Plan de lutte contre l'érosion des sols
Vallée du Bastan

Brice DUPIN et Kévin LIAUTAUD

BAREGES TOURMALET

Ingénierie environnementale pyrénéenne ECO ALTITUDE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

eau GRAND SUD-OUEST
AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE

PRÉFET DE LA RÉGION OCCITANIE
Liberté Égalité Fraternité
PRÉFET COORDONNATEUR DU MASSIF DES PYRÉNÉES

FONDS NATIONAL D'AMÉNAGEMENT ET DE DÉVELOPPEMENT DU TERRITOIRE
Massif des Pyrénées

Table des matières

Introduction 4
1 Enjeux du plan de lutte contre l'érosion 5
1.1 Caractéristiques de la zone d'étude 5
1.1.1 Limites et caractéristiques géographiques et climatiques 5
1.1.2 Caractéristiques géologiques et pédologiques. 6
1.1.3 Caractéristiques écologiques 8
1.1.4 Propriétaires et gestionnaires des sols 9
1.1.5 Aménagements humains et usages des sols 10
1.2 Erosion des sols : synthèse des travaux menés 16
1.2.1 Glissements de terrain : localisation et facteurs déterminants 17
1.2.2 Connectivité sédimentaire 19
1.2.3 Fourniture sédimentaire lors de crues dans la vallée du Bastan 21
1.2.4 Identification des zones à forts risques d'érosion 21
1.3 Relation entre érosion des sols et biodiversité 23
1.4 Analyse des enjeux socio-économiques de l'érosion 24
1.4.1 Perceptions des acteurs locaux sur les problèmes d'érosion 24
1.4.2 Zones à enjeux identifiées par les acteurs locaux - 2024 24
1.5 Restaurations écologiques réalisées depuis 2020 26
1.5.1 Stabilisations de terrains pentus et instables en altitude 26
1.5.2 Revégétalisation de terrains peu pentus à moyenne et haute altitude. 26
2 Détermination des objectifs et actions du plan 28
2.1 Objectif global et co-construction des objectifs opérationnels 28
2.2 Détermination des sites et actions prioritaires du plan 29
2.2.1 Identification des sites prioritaires 29
2.2.2 Actions retenues sur les sites prioritaires 34
2.2.3 Suivi-évaluation des actions du plan 36
2.3 Constitution d'un COPIL et d'un groupe de travail 37
2.3.1 Propositions pour la constitution d'un groupe de pilotage du plan 38
2.3.2 Fonctionnement proposé 38
3 Fiches synthétiques des actions proposées pour lutter contre l'érosion 40
3.1 Fiche action : Zones érodées proches du col du Tourmalet 41
3.1.1 Contexte et objectifs de la fiche action Tourmalet 41

3.1.2 Actions proposées dans la fiche action Tourmalet 43
3.1.3 Suivi-évaluation et portage de l'action pentes du Tourmalet 45
3.2 Fiche action : Ravine du ruisseau du Tourmalet 46
3.2.1 Contexte et objectif de la fiche action Ravine du ruisseau du Tourmalet 46
3.2.2 Actions proposées dans la fiche « Ravine du ruisseau du Tourmalet »..... 48
3.2.3 Suivi-évaluation et portage de l'action « Ravine du Tourmalet » 50
3.3 Fiche action : Revégétalisation de talus routiers 51
3.3.1 Contexte de la fiche action revégétalisation des talus routiers..... 51
3.3.2 Illustrations du contexte de la fiche action sur les talus routiers..... 52
3.3.3 Actions programmées sur les talus routiers..... 53
3.3.4 Suivi-évaluation et portage de la fiche action talus routier 55
3.4 Fiche action : Amélioration des sols des pistes de ski..... 56
3.4.1 Contexte de la fiche action 56
3.4.2 Actions d'amélioration des propriétés des sols sur les pistes de ski 58
3.4.3 Suivi évaluation et portage de la fiche action pistes de ski 60
3.5 Fiche action du glissement de terrain de la berge de Bastan..... 61
3.5.1 Contexte et objectif de la fiche action 61
3.5.2 Actions proposées pour la stabilisation de la berge 63
3.5.3 Suivi-évaluation et portage de la fiche action Berges de Bastan 65
3.6 Fiche action : Glissement de terrain de Barzun..... 66
3.6.1 Contexte et objectif de la fiche action : 66
3.6.2 Actions proposées pour le glissement de Barzun..... 68
3.6.3 Suivi et évaluation des actions proposées pour le glissement de Barzun..... 70
3.7 Fiche action : Suivi-évaluation des actions du plan de lutte 71
3.7.1 Contexte et objectif de la fiche..... 71
3.7.2 Actions proposées pour la mise en œuvre du suivi-évaluation 73
3.7.3 Suivi-évaluation de la fiche « Pilotage des actions programmées » 75
4 Conclusion..... 76

Introduction

La vallée du Bastan a subi une crue exceptionnelle en 2013. Sur ce bassin versant représentatif des milieux d'altitude pyrénéens, l'érosion des sols est intense et accentuée par les aménagements humains. La partie amont concentre la plupart des phénomènes d'érosion des sols observables à l'échelle du massif pyrénéen. Depuis 2020, un groupe d'acteurs représentant les divers gestionnaires de cette zone s'est constitué pour échanger régulièrement à ce sujet et organiser des travaux de restauration écologique. Des études visant à mieux localiser et quantifier les processus d'érosion ont été développées en parallèle par des scientifiques. En 2023, afin de permettre la poursuite de cette démarche et de la structurer, la Commune de Barèges a décidé de porter un projet d'élaboration d'un plan pluriannuel de lutte contre l'érosion.

Elle a missionné Eco-Altitude en octobre 2023 pour la réalisation d'un diagnostic environnemental, l'animation de concertations avec les acteurs locaux, et la rédaction d'un plan de lutte contre l'érosion des sols. Le présent document est le fruit des travaux menés de 2020 à janvier 2024. Il a été rédigé pour que les partenaires puissent facilement :

- Visualiser la nécessité et les priorités d'actions.
- Visualiser les modalités de mise en œuvre des actions retenues collectivement pour limiter les problèmes d'érosion des sols. Dans cette optique, il sera principalement constitué de cartes thématiques et de photographies illustrant les zones d'interventions, les pratiques de gestion proposées.
- Disposer de "fiches actions" pour chacune des zones d'intervention. Ces fiches mentionneront les techniques à mettre en place, les structures porteuses potentielles, les budgets et sources de financements mobilisables.
- Suivre des tableaux de programmation annuelle ou pluriannuelle des actions retenues.

Le présent document est construit en 4 parties :

- Etat des lieux et présentation des enjeux du plan de lutte.
- Détermination des objectifs, actions et mode de gouvernance du plan.
- Présentation des fiches actions proposées.

1 Enjeux du plan de lutte contre l'érosion

1.1 Caractéristiques de la zone d'étude

Afin de caractériser au mieux les différentes composantes biophysiques qui influencent les processus d'érosion sur le bassin-versant, nous avons mobilisé sur la zone d'étude des chercheurs et spécialistes en écologie, géomorphologie, pédologie et géomatique depuis 2020 (Annexe 1). Les éléments présentés ci-après valorisent les principaux résultats de leurs travaux ainsi que d'autres études menées antérieurement.

1.1.1 Limites et caractéristiques géographiques et climatiques

Cette étude porte sur la partie haute du bassin versant du Bastan, et couvre une superficie de 63 km². La limite aval se situe en amont des vallées de l'Yse, du Bolou, et du Bastan de Sers. L'altitude est comprise entre 1000 m (Bastan, aval de la zone) et 3091 m (Pic de Néouvielle), avec de larges superficies au-delà des 2000m. Les limites de la zone d'étude se situent sur les lignes de partage des eaux entre Bastan et Adour de Lesponne au Nord, Adour de Grip à l'Est et Neste de Couplan au Sud. Administrativement, la zone est intégralement située dans le département des Hautes-Pyrénées (65), sur les communes de Barèges et de Sers[1], au sein de la Communauté de Communes Pyrénées Vallées des Gaves (CCPVG).

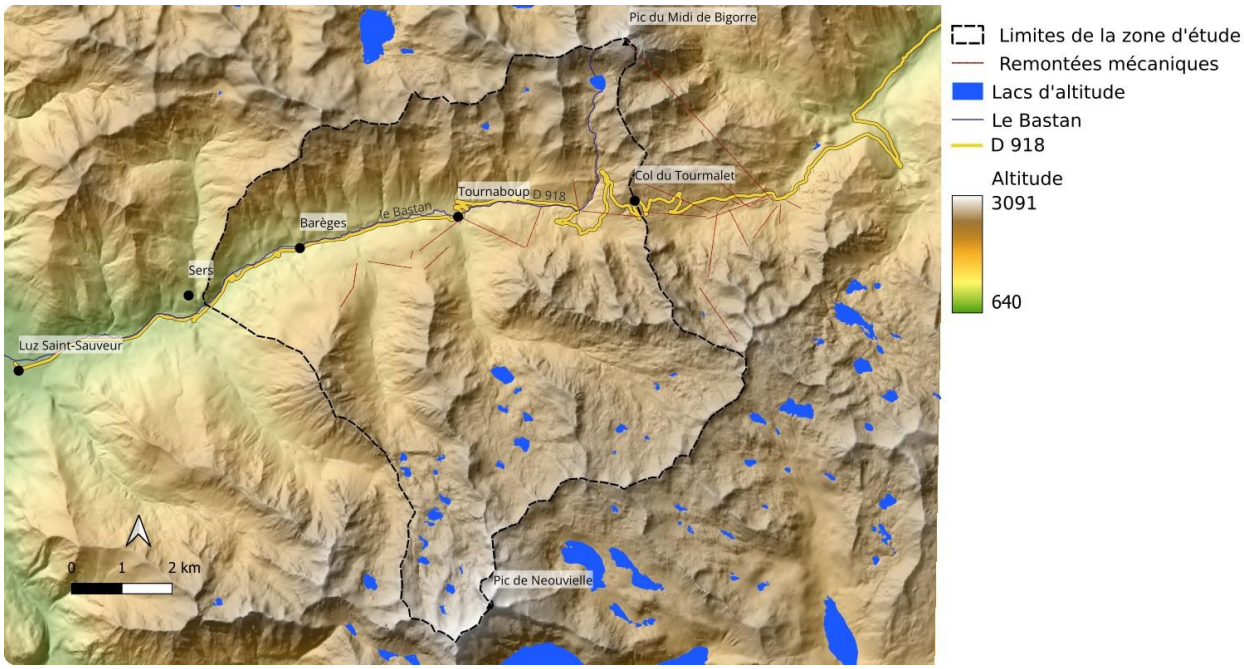


Figure 1 : Localisation et caractéristiques de la zone d'étude. Source : BDTOPO 2013, IGN.

[1] Ainsi que la commune de Betpouey, marginalement, au SO de la zone d'étude

Cette zone présente un climat de montagne avec une forte influence océanique. La station Météo-France la plus proche (Gavarnie, 1410m, 20 km au sud-ouest de Barèges), enregistre une température annuelle moyenne de 8.6°C et des précipitations annuelles moyennes de 1471mm (période 1991-2020). Avec l'altitude, on observe une baisse des températures, une augmentation de la couverture neigeuse hivernale ainsi que des précipitations sur certains secteurs par blocage orographique. La topographie influence localement les conditions aérologiques, avec présence de vents forts à proximité des crêtes, sommets et cols.

1.1.2 Caractéristiques géologiques et pédologiques.

La zone étudiée se caractérise par trois ensembles géologiques distincts influençant la topographie, l'hydrologie et les caractéristiques pédologiques.

La rive gauche du Bastan est occupée par un massif plutonique de grande taille majoritairement composé de granodiorites appartenant au pluton du Néouvielle (secteurs de la Glère, Aygues-Cluses, deths Coubous). En rive droite du Bastan, les terrains sont principalement composés de roches métamorphiques et sédimentaires (pélites schisteuses, gréseuses du Dévonien et de calcaires qui composent le massif Pic du Midi – Ourdégon – Pène det Pourri). Ces deux grands ensembles sont séparées par des roches calcaires, schisteuses et gréseuses du Namurien qui occupent un axe Tourmalet – Barèges (fond de vallée, bas de versant en rive droite, massifs d'Espade, Caoubère, Ayré avant la transition granodioritique), et recouverts en fond de vallées par des dépôts morainiques et sédimentaires récents [1]. Ces deux derniers ensembles présentent des roches moins dures que la partie granitique, et concentrent la plus grande partie des zones à risques érosifs observés dans la zone. De nombreux glissement de terrains sont observés au sein des formation superficielles de fond de vallée, et des marques d'érosion concentrées sont visibles dans le secteur du Tourmalet et dans les terrains calcaires et schisteux en rive droite du Bastan, notamment sans sa partie amont.

