à pentes douces, à proximité des villes de Bordères-Louron et Arreau (Figure 4.2). Ces reliefs sont majoritairement dominés par des surfaces aplanies formant les crêtes (Figure 4.1).



FIGURE 4.1 – Vue d'ensemble vers le sud de la vallée d'Aure et la vallée du Louron [image google earth]

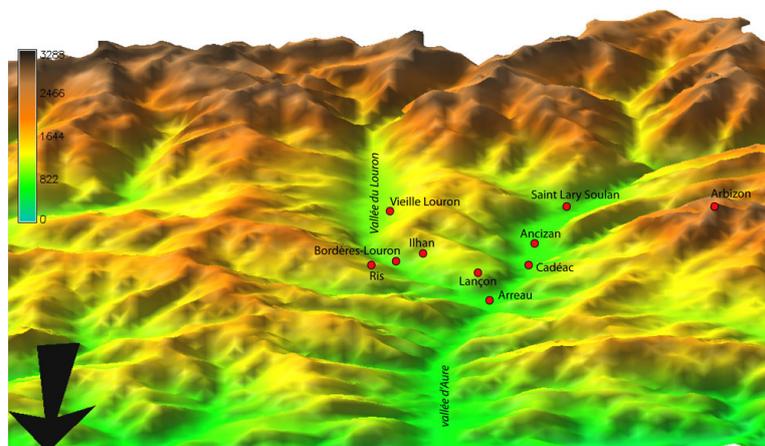


FIGURE 4.2 – MNT en 2D à résolution de 50m de la vallée d'Aure et de la vallée du Louron [MNT Carcone, 2014]. L'échelle de couleur indique la distribution des altitudes et la flèche noire indique le nord

Dans les vallées, la présence de dépôts glaciaires morainiques du stade d'extension glaciaire maximum (Würm) et la morphologie en auge de la vallée du Louron, indiquent la présence d'anciens glaciers au quaternaire. Les reliefs d'altitude élevée dépassant 2000m ont pu favoriser l'accumulation de neige et donc la formation de glaciers. La ligne d'équilibre glaciaire a été estimée aux alentours de 1500m [4, Notice Arreau, 1982]. Les glaciations ont été cependant d'étendue limitée même au cours du dernier maximum glaciaire car dans les vallées les glaciers n'auraient pas dépassé les villes de Arreau et Bordères-Louron [4, Notice Arreau, 1982]. Sur le plan géologique le substratum est constitué de formations paléozoïques (Carbonifère, Ordovicien) de type grès, schistes, pélites et calcaires. Ces formations sont recoupées au sud de la ville d'Arreau par le granitoïde de Bordères-Louron et au nord par le granite de la Barousse. Le massif de Bordères-Louron est un pluton de composition granitique, constitué d'une série de faciès emboîtés, en forme concentrique (Figure 4.3). Ses caractéristiques vont varier du centre, vers la périphérie, en passant du granite à deux micas au granite à monzonite, puis à la granodiorite, au gabbro quartzitique, granogabbro et gabbro [13, Forghani, 1964]. C'est au cours de la mise en place de ce pluton que la série sédimentaire paléozoïque encaissante, va subir un métamorphisme de contact et être déformée, plissée selon un axe est-ouest.

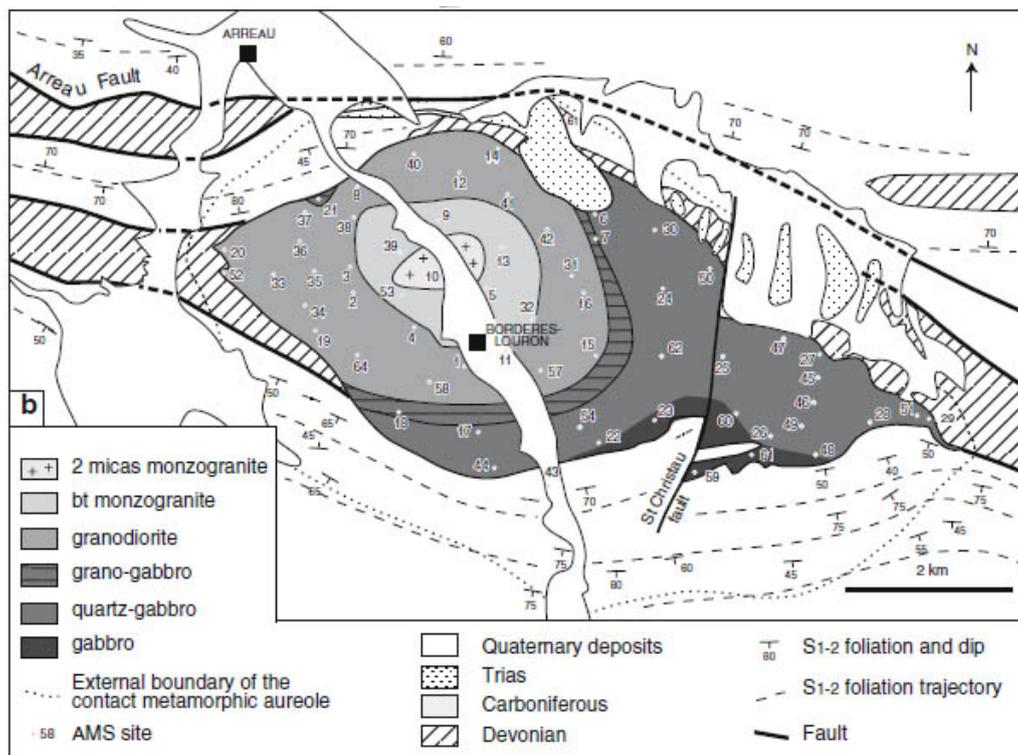


FIGURE 4.3 – Schéma structural du pluton de Bordères-Louron [14, Gleizes et al,2006]

4.2 Cartographie et observations des surfaces d'aplanissement

La figure 4.4 ci-dessous représente la cartographie détaillée des surfaces d'aplanissement, dans la zone d'étude, sur le fond géologique harmonisé du BRGM. Ces surfaces ont été classées suivant les mêmes critères établis en Ariège mentionnés dans la partie 2.3.2 [9, Delmas ,2009].

La figure 4.4 montre dans l'ensemble des surfaces suivant une orientation générale allant de N-S à NW-SE, hormis quelques exceptions au niveau du col d'Aspin et Saint-Lary Soulan. Elles se répartissent aussi bien sur les formations granitiques que les formations paléozoïques encaissantes du type pélites, grès et calcaires, que mésozoïques, sur des formations triasiques de type grès, poudingues, et argilites (Figure 4.4). Il est d'ailleurs possible d'observer une surface de 500m de large sur ces dernières au nord-est du pluton de Bordères-Louron, près du village de Ris (Figure 4.5).

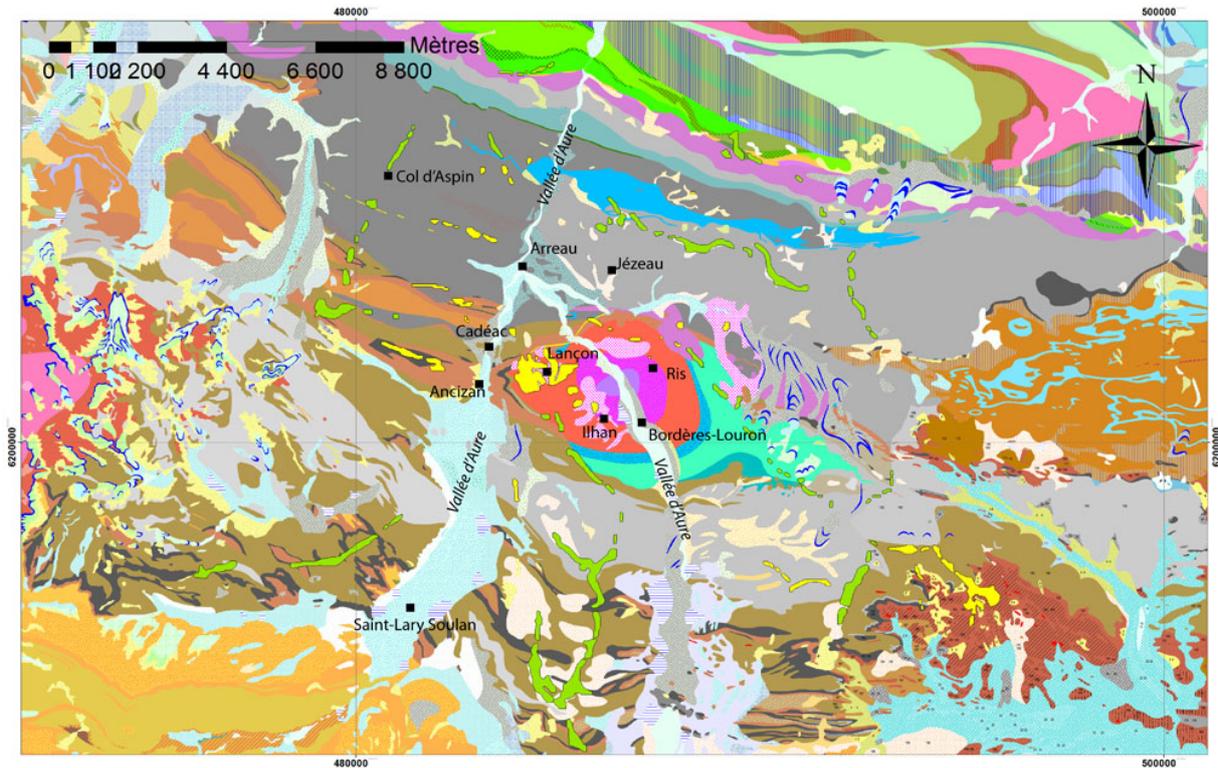


FIGURE 4.4 – Cartographie des surfaces d’aplanissement (figurés jaunes et verts) sur le massif de Bordères-Louron et sur les formations paléozoïques. Le fond géologique correspond à la carte géologique harmonisée des Hautes-Pyrénées du BRGM. La légende de la carte est en annexe 1 à la fin de ce rapport.



FIGURE 4.5 – Surface aplanie à 1185m proche du village de Ris sur des formations du Trias [Photo Carcone, 2014]

Au travers des observations de terrain et des photos aériennes, deux niveaux de surfaces planes ont été mis en évidence. On distingue des surfaces culminantes formant les crêtes des reliefs, à des altitudes comprises entre 1300 et 2000m (Figures 4.6 et 4.7). D’autres surfaces d’altitude plus basse et d’étendue plus restreinte, sont comprises entre 1100 et 1200m d’altitude (Figure 4.7). Les surfaces culminantes sont bien préservées et s’étendent sur plusieurs kilomètres. Elles se situent sur les formations paléozoïques dans les hauteurs des villes de Jézeau, Barrancoueu, au col d’Aspin ainsi qu’au sud du pluton (Figure 4.4). Les surfaces de plus basse altitude sont présentes sur les formations paléozoïques au-dessus des villes de Cadéac et Arreau (Figure 4.6) et sur le granite au niveau des villages de Lançon, Ilhan (Figure 4.8) et Ris. La disposition de ces deux niveaux de surface sur le granite, montre que de chaque côté de la vallée du Louron, on retrouve des surfaces à des altitudes similaires comme celles du village de Lançon et de la Chapelle Notre Dame Des Neiges, toutes deux situées à 1124m d’altitude (Figure 4.7). Les villages de Ilhan et Ris se situent également à la même altitude autour de 1100m.

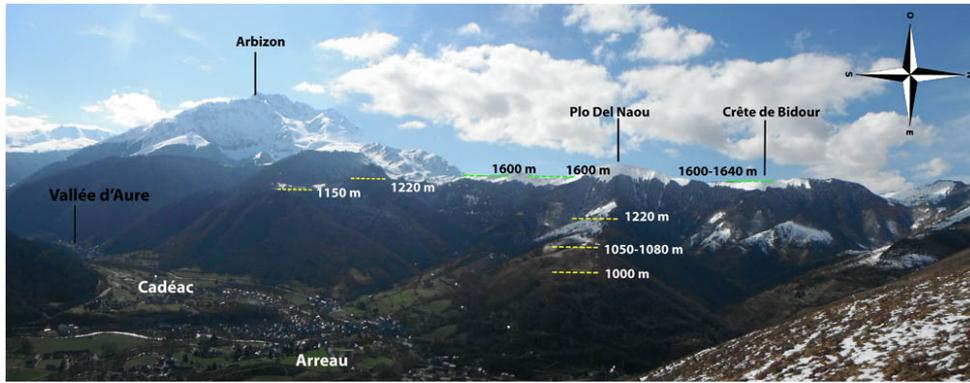


FIGURE 4.6 – Panorama depuis le village de Jézeaux en direction de l’ouest [Photo Carcone, 2014]. Il met en évidence les deux niveaux de surface (lignes pointillées) avec celles culminantes ici autour de 1600m et celles plus basse entre 1000 et 1220m.

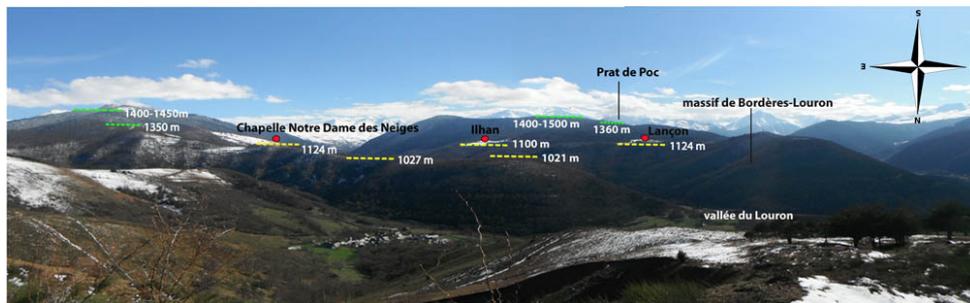


FIGURE 4.7 – Panorama depuis le village de Jézeaux en direction du sud sur le massif de Bordères-Louron [Photo Carcone, 2014]. Le granite montre des pentes émoussées mettant en évidence deux niveaux de surface d’aplanissement (en lignes pointillées).

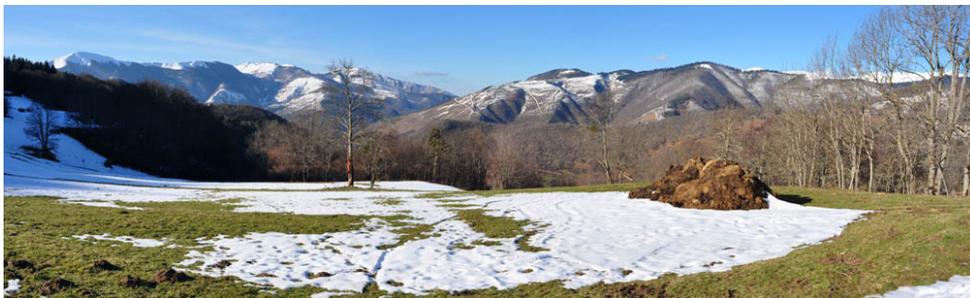


FIGURE 4.8 – Surface aplanie proche de Ilhan sur le massif de Bordères-Louron [Regard, 2014]

4.3 Observations sur les horizons d’altération et interprétations.

4.3.1 Description des horizons d’altération

Sur le terrain, nous avons effectué des observations sur le pluton de Bordères-Louron ainsi que sur les lithologies paléozoïques encaissantes pour rechercher les signes de l’altération. L’altération sur le granite est prononcée et l’on retrouve les différents niveaux décrits dans la partie 2.4.2 (Figure 2.5). En revanche, l’altération sur les terrains paléozoïques est très peu marquée et se présente sous forme d’argiles sur les schistes. Sur le granite de Bordères-Louron la transition entre l’horizon fissuré et les arènes est progressive et passe par un état de feuilletage de la roche. Les affleurements mentionnés sont répertoriés dans l’annexe 3 à la fin de ce rapport.

L’horizon fissuré présente une roche plutôt saine et compétente sur l’ensemble des lithologies du pluton. Les fissures issues de l’altération sont plus ou moins ouvertes et sont par endroits basculées notamment du côté du village de Ris (Figure 4.9(a)). Quelques échantillons prélevés ont montré une altération au niveau des biotites millimétriques, avec des auréoles d’altération

ocres pouvant correspondre à une altération en goethite (Figure 4.9(b)). Ces signes d'altération sont nets sur le granite à deux micas au centre du pluton, mais un peu moins sur la granodiorite. Le passage entre l'horizon fissuré et les altérites est observable sur la route entre Bordères-Louron et Ris, dans la vallée du Louron, où un affleurement montre une roche avec une densité importante de fissures fines et où la texture de la roche est encore décelable (Figure 4.10).



FIGURE 4.9 – Gauche : Horizon fissuré basculé (affleurement 18) dans la granodiorite proche du village de Ris [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Echantillon de granite à deux micas avec biotites entourées d'une auréole d'altération [Photo Carcone, 2014]



FIGURE 4.10 – Limite entre horizon fissuré et horizon feuilleté (affleurement 52) [Photo Carcone, 2014]. La roche est très altérée mais on observe encore quelques fissures basculées héritées de l'horizon fissuré

L'horizon feuilleté montre un état d'altération plus prononcé, la roche se désagrège à coup de marteau sans difficulté. Par endroits on devine encore la structure de la roche ainsi que les fissures héritées de l'horizon fissuré (Figure 4.11). Cependant ces détails disparaissent à mesure qu'on monte dans le profil d'altération. Sur le plan minéralogique les feldspaths commencent à être bien altérés et sont en voie de kaolinisation. Les biotites sont aussi altérées, décolorées. Du côté du village de Lançon certains affleurements laissent apparaître des boules de roches saines entourées d'un feuilletage, ainsi que des filons de quartz encore compétents du fait de la faible altérabilité du quartz (Figure 4.12(a) et 4.12(b)).



FIGURE 4.11 – Horizon feuilleté (affleurement 43) avec fissures issues de l'altération et héritées de l'horizon fissuré [Photo Carcone, 2014]



FIGURE 4.12 – (a) Gauche : Horizon feuilleté (affleurement 10) avec filons de quartz compétents [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Horizon feuilleté fracturé (affleurement 39) avec une boule de granite peu altérée, entourée d'un feuilletage [Photo Carcone, 2014]

Les horizons d'arènes laissent affleurer deux niveaux, dont l'un plus sablo-argileux issus de la désagrégation du granite en grains plus ou moins grossiers. Du côté de Lançon on a pu mettre en évidence des traces de matière organique dans ces niveaux d'arènes (Figure 4.13(a)). Le deuxième niveau montre une dominance argileuse de couleur marron à ocre dans lequel on ne retrouve pratiquement plus de minéraux primaires (Figure 4.13(b)). Les arènes constatées sur le pluton de Bordères-Louron sont à dominance argilo-sableuse du côté du village de Lançon (Figure 4.13(b)).



FIGURE 4.13 – (a) Gauche : Horizon d'arènes sablo-argileuses (affleurement 41) présentant de la matière organique [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Horizon d'arènes très argileuses (affleurement 9) indiquant le sommet du profil d'altération [Photo Carcone, 2014]

4.3.2 Description et observations des profils d'altération

La Figure 4.14 ci-dessous représente une carte montrant la répartition des surfaces d'aplanissement dans la zone de Bordères-Louron et des données de terrain sur les profils d'altération. Ces données permettent de visualiser la répartition des horizons d'altération. Celle-ci nous montre l'association des niveaux d'altération avec les surfaces d'aplanissement, comme par exemple la surface plane du village de Lançon placée sur des altérites (Figure 4.14). En revanche tous les horizons d'altération ne se trouve pas associés à une surface (Figure 4.14). C'est le cas au sud de Lançon, entre Ris et Ilhan et du côté du village de Jézeau. Ces horizons d'altération semble être les témoins d'anciennes surfaces d'aplanissement aujourd'hui érodées.

Des coupes sur le pluton de Bordères-Louron ont été réalisées pour observer la répartition des horizons d'altération dans la topographie et sur les différentes lithologies (Figure 4.15 et Figure 4.16). Les limites lithologiques ont été tracées selon celles de la carte géologique de Arreau. Les horizons d'altération ont été positionnés sur les coupes et identifiés selon un code couleur. Ces deux coupes d'orientation NW-SE (Figure 4.15) et NE-SW (Figure 4.16) nous montrent une variation de la position des horizons d'altération dans la topographie, sur l'ensemble des lithologies du pluton de Bordères-Louron. On observe que les surfaces d'aplanissement de Ilhan, Ris et Lançon sont associées à des horizons d'altérites. La surface à 1185m représentée sur la figure 4.16 est posée sur des formations du Trias sur lesquelles nous n'avons cependant observé aucune trace visible d'altération.

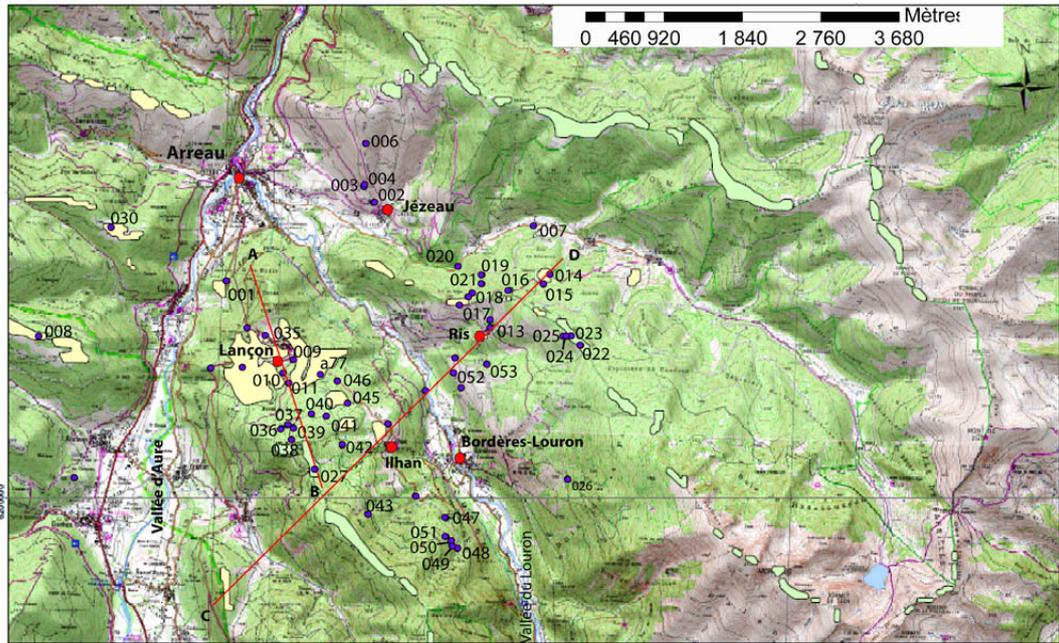


FIGURE 4.14 – Carte topographique au 1 :25 000 avec la répartition des surfaces d’aplanissement et des arrêts de terrain [Carte Carcone, 2014]. Les traits en rouge correspondent aux coupes AB (Figure 4.15) et CD (Figure 4.16)

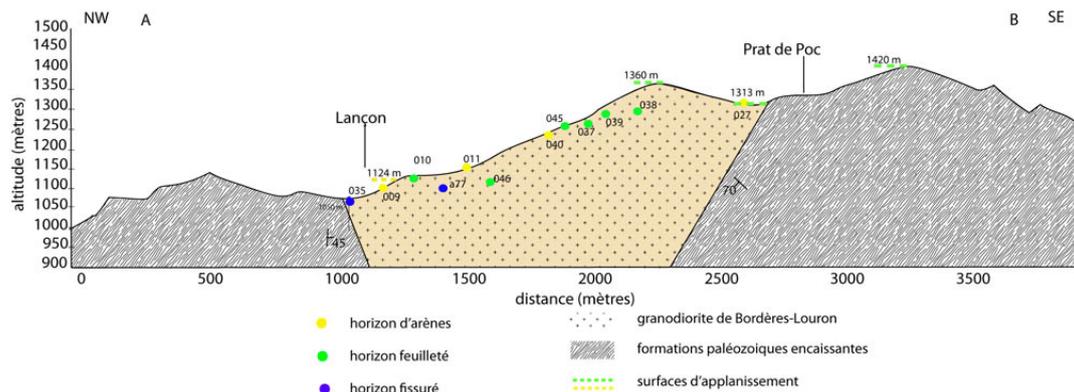


FIGURE 4.15 – Coupe AB sur la granodiorite de Bordères-Louron [Coupe Carcone,2014]

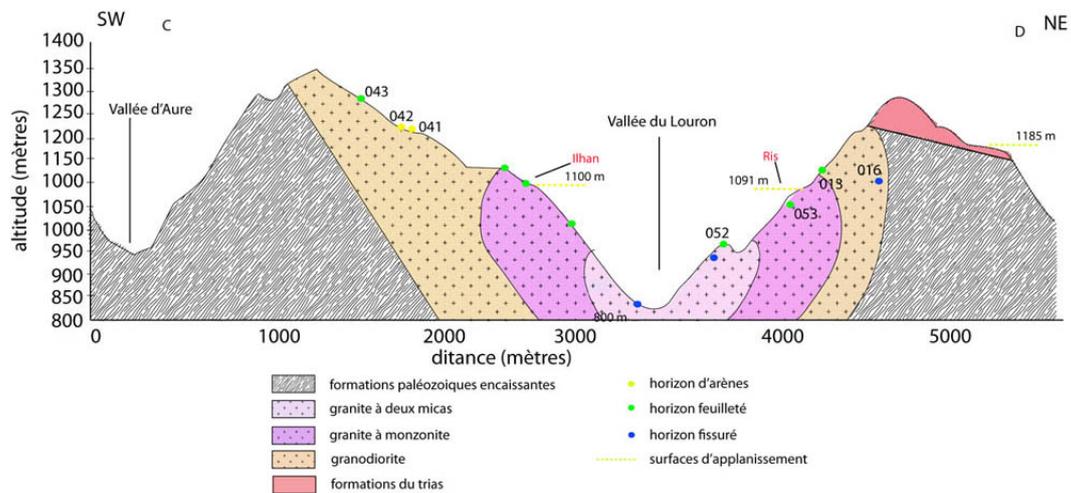


FIGURE 4.16 – Coupe CD sur le pluton de Bordères-Louron [Coupe Carcone,2014]

4.3.3 Interprétations au travers l'analyse des profils d'altération

A partir des observations reportées sur les coupes AB et CD précédentes nous avons essayé de reconstruire les profils d'altération en interprétant les épaisseurs de chaque horizon. Ainsi nous avons déterminé une épaisseur moyenne d'arènes de 20m à partir des points 045 et 011 et 40m de feuilleté à partir des points 010, 045, 046 et a77 (Figure 4.14). Les barres d'erreurs sont de +/- 10m, car à la fois il est délicat de se positionner précisément dans les horizons feuilletés et d'arènes et à la fois les limites des horizons ne sont pas régulières. La limite inférieure de l'horizon fissuré peut-être estimée en considérant le rapport de 2/3 entre l'horizon fissuré et la totalité de la zone altérée d'après et Wyns [2010] [21].

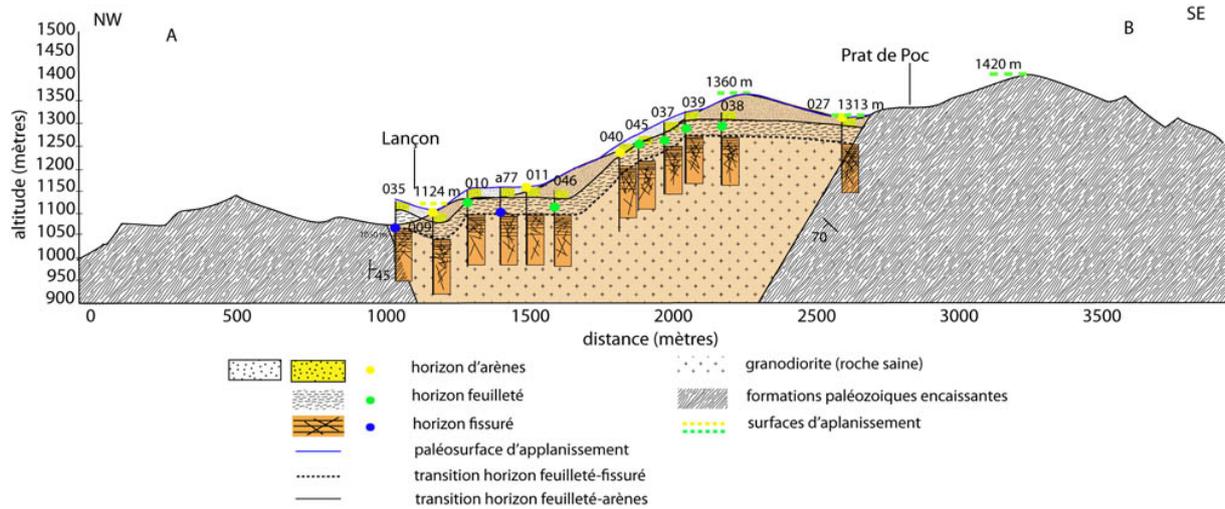


FIGURE 4.17 – Coupe AB interprétative sur la granodiorite de Bordères-Louron [Coupe Carcone, 2014]

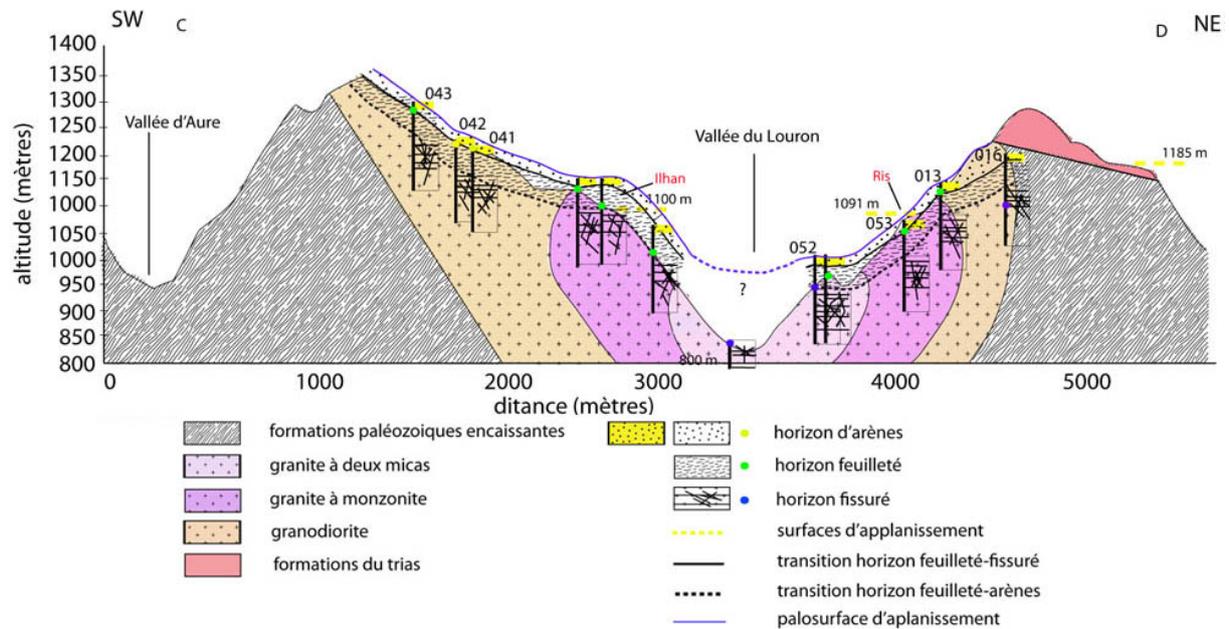


FIGURE 4.18 – Coupe CD interprétative sur le pluton de Bordères-Louron [Coupe Carcone, 2014]

Les figures 4.17 et 4.18 présentent les coupes interprétatives à partir des observations précédentes. La reconstruction des profils d'altération par l'estimation des épaisseurs montre que dans l'ensemble les profils ont été découpés ce qui est particulièrement le cas des altérites. Le décapage des profils d'altération permet d'avoir une idée de la part de l'érosion sur la dissection des surfaces aplanies et l'évolution du relief. Dans l'hypothèse d'une paléo-surface généralisée l'estimation du sommet des arènes pourrait permettre d'en évaluer la position (Figure 4.18 et

4.18) passant par les surfaces de Ris, Ilhan et Lançon.