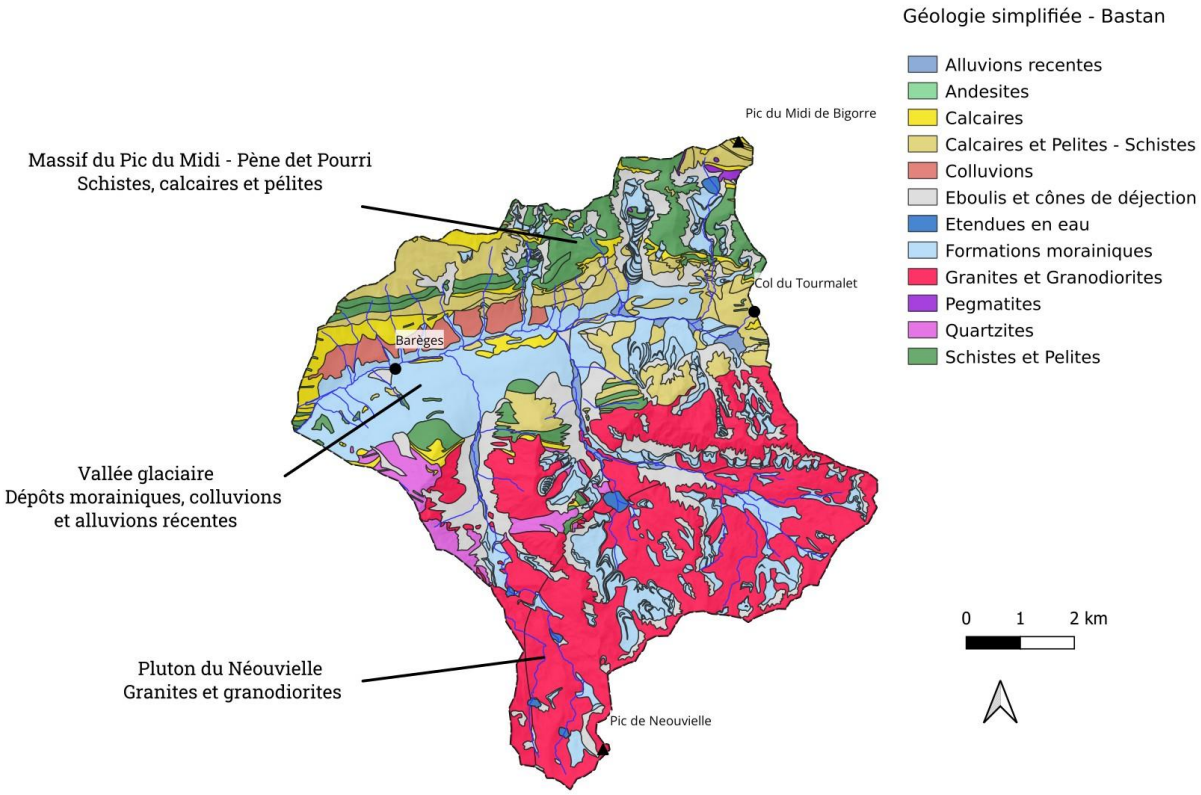


Figure 2 : Carte géologique de la zone d'étude. Source : BRGM, légende modifiée.

Les études pédologiques réalisées [2] dans la zone et synthétisée dans la carte ci-dessous (Figure 12) montrent 4 grands ensembles correspondant aux trois ensembles géologiques précédemment cités, avec un quatrième ensemble occupant le fond de vallée et constitué de sols acides situés sur des formations morainiques ou superficielles récentes. Ces zones en secteurs morainiques ou alluvionnaires, ainsi que les deux ensembles situés de part et autres de l'axe de la vallée (sols situés en domaine calcaire à calcshistes et sols acides situés en domaine schisteux concentrent la plupart des phénomènes érosifs observés dans le bassin versant (glissements de terrain, érosion concentrée). Les sols acides et très acides situés en domaine granodioritiques se situent en revanche dans des secteurs où peu de phénomènes érosifs sont observés.

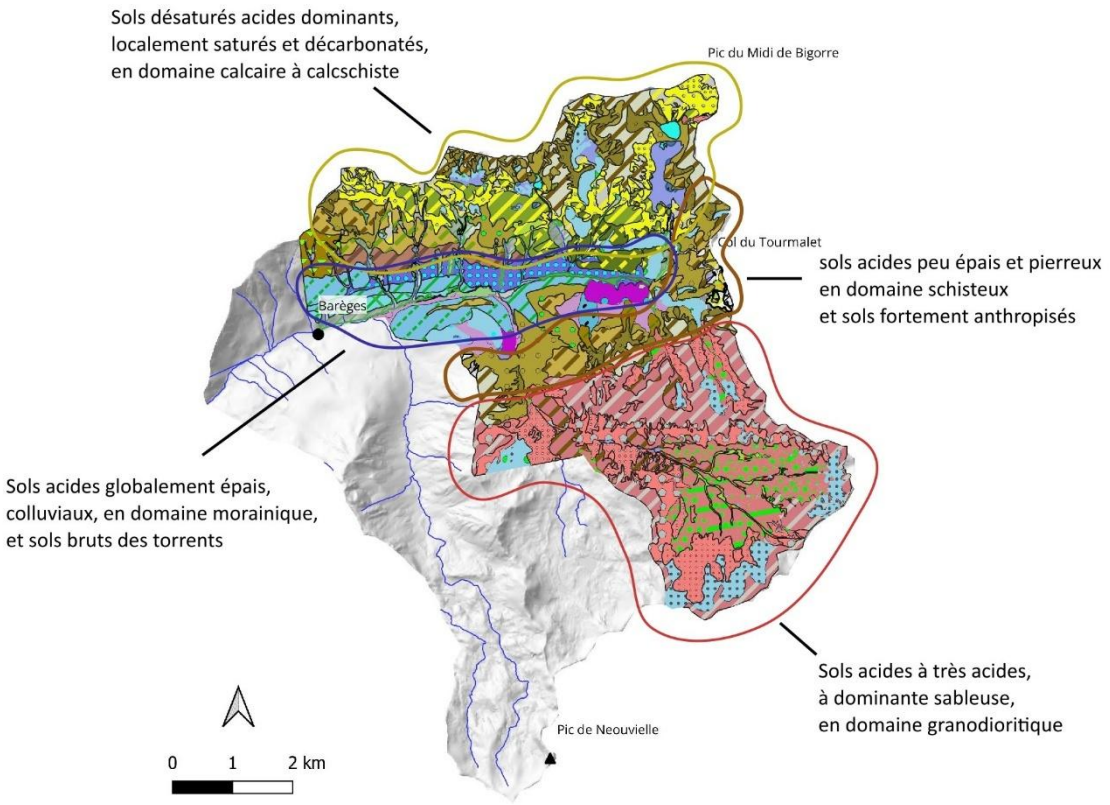


Figure 3 : Carte des sols de la zone d'étude et délimitation des grands ensembles pédologiques. Source : TOPSOL, un Secteur de Référence pédologique dédié à la connaissance et à la restauration des sols de montagne. [2]

1.1.3 Caractéristiques écologiques

Le bassin versant est caractérisé par un important gradient altitudinal (> 2000m), associé à une importante diversité géologique et pédologique, avec une opposition marquée entre versants exposés sud et nord. Cette diversité de conditions environnementales explique une importante diversité floristique et faunistique, avec une action marquée des activités agro-pastorales sur les communautés végétales et les caractéristiques paysagères.

La partie aval du bassin versant est caractérisée par la présence de forêts (hêtraie sapinière dans les secteurs du Capet - Ayré) dans les zones les plus pentues, et par la présence de nombreuses prairies de fauches en fond de vallée ainsi que sur les versant sud, à des altitudes inférieures à 1500m.

Sur la partie médiane – amont, les versants exposés sud sont caractérisés par des milieux ouverts : prairies des étages montagnard et subalpin, progressivement remplacées par des pelouses subalpines présentes jusqu'à l'approche des sommets (environ 2500 m).

Les versants exposés nord sur substrat granitique présentent une diversité de communautés végétales davantage marquée, avec la présence de peuplements de pins à crochets cédant

progressivement leur place à des pelouses subalpines puis à des milieux peu ou pas végétalisés à l'étage alpin puis à l'étage nival (> 2800m).

Cette diversité de milieux naturels rencontrés a justifié le classement en zones Natura 2000 au titre de la directive Habitat de grandes superficies au sein du bassin versant, avec trois zones Natura 2000 (Néouvielle, Barèges-Ayré-Piquette et Lac Bleu – Léviste). L'ensemble du territoire d'étude se situe dans l'aire d'adhésion du Parc National des Pyrénées, et la plus haute partie du bassin versant de la Glère se situe en zone cœur du Parc National.

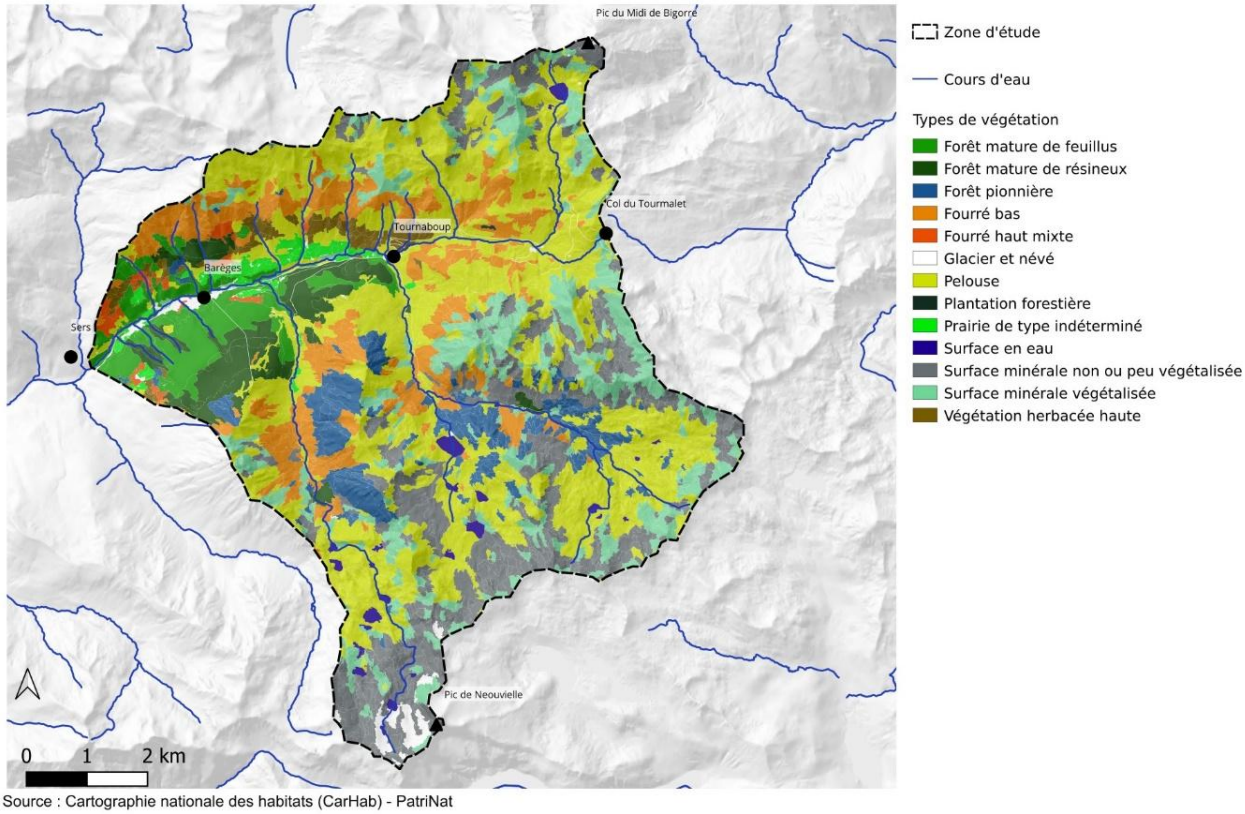


Figure 4: Carte simplifiée d'occupation des sols et des végétations. Source : Cartographie CarHab [3]

1.1.4 Propriétaires et gestionnaires des sols

Le territoire de la zone d'étude est principalement constitué de terrains d'estives indivis appartenant aux 16 communes du « Pays Toy » (77%). Ces communes sont représentées par la Commission syndicale de la Vallée du Barège (CSVB) qui assure la gestion de ces terrains. Bien que son fonctionnement agro-pastoral soit proche de celui observé dans les autres parties du Pays Toy, cette vallée de Barèges constitue un territoire à part entière, correspondant à l'ancien Vic de Labatsus [4]

A proximité du village de Barèges, des terrains ont été acquis par l'Etat à la fin du XIXe siècle afin d'y développer des reboisements pour stabiliser les sols et le manteau neigeux. Ces forêts de protection sont principalement gérées par l'ONF et le service RTM.