Ces coupes interprétatives appuient les observations précédentes sur le décalage des horizons d'altération. A l'échelle de l'affleurement les observations sur l'horizon fissuré ont permis de mettre en évidence près du village de Ris (affleurement 18), une granodiorite très fracturée avec un basculement des fissures issues de l'altération de 30° vers l'est (Figure 4.19(a)). De même des plans de failles ont été observés dont l'un a été mesuré à $N156^\circ$ et de pendage 36° NE (Figure 4.19(b)). Le mouvement sur ces plans est senestre (Figure 4.19(b)). Ces plans de faille permettent de supposer le rôle de la tectonique dans le décalage des horizons d'altération au niveau de Ris. De même à proximité du village de Ris (chapelle Notre Dame Des Neiges) et dans les hauteurs, on observe l'horizon fissuré au contact des altérites indiquant un abaissement de ces dernières par rapport à l'horizon fissuré, appuyant ainsi l'hypothèse d'une faille normale. A proximité du village de Ilhan on retrouve aussi de l'horizon fissuré basculé mais aucun plan de faille n'a été observé (affleurement 49). Autour du village de Lançon, les observations sur les niveaux d'altérites particulièrement le feuilleté laisse entrevoir des fissures issues de l'altération et héritées de l'horizon fissuré basculées (affleurement 39) ainsi que d'autres fissures sécantes (affleurement 43). Ces fissures pourraient-être aussi des indices d'un jeu tectonique.

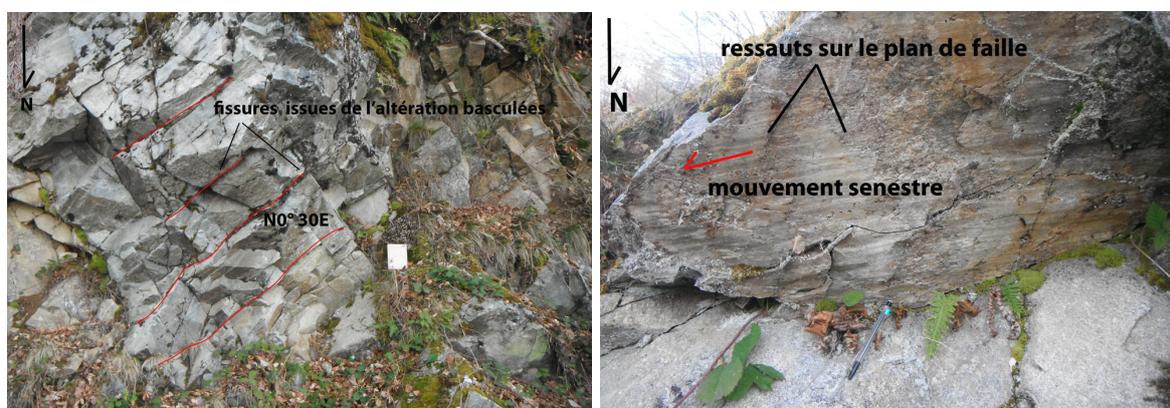


FIGURE 4.19 – (a) Gauche : Affleurement d'horizon fissuré montrant des fissures horizontales (surlignées en rouge) basculées de 30° (affleurement 18) [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Plan de faille dans l'horizon fissuré proche du village de Ris, d'orientation $N156^\circ$ et de pendage 36° NE marqué par des ressauts définissant un mouvement senestre [Photo Carcone, 2014]

4.3.4 Etude pétrologique approfondie de l'altération

Des lames minces ont été réalisées à partir d'échantillons prélevés dans l'horizon fissuré au centre du pluton de Bordères (JCAR012) sur le granite à deux micas et près du village de Ris (JCAR021 et JCAR026) sur la granodiorite. Les observations sur le granite à deux micas montrent une association de quartz, feldspaths, muscovite, et biotite (Figure 4.20(a)). Le degré d'altération semble fort vu que les feldspaths sont très altérés avec des produits de l'altération, tels que des paillettes de micas (Figure 4.20(a)). De même de nombreuses biotites sont altérées avec des accumulations de minéraux opaques le long de leurs plans de clivage (Figure 4.20(a)), certaines sont en voie de chloritisation. Pour le faciès granodioritique on voit une association de quartz, biotite, feldspath et amphibole (Figure 4.20(b)). On constate une diminution du pourcentage en quartz et une augmentation du pourcentage en biotite. Le degré d'altération semble un peu plus faible que pour le granite à deux micas, avec des biotites et des feldspaths un peu moins altérés (Figure 4.20(b)). On ne retrouve quasiment plus de muscovite, mais on voit apparaître de l'amphibole.

Les biotites altérées sur l'ensemble des lames minces comportent des minéraux opaques. Ces minéraux se placent tous à l'intérieur des biotites contrairement à ce qu'on attendait compte tenu des auréoles d'altération observées macroscopiquement. Ces opaques ont été analysés en lumière polarisée réfléchie (Figures 4.21(a) et 4.21(b)). Les observations révèlent des minéraux à pouvoir réflecteur plus ou moins fort pouvant correspondre soit à de la goéthite soit à de la lépidocrocite. Certains d'entre eux dans le granite à deux micas au pouvoir réflecteur faible montrent des

zonations et pourraient correspondre à des goethites (photo 4.21(a)). Il est cependant difficile aux travers des lames minces de faire la différence entre goethite et lépidocrocite étant donné qu'ils possèdent la même formule ($\text{FeO}(\text{OH})$).

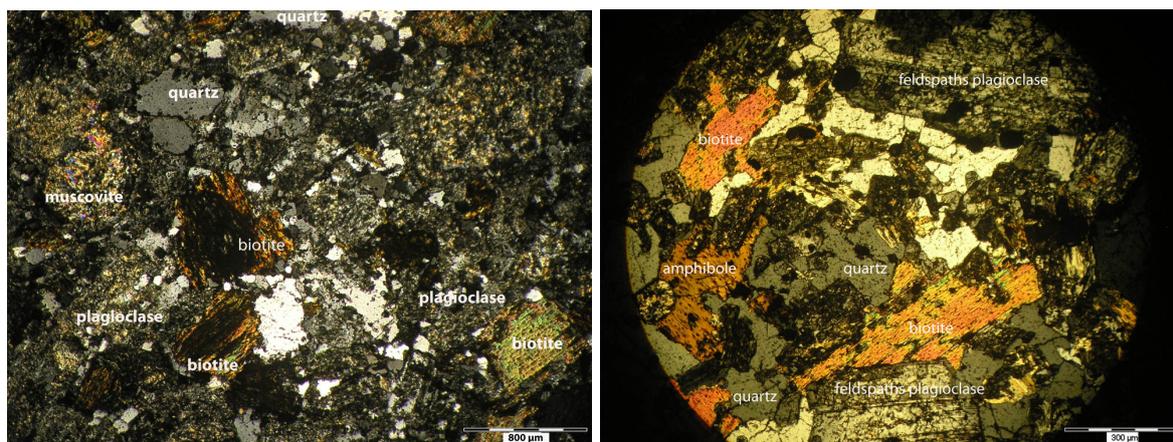


FIGURE 4.20 – (a) Gauche : Lame mince de granite à deux micas observée sous microscope optique en lumière polarisée, montrant une association de quartz, biotites, et muscovite [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Lame mince de granodiorite observée sous microscope optique en lumière polarisée, montrant une association de quartz, biotites, feldspaths plagioclase et amphibole [Photo Carcone, 2014]

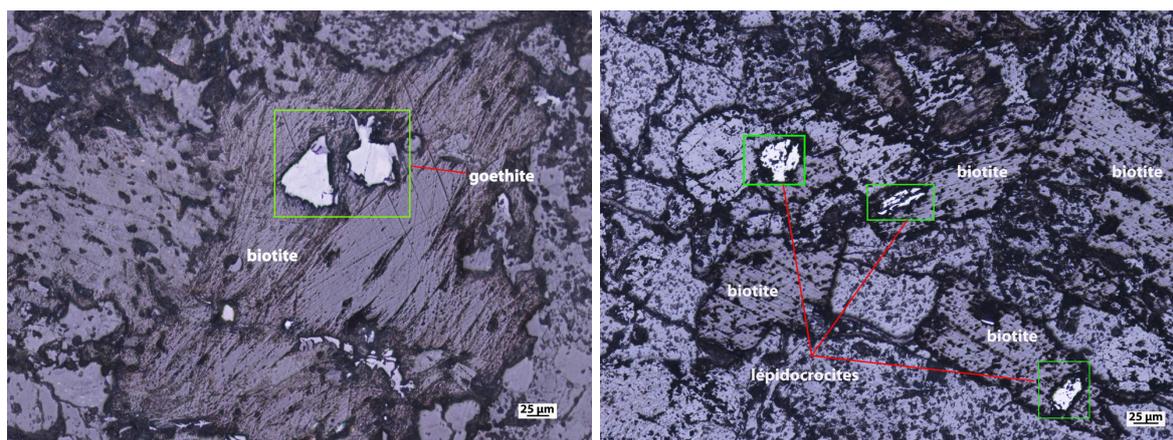


FIGURE 4.21 – (a) Gauche : Lame mince sous microscope optique à lumière polarisée réfléchi [Photo Carcone, 2014]. Cristaux de goethites avec zonation dans une biotite altérée. , (b) Droite : Lame mince sous microscope optique à lumière polarisée réfléchi [Photo Carcone, 2014]. Cristaux identifiés comme de la lépidocrocite à pouvoir réflecteur plus fort que la goethite à l'intérieur de biotites altérées

La datation de minéraux supergènes, tels que la goethite, issus de l'altération pourrait permettre par méthode (U-Th)/He de dater l'altération. Pour cela il est nécessaire que les minéraux soit de bonne taille, supérieure à 100 microns, et bien cristallisés pour permettre le piégeage de l'He produit par désintégration de U-Th dans le réseau cristallin et ainsi réduire les pertes. La lépidocrocite présente un système cristallin différent de la goethite et nous ne possédons que peu de données quand au pouvoir de piégeage de l'He, au contraire de la goethite. C'est ce qui nous a poussé à réaliser une analyse par diffraction aux rayons X sur les échantillons observés sous microscope, pour obtenir une identification des opaques. Les résultats ont permis de constater que les deux lithologies, présentent des diffractogrammes similaires avec des pics aux mêmes positions (Figure 4.22). Seule l'intensité change en fonction de la quantité de minéraux présents. Les échantillons étant très hétérogènes les intensités seront variables sur plusieurs analyses. Par une identification des pics au travers d'une base de données, les diffractogrammes ont mis en évidence des signaux nets de lépidocrocite sur l'échantillon de granite à deux micas. Concernant

la goethite, l'identification reste encore incertaine, car on observe un signal en décalage par rapport aux pics de diffraction (Figure 4.23). C'est pourquoi il serait intéressant de réaliser une séparation par liqueurs denses et ainsi être sûr de la présence de cristaux de goethites. Pour une question de temps ceci n'a pas pu être fait au cours de ce stage.

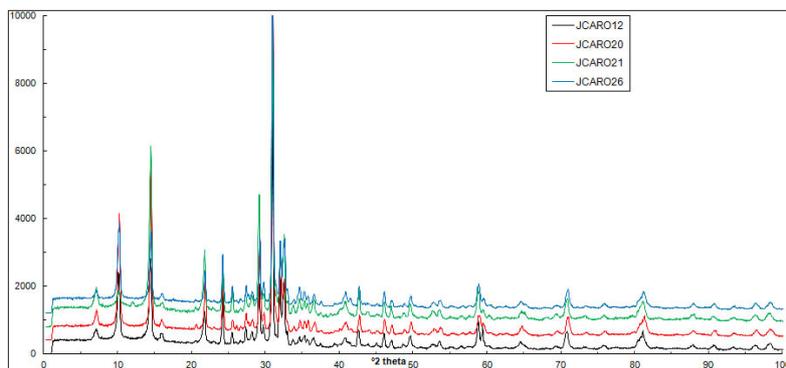


FIGURE 4.22 – Diffractogramme de comparaison entre les trois échantillons de granodiorite (JCAR021, JCAR020, JCAR026) et celui de granite à deux micas (JCAR012)

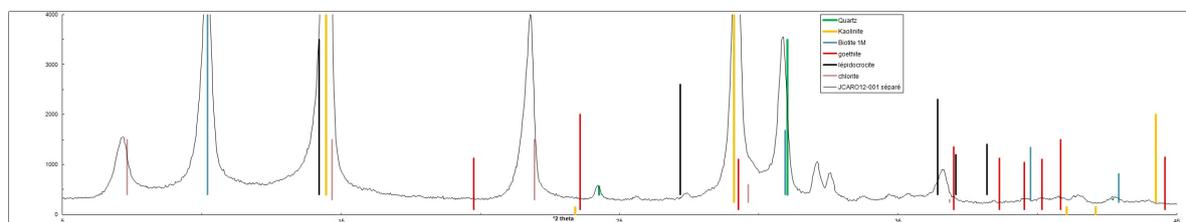


FIGURE 4.23 – Diffractogramme et identification des pics de diffraction pour le granite à deux micas

L'interprétation sur la reconstruction des horizons d'altération, amène à envisager le rôle de la tectonique dans le décalage des profils d'altération associée à un aplanissement généralisé. Ces failles supposées seraient alors postérieures au processus d'altération. Les observations pétrologiques sous lames minces, n'excluent pas le rôle de la lithologie dans l'intensité de l'altération. Cependant ces décalages sont observés aussi sur une même lithologie. L'âge de l'altération n'a pu être déterminé par méthode (U-Th)/He pour des questions de temps. Cependant des observations de terrain ont permis de mettre en évidence des galets de granite altérés et resédimentés dans le Trias (Figure 4.24). Ainsi on peut estimer un âge de l'altération antérieur au Trias. La disposition similaire des surfaces autour de la vallée du Louron, laisse des doutes quant à la présence de deux générations de surfaces planes ou bien d'une surface généralisée. La présence affirmée des glaciers au quaternaire dans la vallée du Louron, au travers des dépôts, ainsi que la répartition des surfaces aplanies autour de la vallée, indique que les glaciations tout comme l'érosion fluviale sont intervenus dans le décapage des profils d'altération.



FIGURE 4.24 – Affleurement (025) montrant des galets de granite altérés et resédimentés dans une matrice d'argilites du Trias [Photo Carcone, 2014]

Chapitre 5

Etude de la vallée de l'Ariège (cas du massif de l'Aston)

5.1 Contexte géomorphologie et géologique

Le cadre de l'étude se situe en Ariège au niveau des massifs de l'Aston et du Saint Barthélemy. Sur le plan hydrographique, l'Ariège est la rivière principale et ses affluents principaux sont le Siguer, le Vicdessos et l'Aston (Figure 5.1). Le relief est dominé principalement par des surfaces planes se positionnant le long des lignes de crête (Figure 5.1). D'autres reliefs plus abrupts au sud montrent des signes d'érosion par des versants fortement incisés ainsi que des morphologies glaciaires marquées par des cirques (Figure 5.1). La répartition des dépôts glaciaires montre l'emprise des glaciations quaternaires dans cette zone (Figure 5.1).

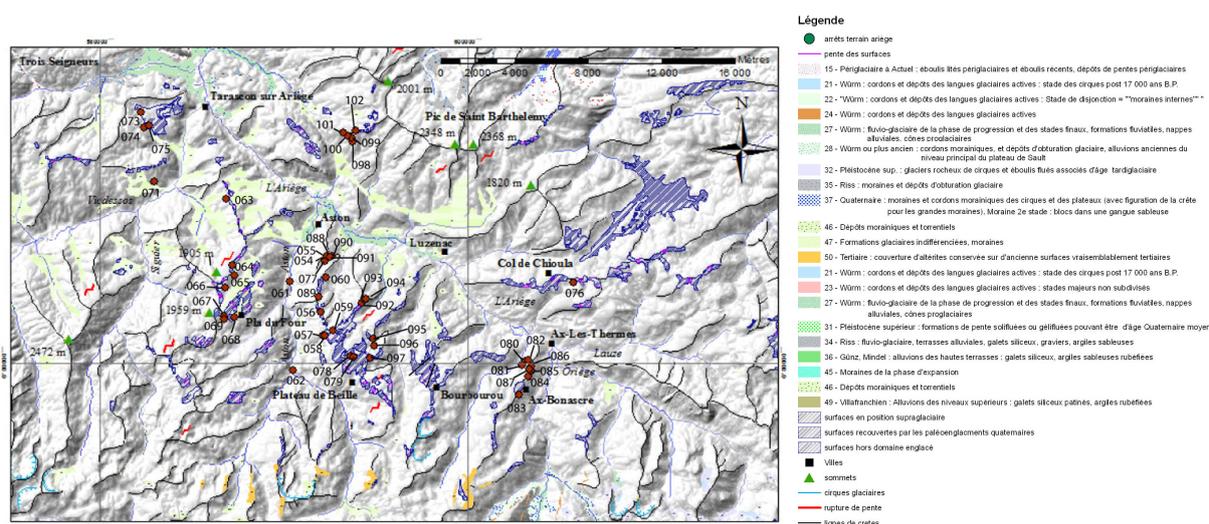


FIGURE 5.1 – Carte géomorphologique de la vallée de l'Ariège au niveau du massif de l'Aston et du Saint-Barthélemy [Carte Carcone, 2014]

Sur le plan géologique, la zone d'étude est marquée par des massifs anté-paléozoïques tels que le massif du Saint Barthelemy au nord et celui de l'Aston au sud [9, Delmas, 2009]. Le massif de l'Aston est d'allongement est-ouest, formé d'un noyau gneissique recoupé par des granites intrusifs péralumineux tels que le granite d'Ax-Les-Thermes (Figure 5.2). Il est séparé au sud du dôme gneissique de l'Hospitalet par la faille de Mérens. A proximité on observe les plutons granitiques de Bassiès à l'ouest, de Quérigut et du Mont Louis à l'est (Figure 5.2). La zone est constituée également d'une couverture post-hercynienne, affectée par le métamorphisme Pyrénéen. Elle affleure en bandes étroites et discontinues dans le bassin de Tarascon et la vallée de l'Ariège au voisinage de l'Aston et du Saint Barthelemy, mais aussi dans la vallée du Vicdessos entre le granite de Bassiès et le massif de l'Aston(Figure 5.2). Des migmatites métamorphisées sont au contact du granite du massif des Trois Seigneurs au NW et du massif de Bassiès à l'ouest [19, Notice Vicdessos, 1969]. Sur l'ensemble la zone est affectée par une tectonique importante, marquée par des systèmes de failles d'orientation principale NS-NNE à EW-ESE [19, Notice Vicdessos, 1969]. Dans la vallée de l'Ariège l'ensemble des accidents tectoniques constitue la grande faille nord-pyrénéenne d'orientation N100 ° (Figure 5.2).

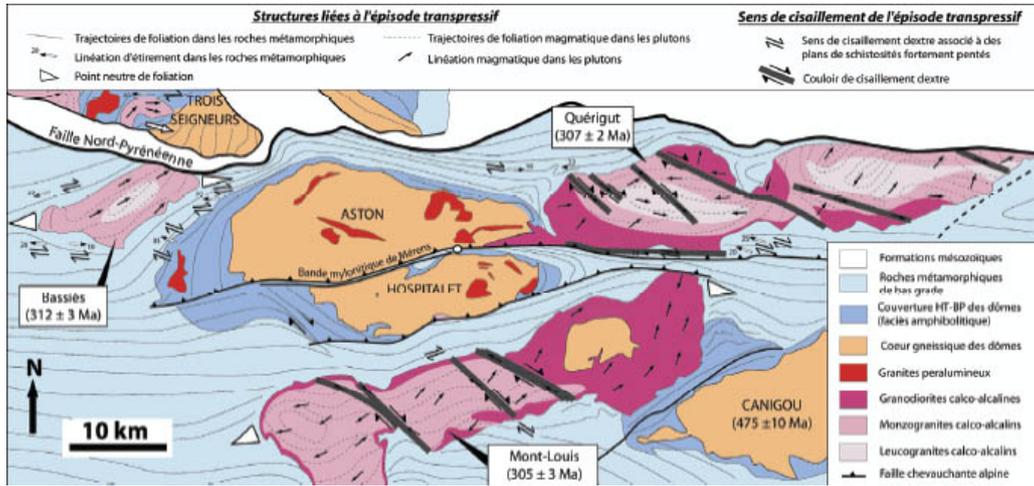


FIGURE 5.2 – Carte géologique du massif de l'Aston et de l'Hospitalet montrant la structure, le magmatisme et le métamorphisme [11, Denèle, 2009]

5.2 Cartographie des surfaces d'aplanissement et observations de terrain

La cartographie des surfaces d'aplanissement en Ariège couvre une zone allant de Foix, en passant par les massifs de l'Aston, de Quérigut et du Carlit (Figure 5.3). Cependant pour des raisons de temps notre étude approfondie s'est portée sur le massif de l'Aston. Tout comme pour Bordères-Louron, nous avons décidé de garder les différentes catégories de surfaces établies par Delmas [2009] [9]. La Figure 5.3 ci-dessous représente la distribution de ces surfaces en Ariège. Elle met l'accent sur le caractère prépondérant des surfaces dans le relief Pyrénéen nettement plus perceptible que dans la zone de Bordères-Louron (Figure 5.3). Leur répartition et leur préservation est assez hétérogène. En effet les surfaces sont mieux préservées dans la partie est comme par exemple au niveau du Carlit (Figure 5.3).

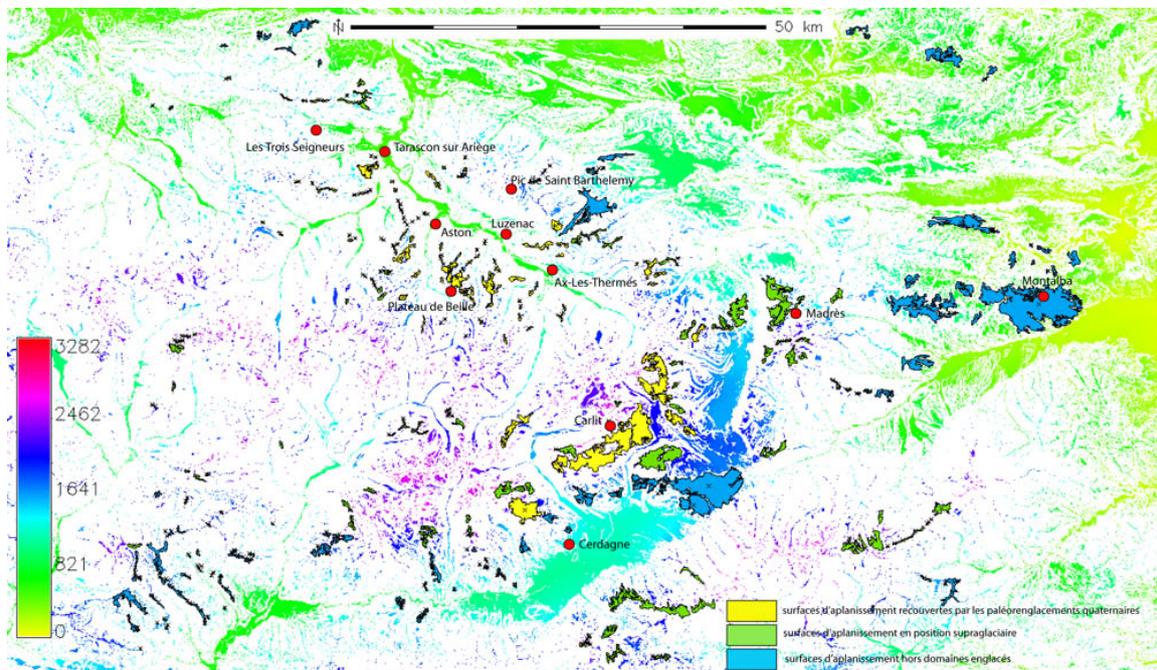


FIGURE 5.3 – Carte des surfaces d'aplanissement en Pyrénées Orientales [Carte Carcone, 2014]. Les surfaces en jaune correspondent aux surfaces recouvertes par les paléoenclacements quaternaires, celles en vert aux surfaces en position supraglaciaire et celles en bleu aux surfaces non affectées par les glaciations quaternaires

Le massif gneissique de l'Aston englobe tout un ensemble de surfaces aplanies culminant le relief et disposées en étagement en avant d'un relief plus incisé au sud . Ces topographies aplanies dans l'ensemble bien conservées sont d'étendue plus ou moins grande et sont alignées suivant l'orientation des crêtes (Figure 5.1). Le plateau de Beille en rive droite de l'Aston, situé autour de 1900m est l'exemple le plus représentatif de ce type de surface à pentes faibles (Figure 5.4). D'autres surfaces, de taille plus restreinte sont dans l'alignement du plateau au nord. Plus à l'ouest le Pla de Bourbourou, autour de 2000m au sud de la ville de Luzenac, possède les mêmes caractéristiques que le plateau de Beille. En rive gauche de l'Aston, d'autres topographies planes sont localisées entre 1600 et 2000m d'altitude, la plus impressionnante étant le Pla du Four autour de 1700m et celle du rocher de Miglos (Figures 5.5 et 5.6). De nombreuses surfaces de petite superficie tout comme au plateau de Beille sont localisées sur les crêtes au nord du Pla du Four (Figure 5.1). D'autres surfaces sont observables plus au sud autour de 2000m. Dans l'ensemble les surfaces ont une pente vers le nord nord-est.



FIGURE 5.4 – Surface aplanie du plateau de Beille (1900m) sur les gneiss du massif de l'Aston [Photo Carcone, 2014]



FIGURE 5.5 – Surface aplanie au rocher de Miglos (affleurement 064) sur la rive gauche de l'Aston, sur les terrains secondaires [Photo Carcone, 2014]

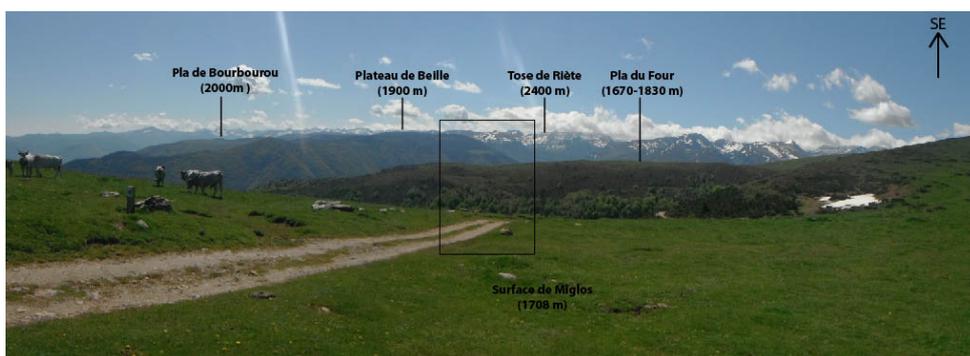


FIGURE 5.6 – Panorama vers le sud sur le massif gneissique de l'Aston [Photo Carcone, 2014].

D'autres surfaces en rive droite de l'Ariège ont été cartographiées près de la ville d'Ax les Thermes, ce sont les surfaces du col de Chioula (Figure 5.7) alignées selon une orientation nord-est sud-ouest (Figure 5.1) et dont la pente est vers le sud sud-ouest. Elles sont situées entre 1400 et 1800m d'altitudes. A proximité du Col de Chioula sur le versant sud du Pic de Saint-Barthélemy on observe des surfaces autour de 1700-1900m.



FIGURE 5.7 – Panorama vers le nord sur la surface du col de Chioula [Photo Carcone, 2014]

Les observations de terrain ont mis en évidence des niveaux d'altération sur le gneiss et sur le granite intrusif du massif de l'Aston associés aux surfaces d'aplanissement du plateau de Beille, du Pla du Four mais aussi d'Ax-Bonascre. Les données ont été répertoriées comme pour Bordères-Louron et données en annexe 5 de ce rapport.

5.3 Description de l'altération sur le massif de l'Aston

Dans notre zone d'étude, les signes d'altération sont assez nets aussi bien sur les granites intrusifs que les gneiss. Des alternances entre horizon feuilleté et horizon fissuré sont observées le long de la route des Cabannes jusqu'au plateau de Beille. Dans cette partie les affleurements sont indiqués sur la figure 5.1. L'horizon fissuré s'exprime très bien en haut du plateau de Beille (affleurement 079), ou l'on observe du gneiss marqué par des fissures issues de l'altération sub-horizontales, très fréquentes et serrées marquant le sommet de l'horizon fissuré (Figure 5.8(a)). Les horizons fissurés observés présentent dans l'ensemble des fractures basculées (Figure 5.8(b)). A proximité de Beille (affleurement 095 et 097) la fracturation sur le gneiss se fait le long des plans de foliations (Figure 5.9(a)) soulignés par les biotites orientées (Figure 5.9(b)). Macroscopiquement le gneiss montre comme le granite des biotites altérées avec des couronnes d'altération et des biotites décolorées. En revanche le gneiss semble plus riche en biotites. Les tors sur le plateau de Beille (affleurement 079), montrent des biotites centimétriques gonflées, très altérées, avec parfois des intercalations de micas. Le passage entre l'horizon feuilleté et l'horizon fissuré a pu être observé sur le plateau de Beille à 1895 m (affleurement 097) au niveau de la Jasse de Beille d'en bas.



FIGURE 5.8 – (a) Gauche : Sommet de l'horizon fissuré (affleurement 079) sur le plateau de Beille à fractures plus fréquentes et resserrées [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Horizon fissuré inférieur (affleurement 054) sur le granite le long de la route montant au Plateau de Beille [Photo Carcone, 2014]

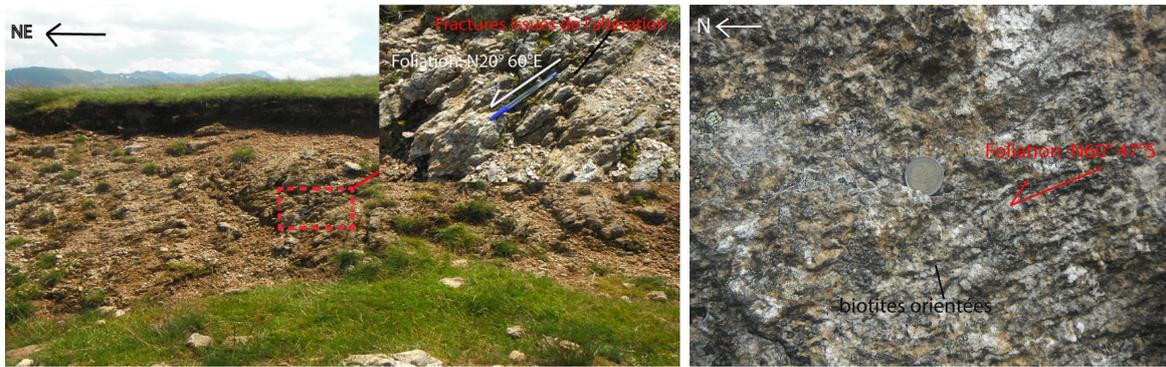


FIGURE 5.9 – (a) Gauche : Horizon fissuré (affleurement 097) avec des fractures le long des plans de foliation orientés $N20^\circ$ et pendage 60° E (affleurement 097) [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Biotites orientées (affleurement 095) selon le plan de foliation ($N60^\circ 47^\circ$ S) dans l’horizon fissuré [Photo Carcone, 2014]

L’horizon feuilletéaffleure à proximité du Pla du Four sur les gneiss (affleurement 065 et 066), au plateau de Beille en alternance avec l’horizon fissuré (affleurement 054) et près d’Ax-Bonascre sur le granite et le gneiss (affleurement 083). Il montre à quelques endroits une roche initiale hétérogène notamment près d’Ax-Bonascre et du plateau de Beille, avec des niveaux clairs sableux et plus foncés à dominance argileuse (Figure 5.10). Dans cet horizon feuilleté on retrouve par endroits des filons de quartz et des boules de roches saines entourées d’un feuilletage (Figure 5.11) ce que l’on a pu aussi observer du côté de Bordères-Louron. Par endroits, la dominance argileuse de cet horizon indique un degré d’altération élevé de la roche.