Dans le fond de vallée, de nombreuses parcelles de prairie de fauche sont entretenues par les agriculteurs. Sur certains secteurs pentus difficilement mécanisables, certaines parcelles appartenant à des particuliers se sont boisées. Plusieurs parcelles situées entre Barèges et Betpouey appartiennent aux communes de Sers et de Barèges.

1.1.5 Aménagements humains et usages des sols

La zone d'étude concentre plusieurs types d'aménagements : routiers, hydrauliques, touristiques, pastoraux, anti-érosifs, etc.

Ces aménagements ont des impacts divers sur les processus d'érosion. Ils permettent le développement des principales activités observées dans les Pyrénées (tourisme d'hiver et d'été, agriculture, production d'électricité et gestion forestière, etc.). Sur les plans économiques, le développement des activités touristiques s'est fait de manière cloisonnée par rapport aux activités agricoles [4]. Cependant, le maintien des paysages agro-pastoraux confère à cette vallée un caractère authentique et pittoresque.

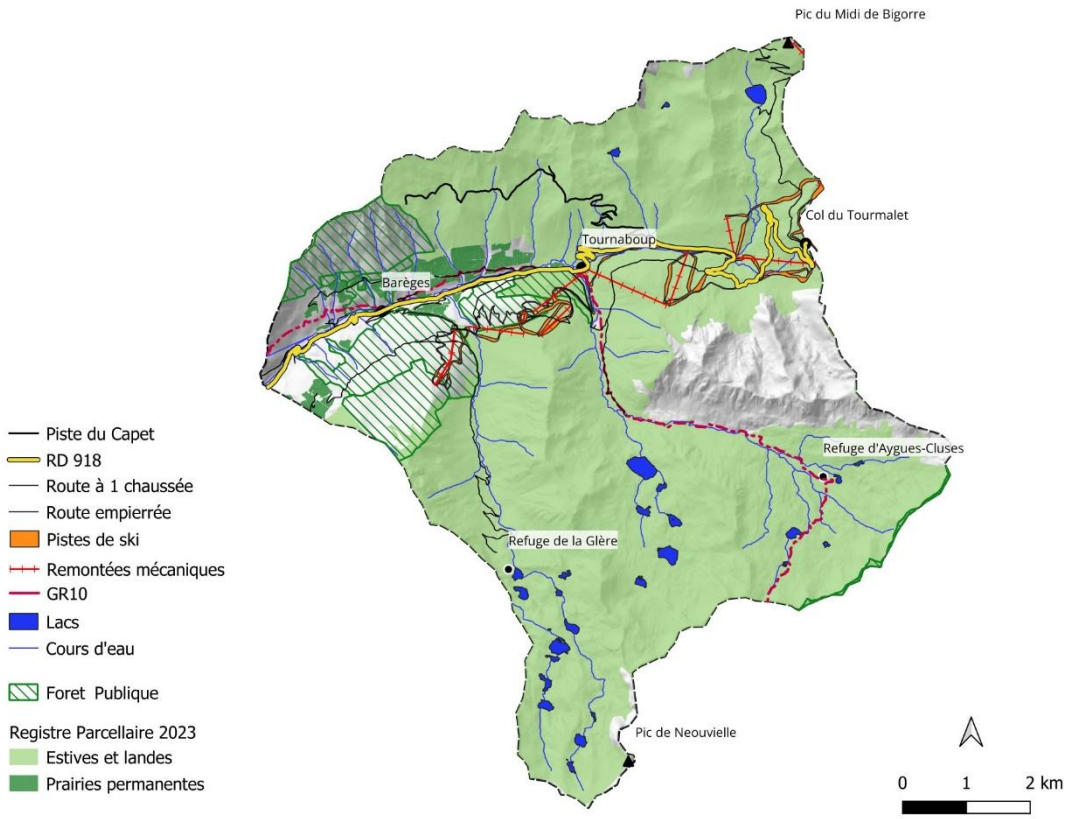


Figure 5 : Carte des différents usages (agricoles, forestiers et touristiques) sein du bassin versant. Sources : BD Topo, BD Ortho 2024, RPG 2023.

1.1.5.1 Agriculture et pastoralisme

Les activités agricoles sont exclusivement liées à l'élevage extensif d'ovins et de bovins, avec deux zones d'activités distinctes en interactions : 1) les zones de prairies de fauches de la partie aval, servant également de pâturages aux intersaisons et 2) les zones de parcours (estives), qui occupent une grande partie des zones herbeuses du bassin versant, à l'exception des zones les plus pentues ou situées à haute altitude. Elles sont occupées par les troupeaux de la fin du printemps à l'automne. Les zones gérées par la Commission syndicale de la vallée du Barège représentent ainsi la quasi-totalité des surfaces en milieux ouverts de la partie amont.

La persistance d'activité de fauches traditionnelles en altitude, comme la présence de granges fortifiées dans ces zones d'altitude avalancheuses font partie des éléments patrimoniaux caractéristiques de cette vallée [4]. Les prairies de fauches étaient autrefois irriguées grâce à un réseau de canaux permettant de partager l'accès à l'eau sur les différentes parcelles.

Le chargement animal sur les estives se maintient mais on constate depuis plusieurs années une diminution des effectifs d'ovins et une augmentation des bovins. Du printemps à l'automne, les animaux sont en pâturage libre sur les estives conformément au cahier des charges de l'AOP "Mouton Barèges Gavarnie". Les éleveurs se déplacent régulièrement sur les estives pour s'assurer de leur bon état et de la disponibilité des ressources en eau et en fourrages.

La couverture végétale comme l'occupation des surfaces par les activités agricoles, et leurs interactions réciproques, font partie des paramètres pris en compte dans l'évaluation des enjeux érosifs au sein de la zone d'étude.

1.1.5.2 Aménagements routiers :

La construction de la route qui mène au Tourmalet s'est faite en plusieurs étapes. Au XVIIe siècle un chemin permettait déjà le passage par le Col du Tourmalet vers la vallée de Campan. D'importants travaux sont ensuite développés dans les années 1860 sous Napoléon III pour transformer le chemin muletier en route thermale. Elle est ensuite rapidement utilisée par les automobilistes dans les années 1930 [5], avant d'être considérablement élargie dans les années 1950. De larges surfaces en aval ont alors été recouvertes de déblais.

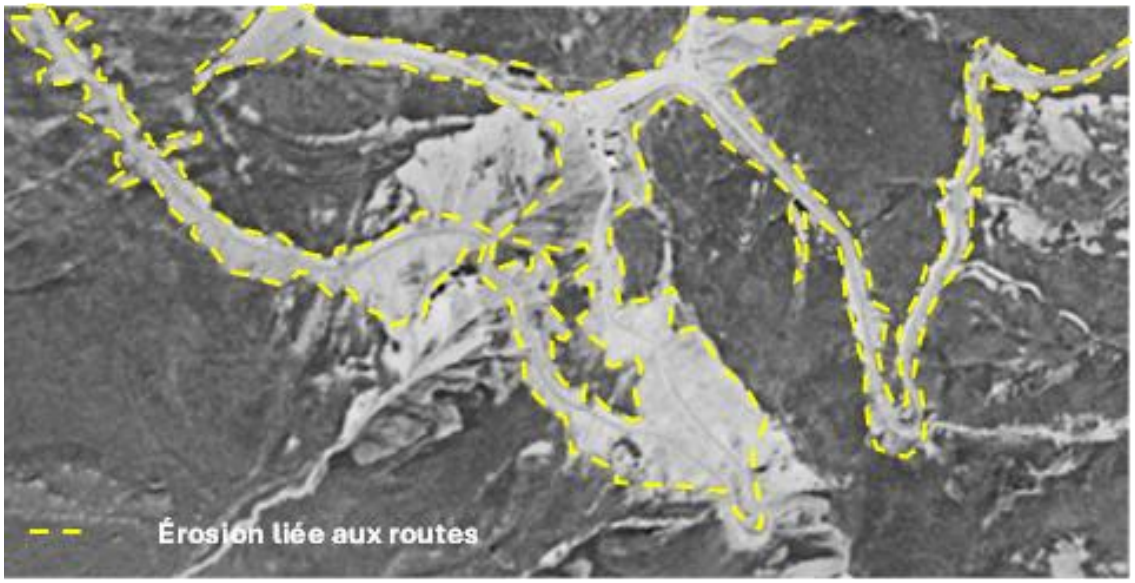


Figure 6 : Zones dénudées au niveau du col du Tourmalet à la suite des travaux routiers (Année 1961)

En 2023, cette route a été localement élargie dans sa partie haute pour permettre les croisements de véhicules encombrants. Dans ces derniers lacets avant l'arrivée au col, la **RD918 s'affaisse localement**. Sur cette zone, elle repose sur un substrat rocheux friable composé de schistes et calschiste [1]. La recolonisation végétale spontanée y est limitée par le glissement vers l'aval des plaquettes de calschiste, lors des précipitations par des alternances de gel-dégel et des conditions climatiques contraignantes.

Cette infrastructure modifie donc fortement le cheminement des eaux et la stabilité des terrains. Sans actions visant à mieux répartir les écoulements d'eau et limiter les dégradations des végétations et des sols sur ses abords, elle restera exposée aux processus d'érosion.

1.1.5.3 La station de ski du Grand-Tourmalet (versant Barèges) :

En 1921, Barèges possédait déjà une école de ski et en 1936, elle eut la première remontée mécanique des Hautes-Pyrénées (funiculaire du Lienz). Une première liaison entre les domaines skiables de Super-Barèges et de la Mongie a été réalisée en 1975. Dans les années 2000, les deux stations ont fusionné pour former le domaine skiable du Grand Tourmalet.

Sur cette période et jusqu'en 2020, plusieurs chantiers ont été entrepris pour installer des remontées mécaniques, créer et améliorer le tracé de pistes de ski.

La plupart des pistes et des remontées anciennes semblent avoir des effets limités sur l'érosion du sol. Seuls les aménagements réalisés dans les années 2015 (secteur piste du Tourmalet et Secteur Castillon et Piquette) et en 2020 (bas de la piste du Tourmalet et piste partant de la gare d'arrivée de Caoubère) semblent modifier les écoulements d'eau et exposent les sols à l'érosion. Afin de limiter l'érosion sur ces secteurs, la station met en œuvre des actions de revégétalisation en lien avec des éleveurs.

1.1.5.4 Aménagements hydro-éléctriques :

Le barrage de Dets Coubous est situé à 2040 m. d'altitude. La superficie du lac est de 7 ha et sa profondeur maximale de 23 m. Ce lac a été réhaussé par un barrage d'une hauteur de 20 m mis en service en 1954 à des fins de production d'énergie. La station de pompage de la Glère (2000 m) pompe l'eau du lac Dets Coubous vers le barrage de Cap-de-long. Il est également relié par une conduite souterraine à la vallée d'Aygues-Cluses, et est complété par des conduites pour acheminer l'eau vers la vallée du Néouvielle.

Le barrage de Cabadur légèrement en aval du village de Barèges a été réalisé sur le Bastan. Il a pour objectif de prélever une partie du débit de la rivière pour l'acheminer vers la centrale hydroéléctrique d'Esterre. Cet ouvrage impacte le fonctionnement hydrologique du Bastan mais n'accentue pas les problèmes d'érosion sur la partie amont de la zone d'étude.