FIGURE 5.10 – Horizon feuilleté (affleurement 057) sur gneiss migmatisé du Plateau de Beille présentant une alternance entre niveaux clairs sableux et niveaux foncés argileux [Photo Carcone, 2014]



FIGURE 5.11 – Horizon feuilleté (affleurement 083) sous la surface d’Ax-Bonascre avec des boules de roches saines [Photo Carcone, 2014]

Les arènes ont pu être observées dans une carrière à 1250 m d’altitude près de la surface d’Ax Bonascre (affleurement 084) ou elles se présentent sous une matrice sablo-argileuse et à granulométrie grossière et hétérogène, au contact de l’horizon feuilleté (Figure 5.12). A proximité

du plateau de Beille sur du granite intrusif, la matrice est plutôt sableuse et à grains fins donc correspondant à la base de l'horizon d'arènes. La surface du Plateau de Beille repose en partie sur un horizon d'arènes.



FIGURE 5.12 – Horizon d'arènes sablo-argileuses (affleurement 084) près de la surface d'Ax-Bonascre [Photo Carcone, 2014]

5.4 Analyses et interprétations de la morphogenèse de la zone

5.4.1 Analyse des données numériques

Au travers de nos observations de terrain et de notre cartographie des surfaces aplanies nous avons tenté de reconstruire le paléorelief de la zone d'étude. A partir des données du MNT des Pyrénées à 50m et d'une carte raster des surfaces cartographiées, nous avons réalisé un raster sur lequel nous avons créé une surface enveloppe passant par nos surfaces planes. La figure 5.13 nous montre l'étendue de cette surface en 2D dont l'échelle de couleur indique la distribution en altitude. La figure 5.14 représente une vue en 3D de cette surface donnant une idée plus précise sur la forme du paléorelief ainsi reconstitué. Elle met en avant un paléorelief sous forme d'une dépression asymétrique entre les forts reliefs au sud du massif de l'Aston et le massif de Saint Barthelemy (Figure 5.14). Du côté de l'Aston il semble couvrir l'ensemble des surfaces planes représentées en vert foncé, jusqu'à des altitudes dépassant les 2000m. Le massif du Saint Barthelemy ressort comme un relief résiduel sur lequel vient s'encaster une paléosurface aplanie, généralisée, d'altitude plus faible. On observe la même chose pour les forts reliefs au sud du massif de l'Aston (Figure 5.14). Le paléorelief pourrait correspondre à un glacis d'érosion de piedmont.

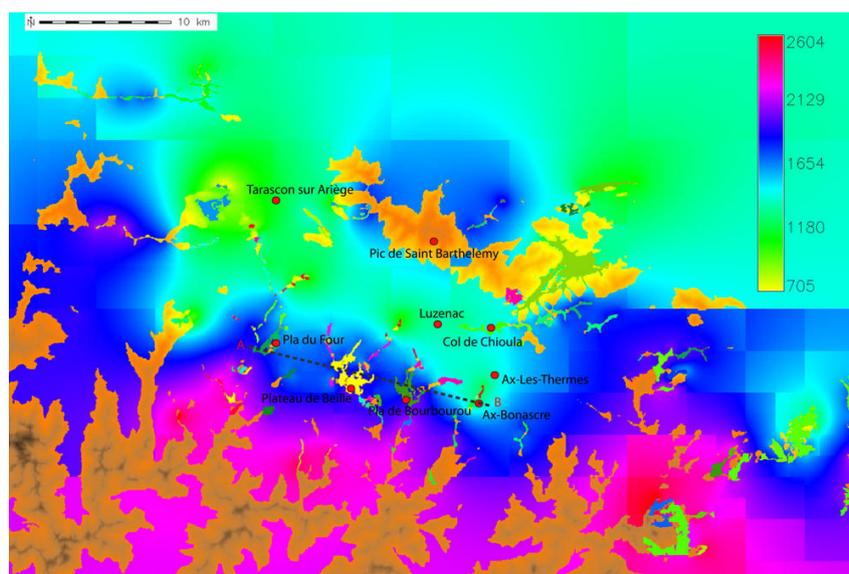


FIGURE 5.13 – MNT en 2D représentant la surface enveloppe créée à partir des données des surfaces cartographiées [MNT Carcone, 2014]. La limite de validité de la carte n'est pas assurée au nord du Saint Barthelemy car nous n'avons aucune donnée de surface dans cette zone.

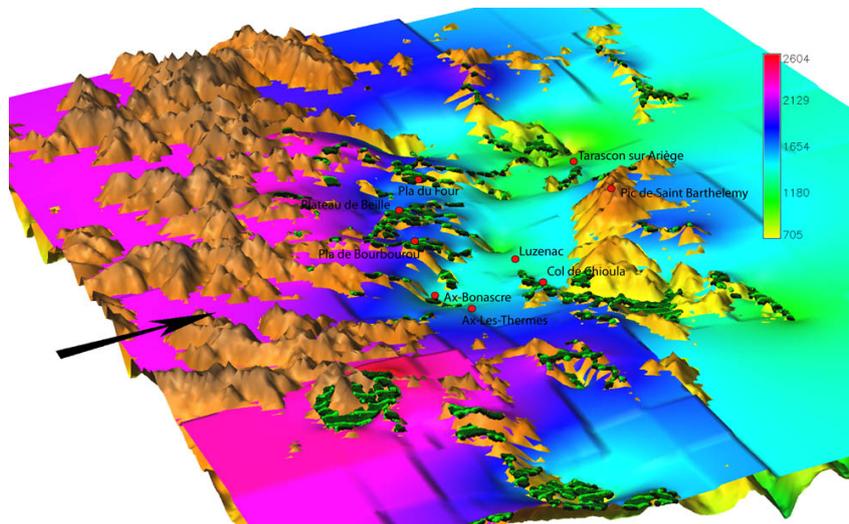


FIGURE 5.14 – MNT en 3D de la zone d'étude avec la surface enveloppe [MNT Carcone, 2014]

Au travers d'un profil topographique d'orientation nord-ouest sud-est, réalisé sur les surfaces du massif de l'Aston (Figure 5.15), on remarque que cette surface enveloppe couvre comme on peut le deviner sur les figures précédentes toutes les surfaces allant du Pla du Four à l'ouest jusqu'à Ax-Bonascres à l'est. Cette surface passe par dessus les vallées actuelles : de Luzenac et de l'Aston qui séparent tout cet ensemble. Les surfaces du massif de l'Aston pourraient correspondre à une seule et même paléosurface dont elles seraient aujourd'hui les reliques, indicateurs d'une érosion importante.

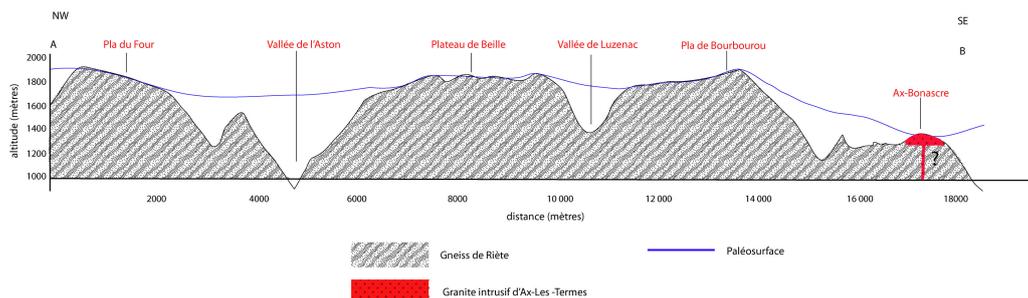


FIGURE 5.15 – Coupe géologique simplifiée sur le massif de l'Aston d'orientation nord-ouest sud-est [Coupe Carcone, 2014]. La ligne bleue représente la surface enveloppe créée sur le MNT des Pyrénées à partir des surfaces aplanies cartographiées.

5.4.2 Analyse des données sur les glaciations quaternaires

La répartition des dépôts glaciaires (Figure 5.16) nous montre l'étendue des glaciations quaternaires dans la zone d'étude. Des moraines sont présentes au niveau du Pla du Four, ainsi qu'au plateau de Beille. Au travers les limites des stades de glaciation quaternaire, établis par Delmas [2009] [9] que nous avons reporté sur notre carte géomorphologique de l'Aston, nous observons que les surfaces de l'Aston sont positionnées dans les zones englacées (Figure 5.16). L'étude des paléoenglacements quaternaires présentée dans la thèse de Delmas [2009] [9], met en évidence dans le bassin d'Ax-Les-Thermes, l'emprise du maximum glacier wurmien observé au niveau de la surface d'Ax-Bonascres, par un replat d'obturation et un cordon morainique. L'épaisseur de la langue de glace fut alors estimée à plus de 900m d'épaisseur. De même des traces de glaciers vers 1400m ont été observées sur l'Aston. L'épaisseur du glacier de l'Ariège devait faire presque 800m d'épaisseur. Les surfaces d'aplanissement sont conservées mais ont été incisées par les rivières et les glaciers si l'on prend en compte, la coupe présentée en figure 5.15 ainsi que la forme et la répartition des surfaces sur la Figure 5.1. Les glaciers ont eu un rôle d'incision fort, probablement sur le dernier million d'années si l'on fait l'analogie avec les Alpes [20, Valla et al, 2011]. Cependant bien que très importants, ces deux agents climatiques ne semblent pas avoir été suffisants

même au cours du dernier maximum glaciaire pour faire disparaître entièrement ces surfaces, dont les témoins résident encore dans le relief actuel.

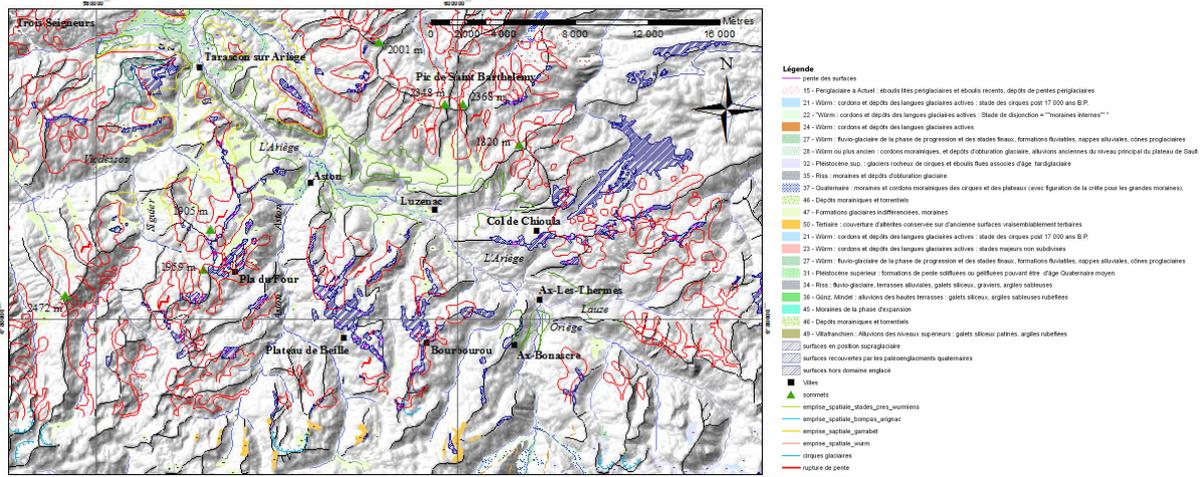


FIGURE 5.16 – Carte géomorphologique [Carte Carcone, 2014] de la zone de l’Aston avec les limites des glaciations quaternaires établies par Delmas [2009] [9]

5.4.3 Analyse de la géomorphologie et des profils d’altération

Sur le plan géomorphologique un des traits majeur du relief concerne la disposition des surfaces en étagement entre lesquels on remarque des escarpements plus ou moins importants (Figure 5.17). Ces étagements se font selon une orientation générale nord-est sud-ouest à des altitudes plutôt proches (Figure 5.17). Trois niveaux de surfaces sont observés : les surfaces culminantes autour de 1700-1900m, formant les grandes surfaces de Beille, Bourbourou, Pla du Four, les surfaces autour de 1300m à 1590m comme celle d’Ax-Bonascre et celles autour de 1100 à 1250m (Figure 5.17).



FIGURE 5.17 – Vue vers l’ouest sur le massif de l’Aston et la vallée de l’Ariège [image google earth]. Le relief met en évidence des surfaces d’aplanissement étagées (surlignées en blanc). Les tracés rouges correspondent aux failles supposées venant décaler les surfaces planes, dont les escarpements peuvent-être les témoins.

En réalisant quelques profils topographiques (Annexe 6) sur ces étagements à partir du MNT des Pyrénées, nous avons cherché à estimer le décalage des surfaces par rapport aux hauts reliefs constituant les plateaux (Figure 5.18). En moyenne, on estime un décalage d’environ 241 m entre les surfaces hautes et celles intermédiaires et 346 m entre celles intermédiaires et celles basses (Figure 5.18). Le maximum étant observé pour la surface d’Ax Bonascre, située à 1300m d’altitude et décalée d’environ 535m du haut relief. Ces décalages ne correspondent

pas à un changement lithologique (Figure 5.19). On les trouve dans l'ensemble sur le gneiss. Un changement lithologique au niveau de ces escarpements aurait permis d'attribuer ce décalage à une différence de l'intensité de l'altération.

	surfaces hautes	surfaces intermédiaires	surfaces basses	décalage surfaces hautes et intermédiaires	décalage surfaces intermédiaires-basses
Ax-Bonascre	1830-1840 m	1300 m	1250 m	535 m	50 m
Pla de Bourbourou	Falgarousse (1890 m)	Jasse de Gireys (1490 m)		405 m	
Pla de Bourbourou	Pic Des Carmilles (1740-1720 m)	1590 m		140 m	
Plateau de Beille	1710 m	1580-1590 m	1100 m	126 m	485 m
Plateau de Beille	Mont Redon (1690-1700 m)	1580-1600 m	1190 m	105 m	400 m
Plateau de Beille	1690-1700 m	Pierrefitte (1520 m)	1100 m	140 m	450 m

FIGURE 5.18 – Tableau descriptif des étagements entre les surfaces sur le massif de l'Aston [Tableau Carcone, 2014]

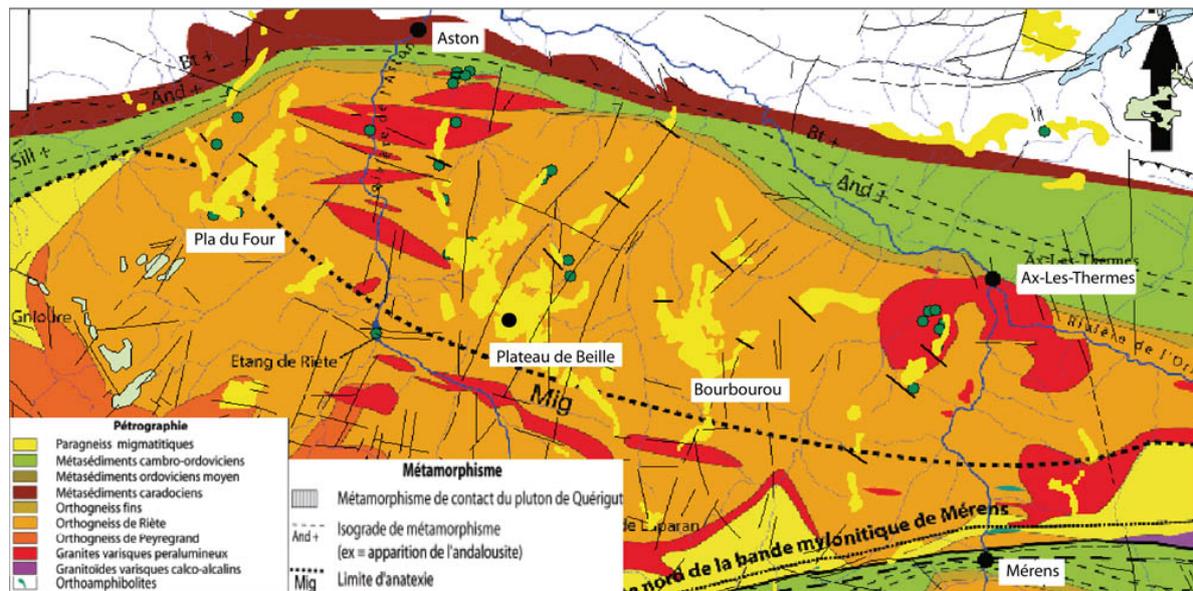


FIGURE 5.19 – Carte des ensembles pétrographiques et des isogrades de métamorphisme du massif de l'Aston [11, Denèle, 2007]. Les failles supposées décalant les surfaces planes sont en trait gras et celles déjà connues extraites de la carte géologique harmonisée du BRGM en trait fin. Les surfaces d'aplatissement sont représentées en jaune, bleu et vert

Plus en détail, le relief possède une géométrie en facettes triangulaires sur les versants nord de l'Aston. De telles structures laissent supposer une intervention de la tectonique dans le décalage des surfaces. Les escarpements visibles entre les surfaces pourraient être liés au jeu de failles normales et dégradés par l'érosion. Ces failles supposées s'aligneraient selon une direction nord-ouest sud-est (Figure 5.19) estimée par l'orientation des étagements et des pentes. Ces failles semblent se corréliser aux failles déjà observées et supposées de la carte géologique du BRGM harmonisée (Figure 5.19). Ces failles pourraient correspondre à un héritage tectonique postérieur à la formation des surfaces d'aplatissement du massif de l'Aston. Concernant les surfaces autour de 1100m et 1200m, l'hypothèse d'une faille est incertaine. En effet elles sont assez basses et au coeur de la zone incisée par les glaciers wurmiens de l'Ariège.

A l'échelle de l'affleurement, les observations des horizons d'altération ont mis en évidence à proximité et au niveau des surfaces d'aplatissement, une absence d'horizons d'altérites. C'est le cas en haut de Beille vers 1912 m (affleurement 079), où l'on observe le sommet d'un horizon fissuré à fractures sub-horizontales, par-dessus lequel il y a une absence complète d'altérites. De même sur la façade sud du massif de Saint Barthelemy (affleurement 102) de l'autre côté de la faille nord-pyrénéenne ou seul affleure de l'horizon fissuré avec des fractures d'orientation N40° et de pendage 16° NW (Figure 5.20). Le même type d'observation est faite aussi sur les surfaces reliées au plateau de Beille, dont celle de la Jasses de Courtal Gélât ou la surface vient recouper un horizon fissuré basculé (Figure 5.21) et celle du Mont-Redon à 1700 m (affleurements 092, 093). Cette absence d'altérites n'est cependant pas généralisée. Des altérites à faciès feuilleté (affleurement 066) sont observées en contrebas de la surface du Pla de Montcamp située en rive

ouest de l'Aston, ainsi qu'à Ax-Bonascre (affleurement 083 et 084). De même la partie nord du Plateau de Beille repose en partie sur des altérites (affleurement 057). Ces observations mettent en évidence l'importance de l'érosion sur le décapage des profils d'altération en particulier sur les horizons les plus altérés. Cette remarque n'est pas négligeable car ça prise en compte diminue notre estimation du décalage des surfaces aplanies. Cependant il est délicat de donner aujourd'hui une estimation de l'épaisseur des horizons d'altération pour ainsi évaluer cette diminution du décalage.

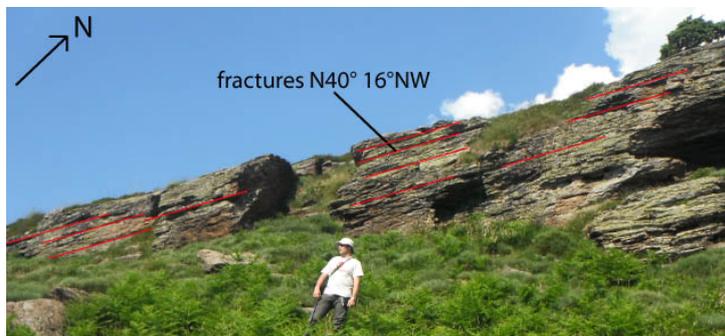


FIGURE 5.20 – Affleurement d'horizon fissuré (affleurement 102) sur le flanc sud du massif de Saint-Barthélemy [Photo Carcone, 2014]



FIGURE 5.21 – Panorama à partir de la piste de la Jasse de Dédort vers la Jasse de Courtal Gélât [Photo Carcone, 2014]

L'horizon fissuré montre des fissures issues du processus d'altération basculées. Sur le granite les fractures sont basculées à $N100^\circ$ et pendent de 40° vers le sud. Sur le gneiss constituant le Plateau de Beille, les fractures semblent suivre une orientation similaire au granite mais à pendage inverse. Le stéréogramme A présenté sur la figure 5.22 ci-dessous montre la distribution des plans de fractures, sur le gneiss, autour de la vallée de l'Ariège (Aston et Saint-Barthélemy). Elles se regroupent selon un pendage vers le nord nord-est dont deux plans sub-horizontaux en jaune sont associés au sommet du plateau de Beille (affleurement 079). Quelques exceptions sont cependant visibles dont deux plans à pendage ouest et orientés $N30^\circ$, $N40^\circ$ représentés en rouge (affleurements 093 et 102) et deux autres plans en vert sont à pendage est sud-est (affleurements 096 et 095). Le stéréogramme B montre la distribution des plans de foliation de pendage général vers le nord nord-est qui semblent se corréliser avec les plans de fractures, ce qui est nettement visible à l'échelle de l'affleurement. La aussi on observe trois plans, en vert, orientés vers le sud-est (affleurements 095, 096 et 097). Pour ces plans il faut prendre en compte les erreurs de mesures possible et surtout la validité des affleurements.

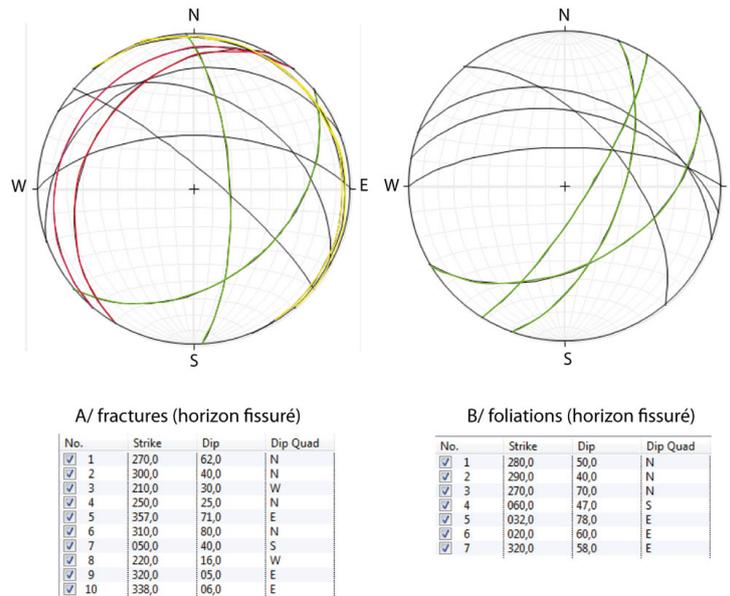


FIGURE 5.22 – Stéréogramme des fractures et plans de foliations sur les formations gneissiques autour de la vallée de l’Ariège [Stéréogramme Carcone, 2014]

L’ensemble des observations sur les horizons d’altération n’a révélé aucune traces d’indices tectoniques tels que des plans de failles, venant soutenir l’hypothèse faite précédemment au travers la géomorphologie. Cependant à proximité du plateau de Beille, sur le granite, autour de 1128m (affleurement 088) des arènes au contact d’un horizon feuilleté semblent avoir été abaissées par rapport à celui-ci (Figure 5.23(a)). A proximité l’horizon feuilleté (affleurement 055) est présent en intercalation dans le fissuré aux endroits où la roche semble plus fragilisée (Figure 5.23(b)). De même proche d’Ax-Bonascres où l’on observe des arènes au contact du feuilleté sur le granite (affleurement 084).



FIGURE 5.23 – (a) Gauche : Contact entre horizon d’arènes et horizon feuilleté sur le granite (affleurement 088) [Photo Carcone, 2014], (b) Droite : Horizon feuilleté (affleurement 055) intercalé dans l’horizon fissuré dans lequel on observe encore la structure de la roche, avec des fissures issues de l’altération [Photo Carcone, 2014]

Les analyses faites à partir des données numériques, des glaciations, de la géomorphologie et des profils d’altération, permettent aujourd’hui de mieux comprendre l’évolution du paysage pyrénéen dans la zone de l’Aston. L’existence d’une ancienne paléosurface généralisée pourrait être attestée aujourd’hui par les vestiges et la forme des surfaces aplanies ainsi que les indices de dépôts glaciaires. Une autre hypothèse pouvant être amenée aujourd’hui est celle du rôle potentiel de la tectonique dans la morphologie du relief de l’Aston. Cependant les arguments quant à une telle hypothèse restent trop minces aujourd’hui et se portent essentiellement sur la disposition des surfaces dans le relief. Ces surfaces restent malgré tout des témoins de l’histoire géologique et climatique en Ariège.

Conclusion

L'étude des surfaces d'aplanissement et des profils d'altération, sur les massifs de Bordères-Louron et de l'Aston ; permettent d'apporter des informations sur l'histoire géologique des Pyrénées, dont elles constituent aujourd'hui des témoins importants. Leur disposition en étagement dans le relief laisse envisager deux hypothèses, dont celle de plusieurs générations de surfaces planes dont les plus basses seraient les plus jeunes et celle d'un aplanissement généralisé. L'hypothèse d'une surface généralisée me semble aujourd'hui la plus probante. La reconstruction par traitement numérique du paléorelief de l'Aston, montre un glacis d'érosion constitué par les topographies planes du relief actuel, sur lequel le massif de Saint Barthelemy correspondrait à un relief résiduel. La pente calculée de ce pédiment, autour de 2.7° , semble correspondre à ce que l'on peut observer pour le pédiment du désert de Mojave [12, Dohrenwend et al, 2009] mais aussi au Chili.

L'association des horizons d'altération à ces surfaces est systématique sur les roches cristallines et vient compléter les observations faites par Wyns et al [2003][22] sur le Massif Central. L'altération est bien exprimée sur les formations de socle notamment le granite et le gneiss. L'absence des horizons d'altérites à de nombreux endroits, indique le rôle de l'érosion sur le décapage des profils d'altération. Ces surfaces restent des témoins de l'histoire climatique des Pyrénées dans laquelle les glaciations ont eu un rôle certains dans leur incision bien exprimé sur le massif de l'Aston.

L'étude approfondie de l'altération au travers de la reconstruction des horizons d'altération et des observations de terrain, permet dans la zone de Bordères-Louron, de donner un rôle à la tectonique dans la disposition des surfaces aplanies. Pour le massif de l'Aston le rôle de la tectonique se base essentiellement sur les observations géomorphologiques étant donné que les observations des horizons d'altération ne fournissent à l'heure actuelle que des indices plutôt minces. Cependant d'autres études [17, Lacan et al, 2012] ont démontré le jeu récent de failles normales héritées sur la haute chaîne dans sa partie ouest et centrale. De même des indices de failles normales et inverses récentes ont été observés dans l'est des Pyrénées (bassin de Cerdagne).

L'âge de l'altération pour l'Aston semble aujourd'hui suivre un consensus post-Eocène (Miocène supérieur) au travers les données de thermochronologie basse température [[11, Dannel, 2007] et [8, Calvet et al, 2008]] et des observations faites par Calvet et al [2008][8] sur les Pyrénées Orientales. Dans l'hypothèse de failles normales venant décaler ces surfaces, elles seraient alors post-orogénique et donc post-Miocène Supérieur. Dans le cas de Bordères-Louron l'âge de l'altération pourrait être estimé antérieur au Trias, au travers les observations de terrain au contraire d'un âge post-Trias en corrélation aux périodes favorables dans le Massif Central. Une étude plus poussée sur l'altération, au travers des datations sur minéraux supergènes des échantillons observés et analysés au cours de ce stage, pourrait permettre de donner un âge certains à l'altération et dans l'hypothèse de la tectonique, aux failles supposées.