1.1.5.5 Gestion forestière :

Les deux principaux types de boisements rencontrés sont :

1. La forêt domaniale de l'Ayré (268 ha dont 91 ha sont en site classé) située sur les villages de Barrèges, Betpouey et Viella. Cette forêt mixte est principalement composée de bouleaux, épicéas communs, mélèzes d'Europe, pins sylvestre, pins à crochets, sorbiers des oiseleurs et sapins pectinés. Les essences exploitées pour le bois sont les conifères et le hêtre lorsqu'ils sont âgés de plus de 120 ans et leur diamètre dépasse les 50 cm. Les prélèvements annuels de bois sont de 2 à 3 m3/ha/an.[6]. Cette forêt est gérée par le service RTM de l'ONF conformément au plan d'aménagement forestier élaboré pour la période de 2019-2038.
2. La forêt domaniale du Capet (218 ha) située sur les pentes de la commune de Sers surplombant le village de Barèges [7]. Cette forêt est principalement composée de chênes sessiles, érables sycomore, hêtres, mélèzes d'Europe, pins sylvestre et pins à crochets. Sa vocation première étant la protection de Barèges contre les avalanches, et plus de la moitié de sa surface n'est pas exploitée, le reste étant géré en futaie irrégulière. Cette forêt a été installée en grande partie dans le cadre de la loi du 28 juillet 1860 sur les reboisements de montagne afin de prévenir les risques avalancheux. L'arrêté préfectoral du 10 juin 1886 a permis de déterminer les propriétés devant être cédées à l'Etat. Cette forêt a donc comme principal objectif la protection de Barèges contre les avalanches et les crues torrentielles. Sa gestion consiste donc à maintenir un couvert forestier dense et irrégulier en prélevant essentiellement les gros bois sur les parties avales pour maintenir des taillis diversifiés.

1.1.5.6 Dispositifs de préservation de l'environnement et des paysages :

Site classé :

Afin de préserver l'authenticité des éléments paysagers et culturels de la tête du bassin-versant située en amont du pont de la Glère, cette zone d'une surface de 5754 ha a été reconnue par les instances publiques comme site classé en 1932. Cela signifie que tout aménagement ou modification doit faire l'objet d'une autorisation préfectorale ou ministérielle.

Sites Natura 2000

Trois sites Natura 2000 ont également été délimités dans cette vallée, situés surtout en zones d'altitude. Un document d'objectifs et des fiches action, établis en concertation avec les acteurs locaux, visent à préserver et valoriser leurs richesses naturelles et patrimoniales.

Le premier site « Barèges, Ayré, Piquette » a été retenu en 1998 comme Site d'Intérêt Communautaire. Il a ensuite été intégré dans le réseau des sites Natura 2000 pour sa végétation caractéristique de la haute montagne pyrénéenne et des milieux humides et aquatiques. Sur la zone d'étude, ce site couvre 1440 ha. Son dernier document d'objectifs remonte à 2006 [8] mais une version actualisée devrait être publiée en 2025.

Le deuxième site « Lac bleu, Léviste » a été proposé en 1998 comme Site d'Intérêt Communautaire. Il a été intégré dans le réseau des Sites Natura 2000 pour sa végétation caractéristique de la haute montagne pyrénéenne sur schistes et calcaires. Sur la zone d'étude, ce site couvre 540 ha. Son dernier document d'objectifs date de 2007 [9].

Le troisième site, « Néouvielle » s'étend sur la partie haute des versants en rive gauche du Bastan, en amont de la zone Natura 2000 « Barèges, Ayré, Piquette » et sur les zones granitiques du massif de Néouvielle située dans le bassin versant de la vallée d'Aure et du Haut-Adour (hors zone d'étude). La superficie comprise dans le bassin versant du Bastan est de 1495 ha. Il a été intégré dans le réseau des Sites Natura 2000 pour sa végétation caractéristique de la montagne pyrénéenne siliceuse et des milieux humides et tourbeux d'altitude [10], [11].

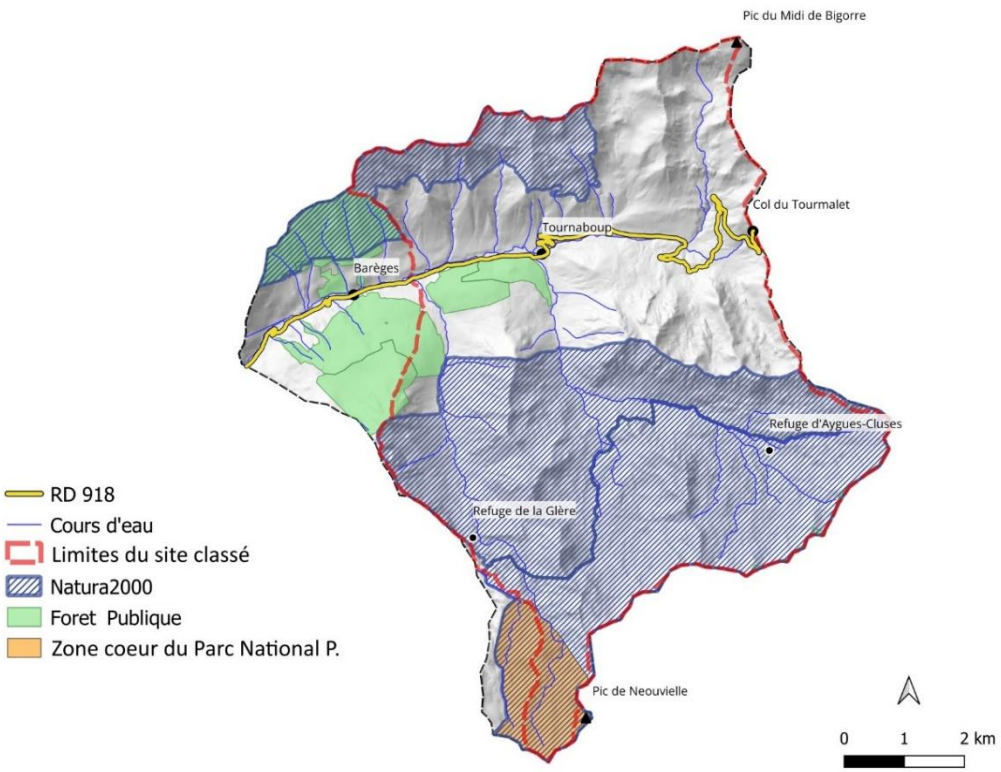


Figure 7 : Dispositifs de préservation de l'environnement, sites classés et zones protégées. Vallée du Bastan

1.1.5.7 Risques naturels et érosion dans la vallée du Bastan

La vallée du Bastan a fait l'objet d'une attention particulière dès le XIXe, après une succession de catastrophes naturelles d'ampleur, lui conférant le surnom de « vallée des catastrophes » [12]. Pour la période située entre 1644 et 1982, plus d'une trentaine d'épisodes d'avalanches d'importance ont été recensés, avec destructions de bâtiments, obstruction de voiries, voire victimes [13]. L'exposition des infrastructures et habitants de la vallée à ces risques d'avalanches récurrents a justifié dès la fin du XIXe siècle la mise en place de mesures de lutte contre ces aléas par les services du RTM [13], qui ont également réalisé des interventions sur les ravins torrentiels [14]. En ce qui concerne les crues, plus d'une cinquantaine d'événements ont été recensés entre 1760 et 2018, le dernier événement marquant remontant à juin 2013, engendrant une modification importante du tracé du cours d'eau sur certaines sections et de très importants dégâts matériels. Lors de fortes crues, la dynamique hydro-sédimentaire est variable en fonction des événements. En 1897, des laves torrentielles (mélange d'eau, de sédiments et de blocs) issus des torrents en rive gauche sont rapportés, tandis qu'en 2013, aucune lave torrentielle n'est mentionnée, mais des apports liquides très conséquents sont observés provenant des grands affluents en rive gauche (Dets Coubous, Bolou, Glère), dont les bassins versants amont étaient très enneigés. Lors de ces grands événements, les formations superficielles (moraines, cônes d'éboulis et d'avalanche, alluvions récentes) ont été identifiées comme jouant un grand rôle dans la fourniture sédimentaire du cours d'eau [14], [15], avec des impacts à l'aval.

1.2 Erosion des sols : synthèse des travaux menés

Dans cette partie, est résumé l'ensemble des études et travaux conduits depuis 2018 sur la zone d'étude. Ils décrivent les processus d'érosion à l'œuvre, leurs localisations et leurs intensités.

Les principaux processus érosifs ayant fait l'objet d'étude sur ce bassin versant sont :

1. Les glissements de terrains superficiels. Cas où une masse de sol se déplace le long d'une pente [16]. Une étude sur leur localisation a été réalisée par R. Bekaert [17], et est développée dans ce rapport.

2. L'érosion en nappes : Se caractérise par une lame d'eau s'écoulant sur une surface de manière diffuse, avec transport des sédiments détachés du sol par les impacts des gouttes de pluie [18]. Au sein du bassin versant, ce type d'érosion est observé sur des surfaces peu ou pas végétalisées, relativement homogènes, comme certaines pistes de ski et sentiers de randonnée.

3. L'érosion concentrée, en rigoles ou en ravines. La concentration de l'écoulement de l'eau dans des rigoles ou ravines, et la vitesse de l'écoulement (énergie cinétique) est suffisante pour détacher des sédiments et les transporter. Ce type d'érosion est notamment observé dans les pentes raides peu végétalisées au niveau de la zone du Col du Tourmalet.

4. L'occurrence de crues torrentielles d'importance à la suite de phénomènes météorologiques d'ampleur, comme survenu en Juin 2013, et impactant une grande partie du bassin versant.

Deux autres processus d'érosion problématiques sont également observés dans la zone d'étude. Il s'agit de :

5. L'érosion entraînée par les avalanches, notamment les avalanches de neige humide et avalanches de fond, avec arrachements et transport vers l'aval de substrat (sol, roche mère, végétaux).

6. L'érosion due aux alternances gel et dégel et cryoclastie. Ces alternances entraînent la désolidarisation des éléments du sol et leur chute par gravité lors du dégel. Les alternances de gel-dégel peuvent favoriser la fragmentation des substrats rocheux (cryoclastie), avec mobilisation de sédiments et chutes de blocs par gravité.

L'ensemble de ces processus participent à une dégradation de la qualité des sols, à une dégradation de la qualité des eaux (apport sédimentaires, turbidité), et peuvent avoir des impacts tant sur les biens, infrastructures et personnes que sur les activités économiques dans la vallée.

Sont décrites dans cette section les principales études réalisées sur ces phénomènes, leur ampleur ainsi que leur localisation.

1.2.1 Glissements de terrain : localisation et facteurs déterminants

Un recensement des glissements de terrain superficiels sur la zone a été réalisé dans le cadre de la thèse de Master de Robin Bekaert, supervisé par Amaury Frankl (Ghent University).

Ce travail avait notamment pour objectif l'identification de zones concentrant des glissements de terrain, mais également la détermination de facteurs géomorphologiques et géographiques permettant d'expliquer leurs présences. L'identification des glissements de terrain a été réalisée par observation in situ, ainsi que par identification sur des images satellites. La détermination des facteurs explicatifs a été réalisée avec des analyses statistiques (régressions logistiques) sur un ensemble de variables environnementales et d'utilisation des sols.

Résultats :

Recensement des glissements de terrain : 1028 glissements de terrain superficiels ont pu être identifiés. La plus grande majorité d'entre eux se situe à moyenne altitude (entre 1500 et 2200 m), en milieu ouvert et dans des zones pentues (Col du Tourmalet, versants exposés Sud en rive droite, pentes raides des massifs d'Ayré, Caoubère et Piquette). Seules les zones situées dans le secteur granitique en rive gauche du Bastan ne présentent pas ou peu de glissements de terrains.

On retrouve également un nombre important de glissements en fond de vallée, sur les berges du Bastan et sur les versants en amont, notamment en aval de Tournaboup.

Figure 8 : Zone de fortes concentrations en glissements de terrains superficiels. Montagne d'Ourdégon, altitude : 2000m.