Conclusion personnelle

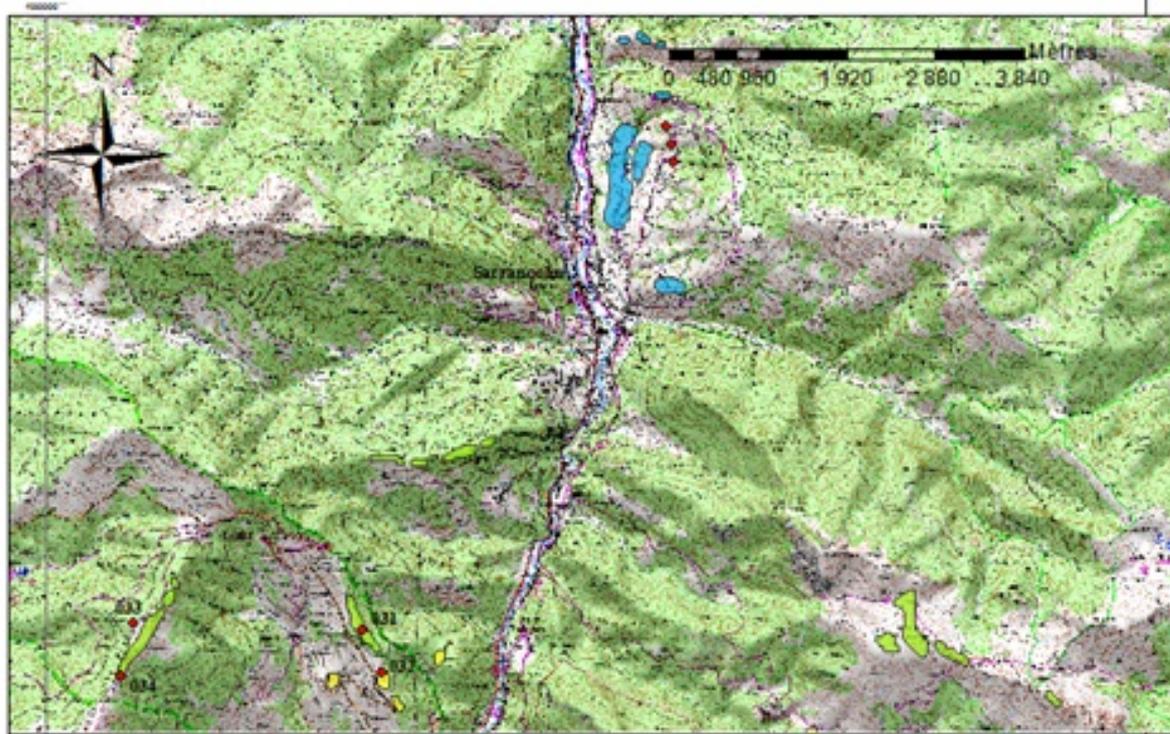
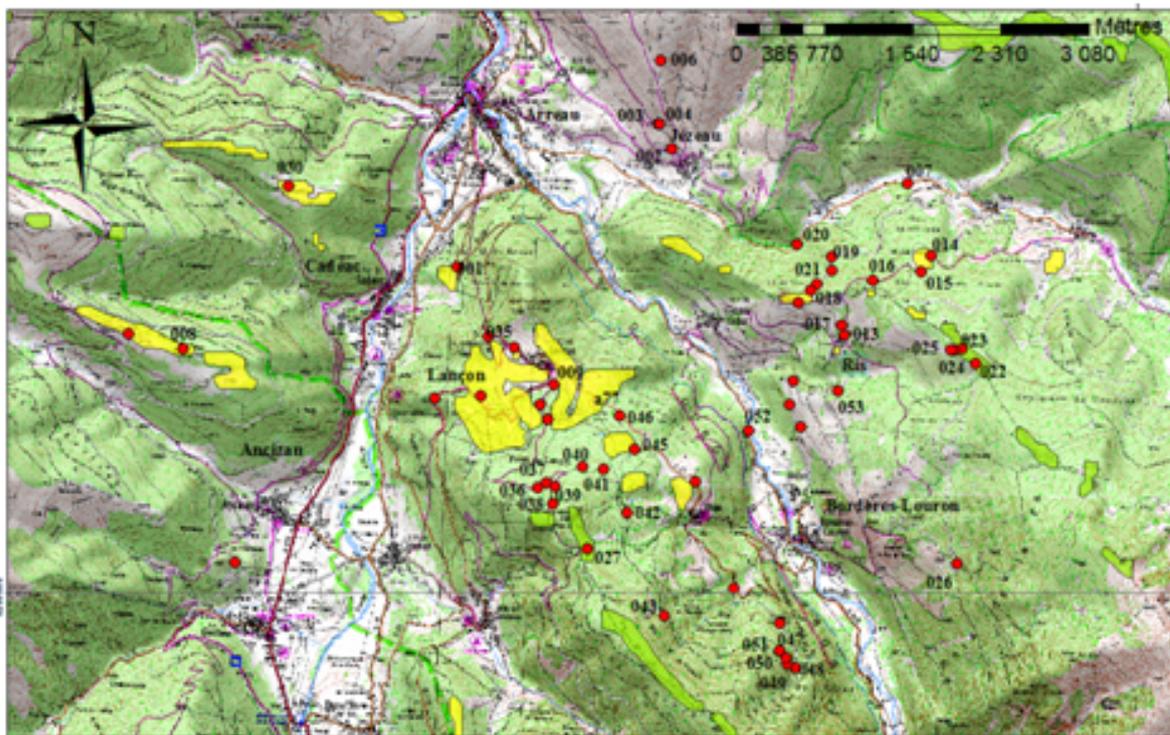
Ce stage fut très enrichissant pour moi car il m'a permis de me mettre dans le cadre d'un vrai travail de recherche pendant six mois. Il m'a permis également d'acquérir un esprit d'initiative et de recherche. J'ai eu beaucoup de satisfaction à réaliser cette étude sur un sujet qui m'a beaucoup passionné. Je pense que ce stage permet aujourd'hui d'avancer dans la compréhension des surfaces d'aplanissement dans les zones de Bordères-Louron et de l'Aston. Cependant beaucoup de travail est encore à faire en continuité de ce sujet, dont l'étude des profils d'altération qui nécessite encore une analyse pétrographique plus poussée, pour ainsi réaliser une datation éventuelle sur minéraux supergènes. De même, l'analyse géomorphologique des surfaces d'aplanissement demande une étude de terrain plus détaillée que je n'ai pas eu le temps de finir au cours de ce stage ; qui pourrait permettre de trancher dans les hypothèses de mise en place des surfaces aplanies et affirmer le rôle éventuel de la tectonique dans leur disposition.

Bibliographie

- [1] Julien Babault, Stéphane Bonnet, Geoffrey Ruiz, and Jean Van Den Driessche. A comment on late to post-orogenic exhumation of the central pyrenees revealed through combined thermochronological data and modelling by m.gibson, h.d.sinclair, g.j.lynn and , f.m. stuart. *Basin Research*, 2009. 21, 139-141.
- [2] Julien Babault, Jean Van Den Driessche, and Stéphane Bonnet. Origin of the highly elevated pyrenean peneplain. *Tectonics*, 2005. VOL. 24.
- [3] Julien Babault, Jean Van Den Driessche, and Stéphane Bonnet. Reply to comment by yanni gunnell and marc calvet on origin of the highly elevated pyrenean peneplain. *Tectonics*, 2006. VOL. 25.
- [4] Pierre Barrère, François Taillefer, and Yves Ternet. *Carte géologique de la France à 1/50 000. 1072, Arreau*. Orléans : Bureau de recherches géologiques minières, 1982.
- [5] BRGM. Actualisation de la synthèse hydrogéologique de la région de l'ariège, 2012. BRGM/RP-60406-FR.
- [6] Marc Calvet. *Morphogenèse d'une montagne Méditerranéenne Les Pyrénées orientales*. PhD thesis, Presse universitaire de Perpignan, 1996.
- [7] Marc Calvet and Yanni Gunnell. Planar landforms as markers of denudation chronology : an sedimentary basin analysis. *Geological Society*, 2006. Special Publications 2008, v. 296, p. 147-166.
- [8] Marc Calvet, Yanni Gunnell, and Magali Delmas. Géomorphogenèse des pyrénées. *Pyrénées d'hier et aujourd'hui*, 2008. Atlantica edition, p129-143.
- [9] Magali Delmas. *Chronologie et impact géomorphologique des glaciations quaternaires dans l'est des Pyrénées*. PhD thesis, Université de Paris 1- Panthéon-Sorbone-Ecole doctorale de géographie de Paris, 2009.
- [10] Magali Delmas, Marc Calvet, Yanni Gunnell, Régis Brauchet, and Didier Bourlés. Les glaciations quaternaires dans les pyrénées ariégeoises : approche historiographique, données paléogéographiques et chronologiques nouvelles. *Quaternnaire*, 2012. 23, (1), p 61-85.
- [11] Yoann Denèle. *Formation des dômes gneissiques hercyniens dans les Pyrénées : exemple du massif de l'Aston-Hospitalet*. PhD thesis, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2007.
- [12] John Dohrenwend and Anthony Parsons. Pediments in arid environnements, geomorphology of desert environment. *Geomorphology of Desert Environments*, 2009. seconde édition.
- [13] Abdol-Hussein Forghani. *Le massif de Bordères et son auréole métamorphique*. PhD thesis, 1964.
- [14] Gérard Gleizes, Gérard Crevon, Asfawossen Asrat, and Pierre Barbey. Structure, age and mode of emplacement of the hercynian bordères-louron pluton (central pyrenees, france). *Int J Earth Sci*, 2006. 95 1039 1052.
- [15] Yanni Gunnell and Marc Calvet. Comment on origin of the highly elevated pyrenean peneplain by julien babault, jean van den driessche, and stéphane bonnet, sébastien castelltort, and alain crave. *Tectonics*, 2006. VOL. 25.
- [16] Pierre Lacan. *Activité sismotectonique Plio-quaternaire de l'ouest des Pyrénées*. PhD thesis, Université de Pau et des pays de l'Adour, 2008.
- [17] Pierre Lacan and Maria Ortuno. Active tectonics of the pyrenees : A review. *Journal of Iberian Geology*, 2012. 38 (1).

- [18] Jean-Jacques Lagasquier. *Géomorphologie des granites : les massifs granitiques de la moitié orientale des Pyrénées françaises*. PhD thesis, Centre régionale de la recherche scientifique, Edition du CNRS, 1984.
- [19] Eugène Raguin, Marcel Casteras, and Jean-Paul Destombes. *Carte géologique de la France à 1/50 000. 1087, Vicdessos*. Orléans : Bureau de recherches géologiques minières, 1969.
- [20] Pierre Valla, David Shuster, and Peter Van Der Beek. Significant increase in relief of the european alps during mid-pleistocene glaciations. *Nature Geoscience*, 2011. DOI : 10.1038/NGEO1242.
- [21] Robert Wyns. Géologie de la surface ; impact des paléaltérations sur les propriétés des roches. *BRGM formation*, 2010.
- [22] Robert Wyns, Florence Quesnel, Régine Simon-Coinçon, François Guillocheau, and Frédéric Lacquement. Major weathering in france related to lithospheric deformation. *Géologie de la France*, 2003. n1, 79-87.

.2 Annexe 2 : Localisation des affleurements sur le massif de Bordères-Louron sur fond topographique au 1 :25 000

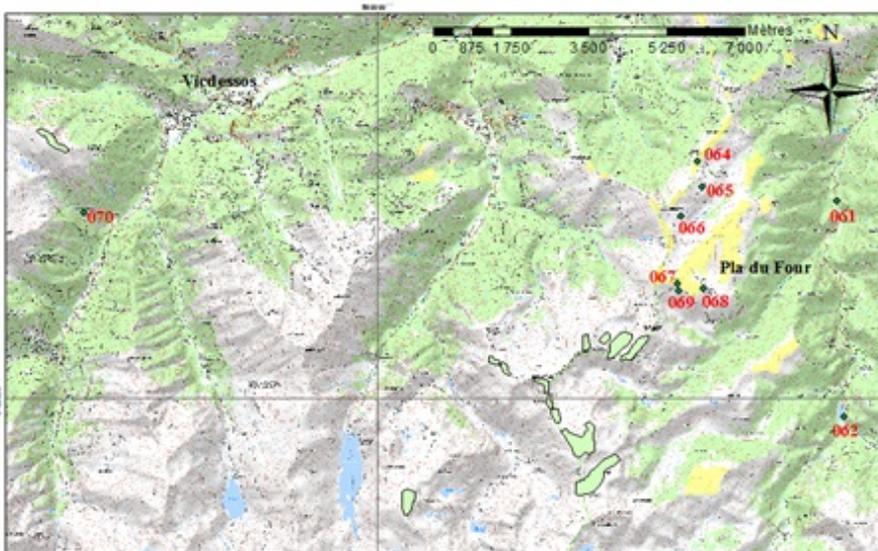
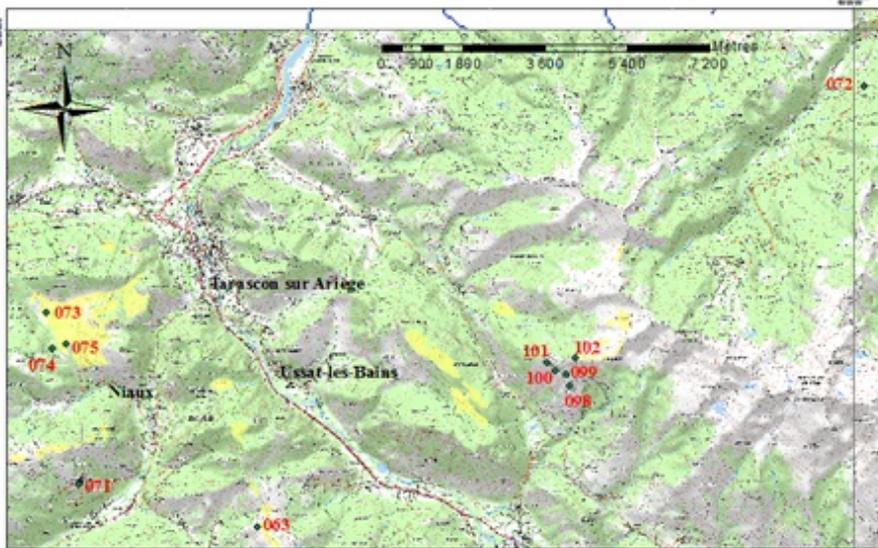
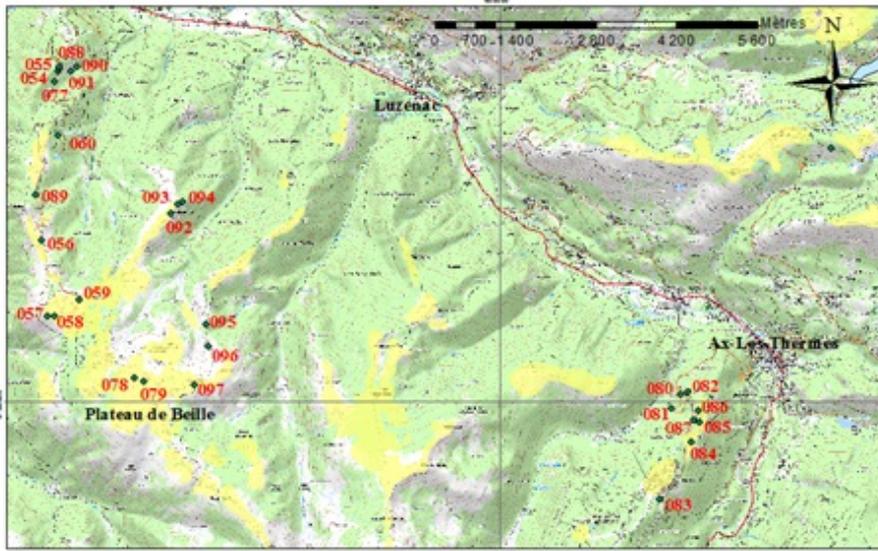


3 Annexe 3 : Tableau desaffleurements sur le massif de Bordères-Louron

code	date	ST	altitude	topographe	cartographie	travaux anciens	topographe carte géologique	observations de terrain	travaux anciens	stratigraphie	stratigraphie	indices topographiques	direction	progrès
JCA4001	27/03/2014	124	520314.4	48529.3			Couverture d'altération sur terrain paléozoïque (grt, pélite)	horizon calcaire rouge, avec très argileux et bernard.		horizon d'altération		suffisamment peu profondément à cause de la neige		
JCA4002	27/03/2014	829	520370.2	48529.2			grt, pélite	formation paléozoïque altérée et conjoints très argileux avec dolérite						
JCA4003	27/03/2014	904	520403.4	48577.1	JCA4003_01		granodiorite de Bordères-Louron							
JCA4004	27/03/2014	1145	520478.2	48571.3			grt, pélite	limite entre horizon silté et les formations paléozoïques						
JCA4005	27/03/2014	931	520353.2	48751.3			grt, pélite	conjonction très arg avec argiles						
JCA4006	03/04/2014	1330	520113.1	48125.9			calcaire paléozoïque	formation paléozoïque peu altérée						
JCA4007	03/04/2014	1100	520130.5	48480.3			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4008	03/04/2014	1130	520158.7	48480.9			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4009	03/04/2014	1130	520158.7	48480.9			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4010	03/04/2014	1130	520158.7	48480.9			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4011	03/04/2014	1137	520150.2	48474.8			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4012	03/04/2014	833	520404.9	48445.7	JCA4012_001		granite de douzaine de Bordères-Louron	granite très argileux						
JCA4013	03/04/2014	1128	520239.5	48731.7	JCA4013_001		granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4014	03/04/2014	1137	520293.1	48592.1			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4015	03/04/2014	1137	520293.1	48592.1			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4016	03/04/2014	1231	520722.1	48777.3			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4017	03/04/2014	1149	520213.8	48731.7			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4018	03/04/2014	1100	520283.5	48709.5			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4019	03/04/2014	1096	520283.5	48722.1			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4020	07/04/2014	870	520931.1	48814.4			granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4021	07/04/2014	1110	520280.4	48731.7	JCA4021_01		granodiorite de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4022	07/04/2014	1480	520197.1	48580.3	JCA4022_001		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4023	07/04/2014	1427	520242.7	48815.1	JCA4023_001		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4024	07/04/2014	1431	520213.2	48815.1			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4025	07/04/2014	1429	520214.4	48815.1			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4026	07/04/2014	1311	520271.2	48811.1	JCA4026_001		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4027	07/04/2014	1413	520271.2	48804.8	JCA4027_001		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4028	08/04/2014	1481	520971.9	48304.2			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4029	08/04/2014	1740	519941.3	48124.8			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4030	08/04/2014	1127	520293.2	48242.6			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4031	08/04/2014	1131	520293.2	48242.6			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4032	08/04/2014	1131	520293.2	48242.6			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4033	08/04/2014	1406	520781.9	48093.5			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4034	08/04/2014	1499	520811.4	48081.2			schistes paléozoïques	altérés très argileux						
JCA4035	14/07/2014	1064	520128.3	48444.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4036	14/07/2014	1254	520293.2	48429.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4037	14/07/2014	1137	520931.9	48473.4			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4038	14/07/2014	1137	520781.9	484713.6			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4039	14/07/2014	1291	520931.9	48406.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4040	14/07/2014	1241	520184.8	48303.8	JCA4040_01		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4041	14/07/2014	1212	520184.8	48317.2	JCA4041_01		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4042	14/07/2014	1248	520087.8	48343.8			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4043	14/07/2014	1271	519790.3	48377.7	JCA4043_01		granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4044	14/07/2014	1293	520144.1	48330.7			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4045	14/07/2014	1121	520123.7	48357.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4046	14/07/2014	1073	519733.7	485713.4			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4047	14/07/2014	1137	519938.2	48590.9			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4048	14/07/2014	1131	519971.2	48526.6			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4049	14/07/2014	1149	519843.8	48581.1			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4050	14/07/2014	1149	519843.8	48576.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4051	14/07/2014	948	520354.3	48557.2			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						
JCA4052	14/07/2014	1201	520177.2	48779.4			granite de douzaine de Bordères-Louron	altérés très argileux						