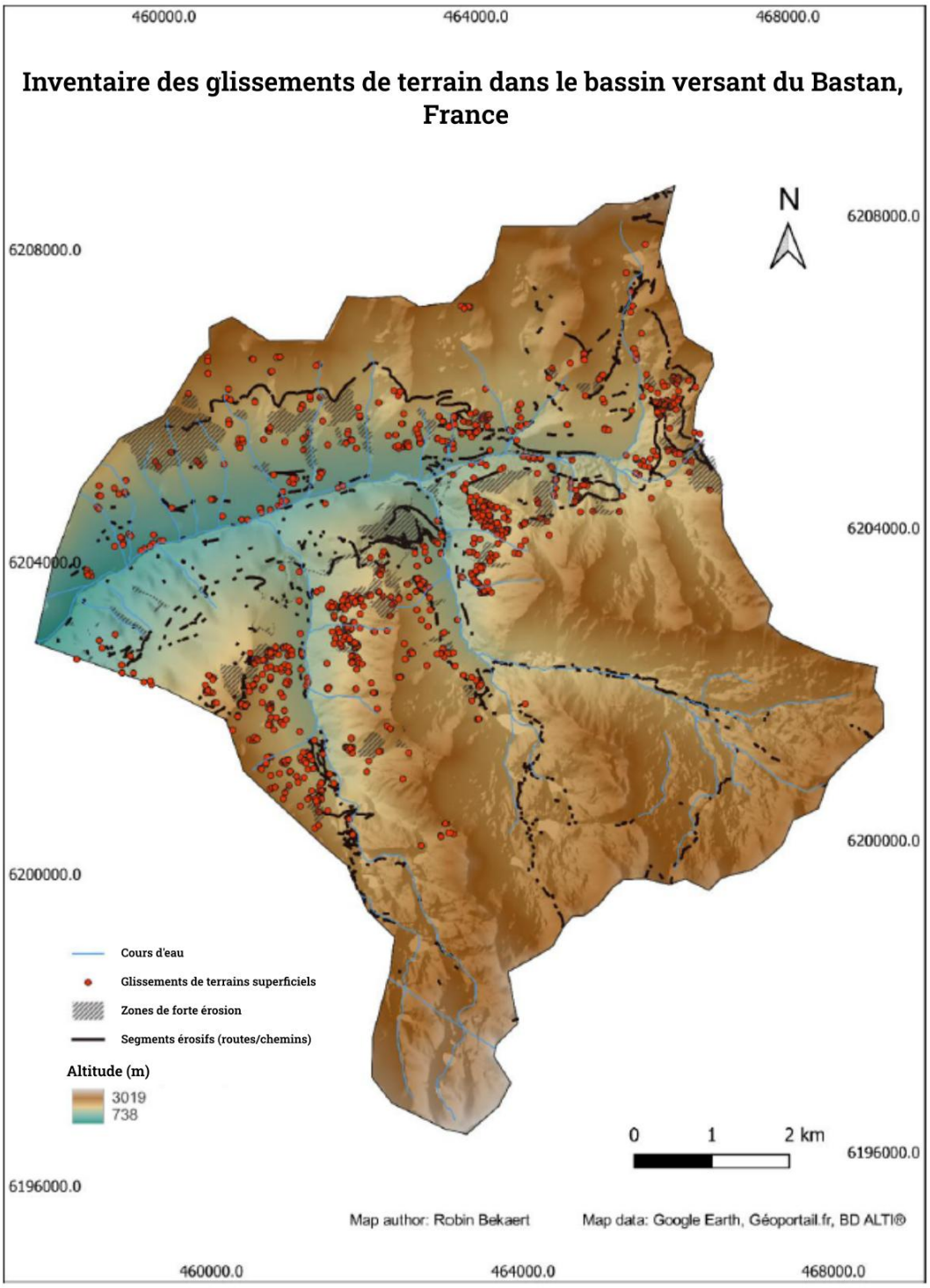


Figure 9 : Inventaire des glissements de terrains (points rouges), des hotspots d'érosion (zones hachurées) et segments de routes/chemins érosifs (segments en noir). Carte : Robin Bekaert.

<u>Variables environnementales explicatives :</u> A la suite des modélisations statistiques réalisées, les variables indépendantes identifiées comme ayant un effet significatif sur la présence de glissements de terrains sont : le profil de courbe du terrain, la pente, l'altitude, la distance à des segments de route/chemins érosifs, le type de végétation et la nature géologique des roches mères.

L'identification des ces variables environnementales a permis la synthèse d'une carte de susceptibilité d'occurrence de glissements de terrains à partir des coefficients issus des modèles utilisés.

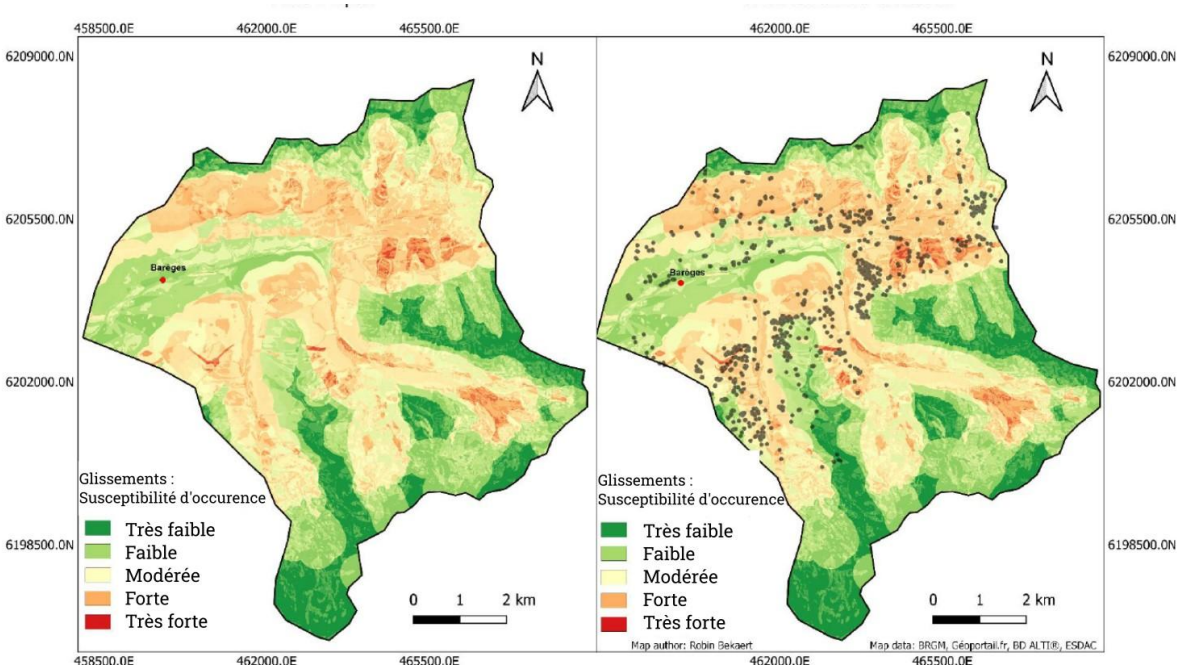


Figure 10 : Carte de susceptibilité d'occurrence des glissements de terrain dans la zone d'étude. Carte : Robin Bekaert.

Les analyses statistiques ainsi que la carte de susceptibilité d'occurrences des glissements de terrain appuient les conclusions précédemment tirées de l'observation in situ et par satellite des glissements de terrain. Les zones en orange et rouge sur la carte représentent les zones à forte susceptibilité d'occurrence des glissements. Ces analyses soulignent l'importance de certaines variables environnementales dans l'occurrence des glissements (pentes entre 25° et 43°), des profils de courbes non réguliers, une altitude située entre 1500 et 2200 m. Certaines variables déterminantes peuvent également être directement liées à des activités humaines, notamment le type de végétation, ou la distance à des segments de routes/chemins érosifs, qui favorisent la présence de glissements de terrains.

1.2.2 Connectivité sédimentaire

Une estimation de la connectivité sédimentaire par modélisation a également été effectuée lors de la thèse de Master de R. Bekaert.

La connectivité sédimentaire peut être définie comme la possibilité, pour une particule sédimentaire, d'atteindre le puit sédimentaire le plus proche par transport. De fortes valeurs de connectivité sédimentaires indiquent une forte connexion entre les zones amont et les puits en aval. L'index de connectivité sédimentaire en un point donné du bassin versant (IC, [19], [20])

tient compte de la partie amont pouvant influencer le transport des sédiments (pente moyenne, aire de la zone amont contribuant au transport, occupation du sol), ainsi que des caractéristiques du trajet en aval (pente moyenne des différentes sections traversées jusqu'au puit, longueur des différentes sections, occupation des sols).

Résultats :

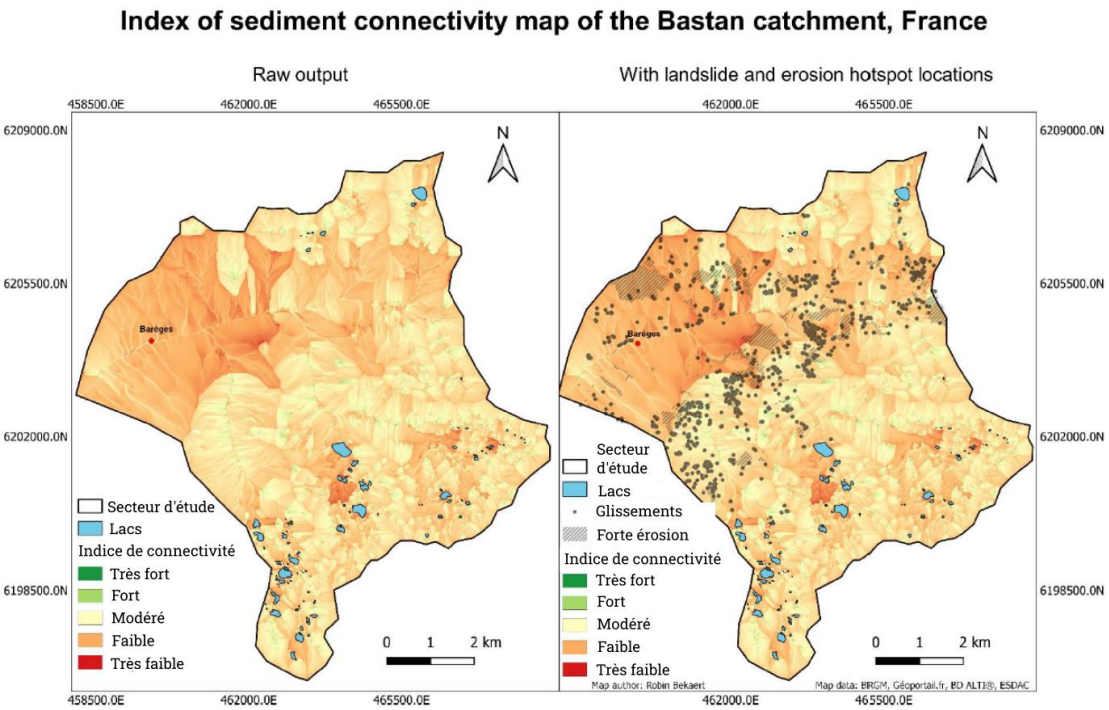


Figure 11 : Index de connectivité sédimentaire. Bassin versant du Bastan. Robin Bekaert.

Les zones avec les connectivités sédimentaires les plus faibles (couleurs rouges-orangées) sont localisées à l'aval du bassin versant, dans les zones où la couverture forestière et une bonne couverture végétale limitent fortement le transport des particules sédimentaires vers l'aval. Les zones peu pentues de haute altitude (secteurs lacustres granitiques notamment), présentent également de faibles valeurs de connectivité.

Les zones de forte connectivité (zones en jaune – vert) se situent en milieux ouverts, soit dans des zones de fortes pentes (cirques glaciaires, couloirs d'avalanches) soit dans les zones d'écoulement temporaires ou permanentes des eaux (rivières, ravins).

Dans leur majorité, les glissements de terrain observés (carte de droite), se situent à 63% dans une zone à connectivité modérée (contre 0 observés dans des zones à très faible connectivité, et 35.4% dans des zones à faible connectivité). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus précédemment lors d'une étude sur la torrentialité dans le bassin versant du Bastan [14].

1.2.3 Fourniture sédimentaire lors de crues dans la vallée du Bastan

À la suite de la crue du Bastan de 2013, plusieurs études ont été menées dans le cadre d'une thèse de doctorat sur la torrentialité de plusieurs vallées du versant nord des Pyrénées, dont la vallée du Bastan [14]. Les trajectoires hydro-sédimentaires et la connectivité sédimentaire (voir § 2.2) dans la zone d'étude ont été étudiées en détail, en se basant également sur l'étude d'une crue d'ampleur survenue en 1897.

En termes de dynamique sédimentaire, cette étude met en évidence l'importance jouée par les formations superficielles dans la fourniture de sédiments lors de la crue de 2013, notamment celles de fond de vallée et de pied de versant (dépôts fluvio-torrentiels, glissement de terrains, cônes mixtes et dépôts glaciaires) très connectées au réseau hydrographique. Bien que non mobilisés lors de la crue de 2013, des sédiments issus de processus de gélifractions sur les parties hautes de versants raides sont également susceptibles de contribuer à l'apport en sédiment lors de forts événements pluvieux. A contrario, les versants abrupts végétalisés (rive droite du Bastan), ainsi que les zones granitiques de la partie sud du bassin versant n'ont que peu contribué à l'apport de sédiments dans le Bastan.

1.2.4 Identification des zones à forts risques d'érosion

<u>Identification par modélisation et imagerie satellite</u>

L'étude des glissements de terrains associée à une estimation de la connectivité sédimentaire a permis l'identification de 24 zones à fort risque érosif (Robin Bekaert, 2022). Ces zones se caractérisent par la présence de nombreux glissements de terrains, de zones d'érosion visibles et étendues, ainsi que par une forte connectivité sédimentaire. La carte de ces zones est présentée en Figure 10.

Ces 24 zones peuvent être regroupées en 3 secteurs :

1. <u>Secteur 1</u> : Un ensemble des zones de pentes raides et couloirs en haute montagne, loin d'installations, routes et infrastructures, situées sur les massifs Piquettes/Ayré/Glère.

2. <u>Secteur 2</u> : Le secteur du Col du Tourmalet, comprenant la zone du col elle-même, le ruisseau du Tourmalet, ainsi qu'une zone en surplomb de la RD 918 entre la zone du col et le virage de Toue. Cette zone concentre un ensemble d'enjeux liés au tourisme (zone du Col, station de ski), ainsi qu'aux voies de communications.

3. <u>Secteur 3</u> : Une large zone en rive droite du Bastan, à moyenne altitude dans les zones du ruisseau du Lac deth Ca, des montagnes d'Ourdégon, de Beyredo et de Lahude. Il s'agit de zones sans infrastructures, à l'exception d'un captage d'eau alimentant la commune de Barèges (Ruisseau de Lac deth Ca). Une piste stratégique pour l'élevage et l'accès à des infrastructures ONF traverse cependant ces zones (Piste du Capet), et fait l'objet d'un entretien régulier.

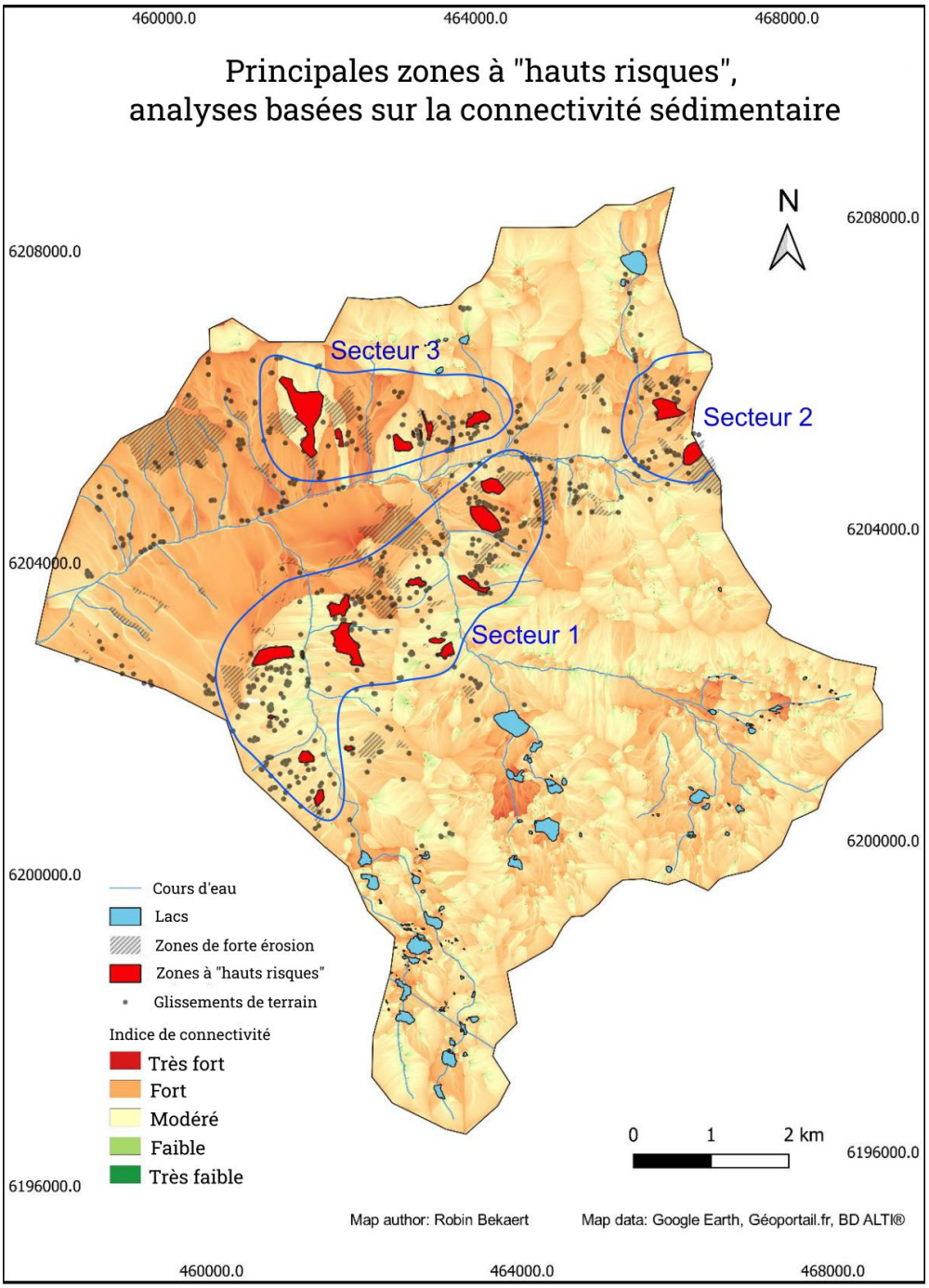


Figure 12 : Carte synthétique représentant les zones à forts risques érosifs (rouges) dans le bassin versant, la connectivité sédimentaire (IC), les hotspots d'érosion, ainsi que de la présence de glissements de terrains. Les 3 secteurs décrits en 3.1 sont entourés en bleu. Carte : Robin Bekaert.

1.3 Relation entre érosion des sols et biodiversité

En altitude, la formation d'une couche de sol de 10 cm nécessite plusieurs milliers d'années. Cette ressource est particulièrement fragile et sa dégradation peut être irréversible (érosion plus puissante que les facultés d'installation des végétaux). En montagne, elle est influencée par la nature des roches mères, les formes de relief, le climat froid et humide et les agents biologiques (racines, animaux fouisseurs, champignons, bactéries ...). Dans cette étude, nous focalisons en priorité sur la conservation de cette ressource fondamentale par le biais de la gestion des problèmes d'érosion. Les sols constituent des écosystèmes à part entière et sont le socle du développement de la vie terrestre. Ils assurent de nombreuses fonctions.

Figure 13 : Schémas des services écosystémiques et fonctions assurés par les sols. Source FAO, 2015.

Dans cette étude, l'enjeu environnemental que nous privilégions est donc celui de la préservation des sols car cela nécessite et implique le maintien en bon état de l'ensemble des habitats naturels du bassin-versant. Les surfaces occupées par des sols fonctionnels sont directement corrélées aux surfaces couvertes par des habitats naturels en bon état de conservation car ces deux composantes sont complétement interdépendantes.

1.4 Analyse des enjeux socio-économiques de l'érosion

1.4.1 Perceptions des acteurs locaux sur les problèmes d'érosion

En 2020, une enquête a été conduite auprès de 16 représentants des acteurs de la gestion environnementale de la zone d'étude [21]. Il ressort de ces travaux que :

- La ressource naturelle la plus importante pour la plupart des acteurs est l'eau.
- Les problèmes environnementaux les plus perçus sont les phénomènes d'érosion (plus de 50% des enquêtés), la dégradation des paysages, la fermeture des milieux et le réchauffement climatique ;
- La majorité des acteurs de la vallée (67%) perçoivent une évolution négative de la situation environnementale ces dernières années ; Le rôle majeur des végétations dans la vallée pour les acteurs est le maintien du sol (33%) et la production de ressources fourragères (11%).
- Tous les acteurs ont été et sont confrontés à des dégradations environnementales entraînées par l'érosion des sols. Les causes de l'érosion sont pour eux d'origines naturelles et anthropiques. Les gestionnaires rencontrés se sentent souvent démunis pour limiter ces problématiques.
- Les mouvements de terrain, les chutes de pierres et le ravinement des sols sont particulièrement craints.
- Pour la plupart des personnes enquêtées, une forte volonté politique et des actions concrètes organisées localement peuvent limiter les risques liés à l'érosion.

Les échanges menés avec les gestionnaires depuis cette période ont confirmé que ces perceptions ont peu évoluées.

1.4.2 Zones à enjeux identifiées par les acteurs locaux - 2024

Lors d'un ensemble d'entretiens réalisés par ECO-ALTITUDE avec les acteurs du territoire durant l'année 2024, un ensemble de zones à enjeux ont été également identifiées.

<u>Acteurs enquêtés :</u>
- CD 65 Service des routes,
-Commission Syndicale de la Vallée du Barège,
-SEML Station de Ski du Grand Tourmalet,
-Elus de la commune de Sers,
-Elus de la commune de Barèges,
-Représentants du PLVG,
-Services de l'Etat.

Au sein de la zone d'étude, un secteur comprenant des zones à forts risques, identifié par R. Bekaert dans son étude, a également été mentionné par les acteurs du territoire : la zone du Tourmalet.

1. Zone du Tourmalet. Cette zone a été mentionnée par le service des routes du CD 65 (chutes de pierres, instabilités) et par la station SEML du Grand Tourmalet (impact par ruissellement sur les pistes et la qualité de la neige). On rencontre dans ce secteur aussi bien de larges zones soumises à une érosion en nappes (pistes de ski dénudées, etc.), de l'érosion en rigoles et ravines (ruisseau du Tourmalet), des glissements de terrains superficiels ainsi que de l'érosion régressive, notamment le long des accotements et talus de la route départementale.

Trois autres secteurs ont également été mentionnés par les acteurs.

2. Le secteur de Caoubère, mentionné par les représentants de la commission syndicale, sur lequel des zones partiellement revégétalisées (à la suite de terrassements effectués par la station de ski) impactent la quantité et la qualité des fourrages.

3. Les berges du Bastan en aval de Barèges, mentionnées notamment par les représentants du PLVG. Il s'agit d'un secteur à forte connectivité sédimentaire et sur lequel de nombreux glissements de terrain ont été recensés. L'aggravation de l'érosion sur certains de ces glissements de terrains pourrait menacer le tracé de l'actuel GR10, ainsi que des superficies en prairies de fauches.

4. Le glissement de terrain des Thermes de Barzun. Il s'agit d'un glissement de terrain d'ampleur ayant eu lieu en 2022 à la suite de fortes précipitations. Mentionné par les élus de la commune de Barèges, il s'agit d'un glissement de terrain en surplomb immédiat du cours du Bastan, et d'un sentier de promenade aménagé.

Ces trois derniers points ne sont pas situés dans les zones identifiées comme celles à plus haut risque d'érosion mais correspondent à des sites sur lesquels des processus d'érosion sont actifs et posent problèmes aux acteurs du territoire.

1.5 Restaurations écologiques réalisées depuis 2020

L'ensemble des travaux de restauration écologique développés de 2020 à 2023 et des évaluations de leur efficacité a été regroupé dans un document synthétique [22].

1.5.1 Stabilisations de terrains pentus et instables en altitude

Ces actions ont été effectuées sur deux sites distincts :

1. Talus routiers instables, RD 918. Ces talus ont fait l'objet de revégétalisations à l'hydroseeder, en lien avec le service des routes du CD 65, avec un suivi de la revégétalisation sur plusieurs années (1500 m²).
2. Terrassements de la Maison des Etoiles, Col du Tourmalet. À la suite de la construction du bâtiment, un semis avec stabilisation des terrains par ingénierie écologique (structures en bois et toiles de coco) a été réalisé sur une surface de 1350 m².

Pour chacune de ces actions, des semences pyrénéennes récoltées en altitude et adaptées aux conditions pédologiques et climatiques ont été utilisées. Des comptes-rendus illustrés de ces semis et de leurs résultats ont été réalisés.