site	date	GPS	altitude	longitude	coordonnées	nom mncx	théologie carte géologique	observations de terrain	minéralogie	stratigraphie	indices hydrogéologiques	direction	ponçement
	06/09/2004	774	6113661.3	486822.8			granite monzonite de la Brouzaz	affleures avec fractures verticales, horizontales et oblique à écartement centimétrique.		horizon fissuré supérieur			
	06/09/2004	822	6113661.6	486803.9			granite monzonite de la Brouzaz	affleures à l'ouest feuilleté, avec fractures verticales et oblique à écartement centimétrique. filons de quartz.	presque pas de biotites	horizon feuilleté			
	06/09/2004	822	6113544.7	486804.7			granite monzonite de la Brouzaz	affleures en place à l'ouest peu feuilleté.		affleures			
	06/09/2004	808	6112838	487842.3			granite monzonite de la Brouzaz	affleures en place avec joint de granites concentric et séparés par des fissures horizontales bien ouvertes.		affleures			
	06/09/2004	941	6204382.5	486932.2	C45013_01		granite de Bordet-Louvon	filon d'agate. Fractures non-combates	journalière en l'aguettes dans le filon	horizon fissuré			
	06/09/2004	969	6204395	486881.1			granite de Bordet-Louvon	affleures avec à l'ouest feuilleté	biotites décolorées par l'altération (frown)	horizon feuilleté			
	06/09/2004	969	6204316.5	486939.2			granite de Bordet-Louvon	granite très à l'ouest d'altération faible		bonne partie			
	06/09/2004	1121	6203544.2	487096.7			granite de Bordet-Louvon	affleures à l'ouest feuilleté avec fractures verticales et oblique plus ou moins concentriques à grains fins peu aëriés		horizon feuilleté			
	06/09/2004	1024	6200920.3	486988			granite de Bordet-Louvon	affleures à l'ouest feuilleté et très fracturés. Les fractures sont plus ou moins ouvertes	présence de goëthite dans certaines fractures	limite entre horizon fissuré et horizon feuilleté			
	06/09/2004	1034	6202227.1	484219.4			granite de Bordet-Louvon	filon de quartz					
	07/09/2004	828	6200364	483012.7			Schistes (carbonifère)	jump dans les schistes	grêle goëthite mais peut être récemment				
	07/09/2004	1084	6201711.9	484128.8			granite de Bordet-Louvon	affleures granitiques à l'ouest et granites avec des blocs de granite peu biotité					
	07/09/2004	1027	6202893.1	483731.3			granite de Bordet-Louvon	affleures peu aëriés					
	07/09/2004	1085	6202277.2	481080.1			limite entre schistes et granite de Bordet-Louvon	schistes à grains fins peu aëriés					

.4 Annexe 4 : Localisation des affleurements sur le massif de l'Aston sur fond topographique au 1 :25 000



5 Annexe 5 : Tableau des affleurements sur le massif de l'Aston

arrêt	date	GPS	altitude	longitude	échantillons	lithologie carte géologique	observations de terrain	muséologie	altération	direction	prolongement
JCAR054	22/05/2014	1233	6183780	592311.2	JCAR054_001, JCAR054_002	Gneiss de Rête	horizon fissuré avec fractures horizontales basculées, plus ou moins orientées. Horizon feuilleté à matrice sabonneuse et granodimétrique grossière, intercalé dans l'horizon fissuré	boîtes, matricielle, normale	matrice entre horizon feuilleté et horizon fissuré	famille principale: N100°, familles annexes: N130° et N70°	40°S famille principale- 40°S, familles annexes: 33°SW et 44°SE
JCAR055	22/05/2014	1220	6183840	592326.9		Gneiss de Rête	altérées à facies feuilleté dans l'horizon fissuré à fractures horizontales basculées		matrice entre horizon feuilleté et horizon fissuré		
JCAR056	22/05/2014	1686	6182814	592021.6		Gneiss de Rête	horizon fissuré recouvert par des colluvions. Quelques boudins de roches à peu altérées	boîtes avec aureoles délimitées	horizon fissuré supérieur		
JCAR057	22/05/2014	1809	6181492	592138.9	JCAR057_001, JCAR057_002	Gneiss de Rête	altérées à facies feuilleté avec une alternance de niveaux de roches claires sabonneuses (granite) et de niveaux plus sombres argileux (gneiss). Roche initiale hétérogène.	feldspaths kaolinisés (niveau argileux)	horizon feuilleté supérieur		
JCAR058	22/05/2014	1805	6181493	592255.4		Gneiss de Rête	altérées à facies feuilleté à grains moyens	boîtes décolorées, feldspaths altérés	horizon fissuré inférieur		
JCAR059	22/05/2014	1783	6181790	592077.7		Gneiss de Rête	altérées à facies feuilleté à grains moyens		horizon fissuré inférieur		
JCAR060	22/05/2014	1459	6184470	592314	JCAR060_001, JCAR060_002	Gneiss de Rête	altérées à facies feuilleté on la roche grise encore une certaine dureté. Le feuilletage est parallèle à la pente. Présence d'un niveau plus altéré dans cet horizon. Passage à un horizon fissuré un peu altéré à grains grossiers.	boîtes altérées avec couronnes d'altération	horizon feuilleté inférieur		
JCAR061	22/05/2014	1456	6184464	590341.6		Gneiss de Rête	granite fissuré avec fractures horizontales basculées.		horizon fissuré inférieur	famille principale: N110°	famille principale: 47°SW
JCAR062	22/05/2014	1097	6179594	590495.9		Gneiss de Rête	granite sans un peu fracturé.		horizon fissuré inférieur		
JCAR063	22/05/2014	1239	6188881	586603.8		Dépôts glaciaires	patrimoine vers l'ouest sur la vallée du Vicdessos				
JCAR064	05/06/2014	1689	6183377	587210.4		Micaschistes pelitiques	surface plane		horizon fissuré supérieur		
JCAR065	05/06/2014	1679	6184483	587311.5		Gneiss de Rête	gneiss de Rête très altéré à matrice sablo-argileuse		horizon fissuré supérieur		
JCAR066	05/06/2014	1729	6184126	586945.1		Gneiss de Rête	gneiss de Rête très altéré à matrice sabonneuse	boîtes avec couronnes d'altération, boîtes décolorées, feldspaths altérés	horizon feuilleté supérieur		
JCAR067	05/06/2014	1727	6183589	586769		Gneiss de Rête	gneiss ocellé très altéré à matrice argilo-sabonneuse		horizon feuilleté supérieur	N0°	38°O
JCAR068	05/06/2014	1837	6182494	587327.4		Gneiss de Rête	surface plane du Pia Du Four	boîtes altérées avec couronnes d'altération			
JCAR069	05/06/2014	1874	6183249	586776		Gneiss de Rête	gneiss déformé, altéré avec un débit en plaquette	boîtes altérées avec couronnes d'altération	horizon fissuré inférieur		
JCAR070	05/06/2014	1146	6184411	573394.7	JCAR070_001, JCAR070_002	Granite de Bassils	granite sans fracturé	boîtes altérées au niveau des fractures sub-horizontales	horizon fissuré inférieur	fractures sub-horizontales: N164°, fractures sub-verticales: N173°	fractures sub-horizontales: 28°E
JCAR071	05/06/2014	995	6189941	582396.7	JCAR071_001, JCAR071_002	Amastrites	amastrites un peu altérées	boîtes remaniées, séricite	horizon fissuré inférieur		fractures sub-horizontales: 28°E
JCAR072	18/06/2014	1055	6189733	600547.2	JCAR072_001	Calcaires Devonien moyen à supérieur	schistes altérés, argileux		peu favorable à l'altération	schistosité S1: N105°, N100°	schistosité S1: 25°, 60°S
JCAR073	18/06/2014	954	6193729	582351.2		Calcaires urgo-argileux	surface plane			schistosité S1: N135°, schistosité S0: N160°, fractures: N68°	schistosité S1: 75°SE, schistosité S0: 45°SO
JCAR074	18/06/2014	1084	6192939	582381.6		Formations du Lias	marbres schisteux				
JCAR075	18/06/2014	1025	6193947	582698.8		Calcaires urgo-argileux	calcaires à patine grise, foucés à claire. Fracturation sub-verticale et sub-horizontale			fractures sub-horizontales: N102°, fracture sub-verticales: N177°	fractures sub-horizontales: 34°N, fractures sub-verticales: 60°E
JCAR076	18/06/2014	1515	6184440	605779.9	JCAR076_001, JCAR076_002	Siltreux indifférencié, schistes, ampelles	Schistes très altérés avec une structure conservée mais recouverte par des altérées argileuses. Par endroit alternance entre schistes sans fracturés et schistes très altérés argileux.	quartz, le long de fractures et sur les schistes plus sains	altérées par endroits	schistosité S1: N238°, fractures: N160°	schistosité S1: 78°S, fractures: 70°SO
JCAR077	27/06/2014	1255	6183410	592230.2		Gneiss de Rête	granite très altéré et fracturé	boîtes décolorées, normale			
JCAR078	27/06/2014	1812	6180403	593651.9		Gneiss de Rête	gneiss magmatique avec fissures horizontales très serrées.		horizon fissuré supérieur	Stratification: N115°, N140°, N7158	Stratification: 7°N, 5°NE, 6°N, éouillon: 75°N à 85°N
JCAR079	27/06/2014	1830	6180349	593805.1	JCAR079_001	Gneiss de Rête	gneiss	boîtes goudrées, caméométriques avec intercalations de micas			
JCAR080	09/07/2014	1083	6180127	603153		Granite d'Aax-Les-Thermes	quartzite à veinage, fracture plus ou moins intensément suivant les endroits		horizon fissuré	fractures principales: N115°, N114°, N127°, N133°, N107°, N140°	fractures principales: 78°S, 82°S, 69°SO, 64°SO, 79°N, 75°NE
JCAR081	09/07/2014	1121	6179873	602995		Granite d'Aax-Les-Thermes	gneiss peu altéré, fracturé avec des zones où la roche présente une plus forte altération	quartz, boîtes, micas	horizon fissuré		
JCAR082	09/07/2014	1166	6180155	603287.2		Granite d'Aax-Les-Thermes	gneiss altéré dont on observe euaon la texture. Altérées à matrice argileuse	micas, boîtes avec couronnes d'altération, feldspaths	horizon feuilleté inférieur		
JCAR083	09/07/2014	1384	6178277	602783.2		Gneiss de Rête	altérées à matrice argileuse sur formations gneissiques. Boudes de gneiss peu altérés.		horizon feuilleté inférieur		

arrêts	date	GPS	latitude	longitude	échantillons	litologie carte géologique	observations de terrain	minéralogie	altération	direction	plongement
JCAR084	09/07/2014	1275	6179275	603332.2		Granite d'Ax-Les-Thermes	alterites sablo-argileuses à grains grossiers. De l'horizon feuilleté montre une roche initialement hétérogène (gneiss avec filons de quartz)	quartz, biotites caulinéiques dont les feuillets s'étrèvent	arènes et horizon feuilleté.		
JCAR085	09/07/2014	1254	6179631	603486		Granite d'Ax-Les-Thermes	alterites en place à dominance sableuse et à grains grossiers		horizon feuilleté supérieur		
JCAR086	09/07/2014	1232	6179820	603470.9		Granite d'Ax-Les-Thermes	alterites en place à matrice sableuse		horizon feuilleté		
JCAR087	09/07/2014	1222	6179683	603389.2		Granite d'Ax-Les-Thermes	gneiss fracturé		horizon fissuré		
JCAR088	09/07/2014	1228	6185870	592331.5		Granite murusif	faïta supposée déclinant les surfaces planes. Arènes sableuses abossées par rapport à l'horizon feuilleté.			N92°	65°N
JCAR089	09/07/2014	1392	6183618	591933.3		Gneiss de Rête	gneiss altéré et fracturé		horizon fissuré et feuilleté	foliation: N95°	foliation: 58°S
JCAR090	09/07/2014	1050	6185878	592637.4		micaschiste pelitique	gneiss un peu altéré au contact de l'ancastissat		horizon fissuré		
JCAR091	09/07/2014	1053	6185789	592532.6		Gneiss	gneiss	boîtes orientées avec coupures d'altération	horizon fissuré		
JCAR092	17/07/2014	1657	6183392	594274.4		Gneiss de Rête	gneiss altéré et fracturé avec filons de quartz		horizon fissuré	fractures principales: N90°, foliation: N100°	fractures principales: 62°N, foliation: 50°N
JCAR093	17/07/2014	1678	6183454	594401.7		Gneiss de Rête	gneiss fracturé		horizon fissuré	fractures principales: N135°, foliation: N110°	foliation: 40°N
JCAR094	17/07/2014	1659	6183501	594488.5		Gneiss de Rête	gneiss fracturé		horizon fissuré	fractures principales: N120°, foliation: N90°	fractures principales: 40°N, foliation: 70°N
JCAR095	17/07/2014	1744	6181344	594884.8		Gneiss de Rête	gneiss fracturé	boîtes orientées avec autôles d'altération	horizon fissuré	fractures principales: N70°, foliation: N60°	fractures principales: 30°N, foliation: 47°N
JCAR096	17/07/2014	1792	6180958	594940.8		Gneiss de Rête	gneiss fracturé		horizon fissuré	fractures principales: N130°, N177; foliation: N32°	fractures principales: 80°N, 71°N, foliation: 78°S
JCAR097	17/07/2014	1895	6180789	594685.5		Gneiss de Rête	gneiss altéré et très fracturé selon les plans de foliation		horizon fissuré supérieur	foliation: N10°	foliation: 60°E
JCAR098	17/07/2014	1334	6192102	593755.9		Gneiss inférieur du Saint Bartélémy	gneiss fracturé	boîtes avec autôles d'altération	horizon fissuré	fractures principales: N140°	fractures principales: 58°NE
JCAR099	17/07/2014	1409	6192360	593691.4		Gneiss inférieur du Saint Bartélémy					
JCAR100	17/07/2014	1419	6192454	593444.1		Gneiss inférieur du Saint Bartélémy	panorama vers le sud sur l'atron				
JCAR101	17/07/2014	1445	6192633	593262.8		Gneiss inférieur du Saint Bartélémy	gneiss avec fissures issues de l'altération		horizon fissuré		
JCAR102	17/07/2014	1613	6192725	593902.9		Gneiss inférieur du Saint Bartélémy	gneiss avec fissures très serrées plus ou moins ouvertes selon le plan de foliation		horizon fissuré supérieur	fractures principales: N40°	fractures principales: 16°NW

.6 Annexe 6 : Profils topographiques sur le massif de l'Aston