1.5.2 Revégétalisation de terrains peu pentus à moyenne et haute altitude.

Ces actions de revégétalisation concernent 3 zones :

- Zone du Col du Tourmalet. A la suite des travaux de construction de la maison des Etoiles, des revégétalisations avec semences locales ont été réalisées sur la plateforme du bâtiment, ainsi que sur les zones dénudées aux abords du parking du Tourmalet et de la piste du Pic du Midi, afin de limiter l'érosion superficielle. Un apport d'amendements azotés et de BRF a été réalisé (1900 m²).
- Piste du Tourmalet. Une placette expérimentale visant à évaluer l'influence des amendements organiques et du type de semences (locales et exogènes) a été mise en place, en lien avec les services de la station de ski. Une fertilisation de l'ensemble de la piste nouvellement terrassée a également été effectuée afin de favoriser la revégétalisation, en lien avec la Commission syndicale (1.8 ha).
- Revégétalisation d'un site terrassé en bord de Gave (Cabadur, Barèges), avec utilisation de semences locales de prairies de fauche à la demande d'EDF.

Des comptes-rendus illustrés de ces semis et de leurs résultats ont été réalisés et peuvent être mise à disposition à la demande.

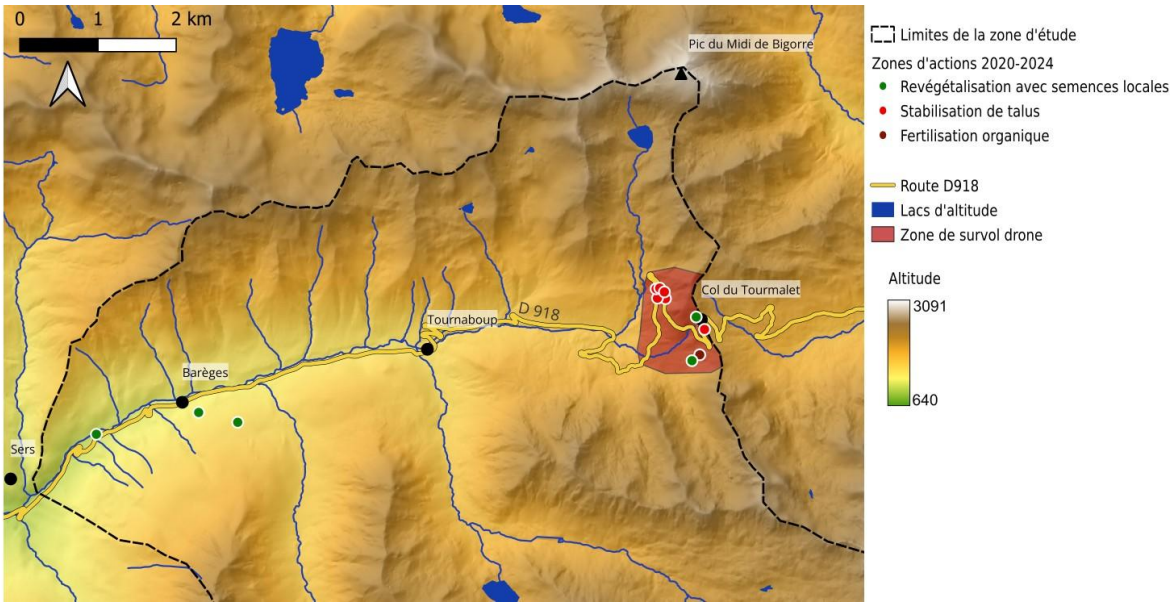


Figure 14 : Localisation des actions de restaurations écologiques réalisées depuis 2020, et emprise de la zone de prise d'images aérienne par drone.

2 Détermination des objectifs et actions du plan

2.1 Objectif global et co-construction des objectifs opérationnels

L'objectif global de la mission est d'élaborer un document cadre qui propose - sur la base d'une analyse croisée des caractéristiques biophysiques de la zone d'étude et des aspirations des acteurs locaux - des actions prioritaires et réalisables de restauration écologique des sites dégradés problématiques. Ces actions ont été validées collectivement pour limiter les problèmes d'érosion des sols. Cette démarche participative d'élaboration d'un plan d'action repose sur un important travail d'animation visant à sensibiliser les gestionnaires locaux sur ces questions et à définir avec eux des interventions prioritaires sur des zones précises. Les partenaires qui ont participé aux réunions sont représentatifs de la diversité des acteurs influençant la gestion des ressources naturelles sur la zone d'étude (cf : Annexe 2 et 3). Les échanges multi-acteurs organisés sur le terrain ou en salle ont été organisés afin de renforcer l'appropriation des objectifs des actions pré-identifiées pour envisager une participation active dans la mise en œuvre des actions proposées. Nous avons mobilisé plusieurs documents de sensibilisation pour développer une vision partagée des problématiques d'érosion et des solutions envisageables. Parmi ces documents, nous pouvons citer :

- La synthèse illustrée des restaurations écologiques développées sur le bassin versant depuis [22].
- Le support de présentation sur les différentes formes d'érosion existantes sur le bassin-versant et les pratiques de génie écologique adaptées[23].
- Le support de présentation des résultats des diagnostics environnementaux et sociaux réalisés et leur analyse pour sélectionner des sites d'actions prioritaires[24].

La méthodologie participative utilisée a permis d'identifier collectivement les deux grands sous-objectifs suivants :

- Mettre en œuvre des restaurations écologiques sur des sites problématiques prioritaires.
- Développer un système de suivi-évaluation des actions programmées dans le plan de lutte.

2.2 Détermination des sites et actions prioritaires du plan

2.2.1 Identification des sites prioritaires

2.2.1.1 Méthode d'identification des sites prioritaires

Une analyse croisée des facteurs biophysiques et anthropiques influençant l'érosion des sols et des perceptions des acteurs du territoire a été réalisée pour choisir les sites prioritaires. La méthodologie de hiérarchisation des sites repose sur la sélection de quatre critères qui caractérisent les enjeux environnementaux et de quatre critères socio-économiques déterminants et quantifiables. Les critères environnementaux présentés concernent l'érosion des sols et l'eau car ces deux paramètres conditionnent le maintien et le développement de la biodiversité (cf § 1.3).

Les critères caractérisant les enjeux environnementaux sont les suivants :

- Dynamisme actuel de l'érosion sur le site
- Localisation du site par rapport à l'amont du bassin versant
- Connexion du site au réseau hydrographique
- Fourniture sédimentaire « potentielle »[2] importante

Pour chacun de ces critères, un système de notation a été élaboré :

Critères	Scores		
	-	+	++
Dynamisme actuel de l'érosion	Absence d'évolutions signalées/visibles	Erosion peu dynamique observée/rapportée	Erosion dynamique observée/rapportée
Situation par rapport à l'amont du BV	Partie aval	Zones intermédiaires	Tête du bassin versant et/ou proche des crêtes
Connexion au réseau hydrographique	Zone peu connectée au système hydrographique	Connexion limitée (affluent de petite taille, cours d'eau intermittent)	Connexion importante (Cours d'eau important, temporaire ou intermittent, en connexion directe)
Importance dans la fourniture sédimentaire	Zone peu exposée à la mobilisation et au déplacement de sédiments	Zone moyennement exposée à la mobilisation et au déplacement de sédiments	Zone très exposée à la mobilisation et au déplacement de sédiments

Tableau 1 : Système de notation des critères environnementaux

[2] En cas d'évènement érosif important, notamment crues et fortes précipitations.

Les critères socio-économiques retenus sont les suivants :

- Intensité des dommages/dégâts constatés (matériel et économiques)
- Proximité de la zone avec des infrastructures
- Considération du site comme problématique par les acteurs
- Faisabilité technico-économique de la restauration du site (technicité, accessibilité, connaissances, coûts, portage)

Pour chacun de ces critères, un système de notation a été élaboré :

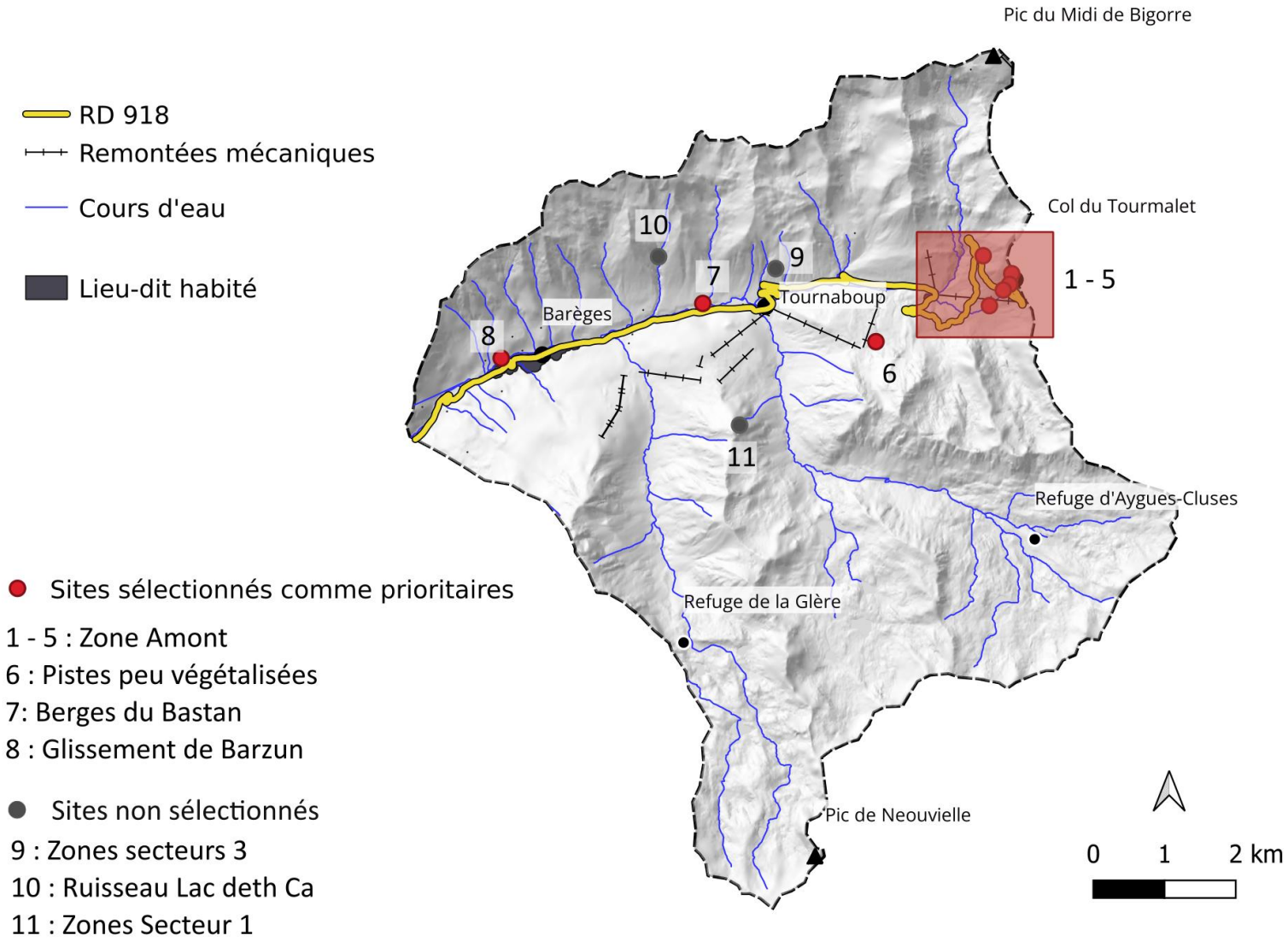
Critères	Scores		
	-	+	++
Intensité des dommages/dégâts constatés (matériel et économiques)	Absence de dommages/Impacts causés par la zone sur les infrastructures ou activités	Dommage/Dégâts peu fréquents et/ou d'ampleur limitée	Dommages/Dégâts fréquents et/ou de moyenne/grande ampleur
Proximité de la zone avec des infrastructures	Zone située à grande distance d'infrastructures	Zone dont l'érosion peut impacter des infrastructures à distance	Zone à l'abord immédiat d'infrastructures
Considération comme problématique par les acteurs	Zone non signalée par les acteurs de la zone	Zone identifiée comme problématique mais non prioritaire par un/plusieurs acteurs	Zone identifiée comme problématique et prioritaire par un/plusieurs acteurs
Faisabilité technico-économique de la restauration (technicité, accessibilité, connaissances, coûts, portage)	Réalisation de travaux de restauration complexe à organiser/réaliser	Réalisation de travaux de restauration envisageables mais nécessitant une bonne préparation en amont. Démarche multi-acteurs	Réalisation de travaux de restauration envisageables et rapidement réalisables

Tableau 2 : Système de notation des critères socio-économiques

L'utilisation de ce système de notation a permis de sélectionner parmi l'ensemble des sites identifiés (Tableau 3) comme sensibles à l'érosion dans le cadre des travaux scientifiques, une liste de site plus restreintes (sites mentionnés en rouge).

		Critères Environnementaux				Critères socio-économiques			
ID	Sites	Dynamisme actuel de l'érosion	Situation par rapport à l'amont du BV	Connexion au réseau hydrographique	Importance dans la fourniture sédimentaires	Intensité des dommages / dégâts constatés	Proximité de la zone avec des infrastructures	Zone considérée comme problématique par les acteurs	Faisabilité technico-économique de la restauration
1	Tourmalet - Zone du Col (HR)	+	++	+	+	-	++	+	++
2	Ruisseau du Tourmalet (HR) Amont	++	++	++	+	++	++	++	+
3	Ruisseau du Tourmalet (HR) Median	++	++	++	+	++	++	++	+
4	Ruisseau du Tourmalet (HR) Aval	++	++	++	++	++	++	++	++
5	Talus Routiers RD	++	+	+	++	++	++	++	++
6	Pistes ski peu végétalisées	+	+	++	+	+	++	++	++
7	Berges du Bastan	+	-	++	++	+	++	+	+
8	Glissement de Barzun	++	-	++	++	+	++	++	+
9	Zones Secteurs 3 (HR)	-	+	+	+	-	-	-	+
10	Ruisseau Lac det Ca	-	+	++	-	-	+	-	-
11	Zones Secteur 1 (HR)	-	+	-	-	-	-	-	-

Tableau 3 : Sites sélectionnés (rouge) sur la base des valeurs des critères d'évaluation. (HR, Haut Risque d'érosion) représente les sites pré-identifiés scientifiquement comme étant à hauts risques d'érosion (voir Figure 10).



Sites sélectionnés comme prioritaires

1 - 5 : Zone Amont
6 : Pistes peu végétalisées
7: Berges du Bastan
8 : Glissement de Barzun

Sites non sélectionnés

9 : Zones secteurs 3
10 : Ruisseau Lac deth Ca
11 : Zones Secteur 1

Figure 15 : Localisation des sites pris en compte dans l'évaluation

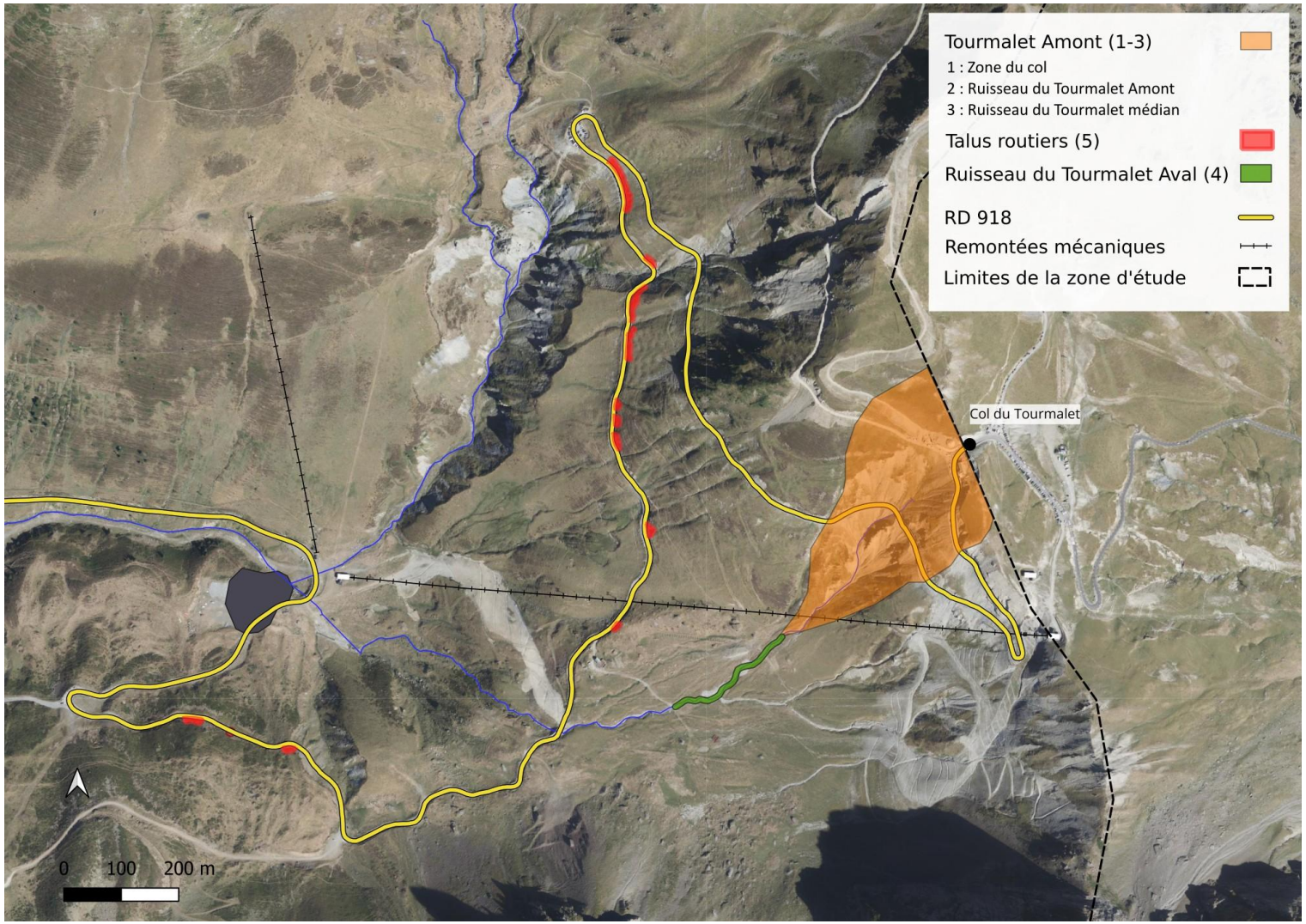


Figure 16 : Localisation des sites sélectionnés dans la partie amont du bassin versant.

2.2.1.2 Validation collective des sites et des actions à intégrer dans le plan

La méthode de sélection des sites a été présentée aux différents partenaires lors de la réunion spécifique du 06/12/2024. A la suite d'échanges, les partenaires ont accepté que les actions du plan de lutte portent prioritairement sur les sites proposés. Ces temps d'échanges ont aussi permis de s'assurer que les pratiques de restauration écologiques proposées pour ces sites semblent pertinentes pour les gestionnaires des sites.

Afin de faciliter la gestion du projet, les sites Tourmalet (zone du col) et les abords du ruisseau du Tourmalet jusqu'à ce qu'il arrive au niveau de la piste de ski du Tourmalet seront regroupés par la suite dans un seul site nommé « Sites dégradés à proximité du col du Tourmalet ».

Les 6 sites qui feront l'objet d'actions visant à limiter l'érosion sont donc, par ordre de priorité decroissant, les suivants :

- Sites dégradés au niveau du Col du Tourmalet
- Ravine du ruisseau du Tourmalet du pied du talus routier sous la buse jusqu'à la cantine
- Talus routiers dénudés en amont de la route entre le restaurant et le col
- Tronçons dégradés de différentes pistes de ski
- Berges du Bastan au niveau du glissement de terrain en aval de Tournaboup
- Glissement de Barzun entre les thermes de Barzun et le pont à Barèges

Il est intéressant de noter que ces différents sites sont exposés aux principales formes d'érosion rencontrées sur le bassin-versant. Cette représentativité renforce la valeur pédagogique de cette démarche qui vise à traiter l'ensemble des processus d'érosion à l'échelle d'un bassin-versant des Pyrénées. Pour chacun de ces sites, des actions visant à limiter les formes d'érosion observées ont été proposées (cf § 2.2.2) et des fiches actions réalisées (cf § 3).

2.2.2 Actions retenues sur les sites prioritaires

2.2.2.1 Stabilisation des zones érodées au niveau du col du Tourmalet

Formes d'érosion en jeux : Erosion en nappe, érosion liée aux alternances gel/dégel, érosion par ravine.

Objectifs opérationnels : Favoriser l'infiltration des écoulements

Technique envisagée : installation d'aménagement antiérosifs… (fiche action § 3.1)

2.2.2.2 Stabilisation de la ravine du ruisseau du Tourmalet

Formes d'érosion en jeux : Erosion par ravine, érosion liée aux alternances gel/dégel, érosion provoquée par le passage des animaux.

Objectifs opérationnels : Protéger ses bordures et limiter la vitesse des écoulements dans son lit

Technique envisagée : installation de fascines et de structures en bois (fiche action § 3.2)

2.2.2.3 Revégétalisation des talus routiers

Formes d'érosion en jeux : Erosion en nappe, érosion liée aux alternances gel/dégel

Objectifs opérationnels : Fixer le sol avec des végétaux herbacés

Technique envisagée : revégétalisation à l'hydroseeder (fiche action § 3.3)

2.2.2.4 Amélioration des propriétés des sols dégradés sur les pistes de ski

Formes d'érosion en jeux : Erosion en nappe et érosion par ravine

Objectifs opérationnels : Favoriser l'installation et la croissance des plantes présentes

Technique envisagée : Epandre des amendements organiques

2.2.2.5 Stabilisation de la berge avec des structures en bois et des plantations

Formes d'érosion en jeux : Sapement de la berge, glissement de terrain, érosion en nappe

Objectifs opérationnels : Retenir la terre en pied de berge et sur les bordures du glissement

Technique envisagée : Installation d'une fascine et de structure en bois et plantation de végétaux adaptés (fiche action § 3.2).

2.2.2.6 Stabilisation du glissement de terrain en amont des thermes de Barzun

Formes d'érosion en jeux : Erosion par glissement de terrain et érosion en nappe

Objectifs opérationnels : Retenir la terre des parois et des bordures du glissement

Techniques envisagées : Fixation des zones instables avec des structures en bois et plantations (fiche action § 3.2).

2.2.3 Suivi-évaluation des actions du plan

2.2.3.1 Rappel des travaux menés pour quantifier les pertes en terre liées à l'érosion

Grâce à des techniques d'analyse d'images aériennes (photogrammétrie), une quantification des déplacements de terre provoqués par l'érosion peut être réalisée, en comparant une même zone à différentes périodes. Dans le cadre de cette étude, la zone du ruisseau du Tourmalet a été choisi comme site pilote. Un ensemble de vols drones a été organisé en lien avec le PLVG entre 2020 et 2024 :

- Deux vols (Mai 2020 et septembre 2022), ont permis l'identification et le suivi des zones érodées à revégétaliser (talus instables et pistes de ski), ainsi que le suivi de la revégétalisation sur la partie haute du bassin versant du Bastan (Secteur Tourmalet)
- Des données issues de vols avec images LIDAR (vol Station du Grand Tourmalet) ont également été apportées pour les analyses ultérieures, avec caractérisation des états initiaux des terrains.
- Un vol (Juin 2024), avec matérialisation de points de calages au sol a été réalisé.

C'est ce dernier vol avec matérialisation des points de calage qui permettra la meilleure quantification des volumes de terre déplacés par l'érosion dans les années à venir. Ce suivi pourra également permettre d'évaluer l'efficacité des mesures de lutte proposées contre l'érosion dans la zone du Col du Tourmalet : influence sur la fourniture sédimentaire, le creusement de ravines, la couverture végétale.

Ce type de suivi pourra également être développé pour évaluer les effets des travaux de stabilisation des glissements de terrains proches du Bastan (Berge du Bastan au niveau de Pites derats, et Glissement en amont des thermes de Barzun).

2.2.3.2 Suivi-évaluation des actions de restauration

Ce sous-objectif du plan consiste à poursuivre la mise en place d'un système de suivi-évaluation de l'érosion et des effets des restaurations écologiques sur les zones d'intervention. Il a été demandé par le maître d'ouvrage et d'autres partenaires. Ce dispositif transversal permettra également de comparer le travail réalisé par les partenaires par rapport aux objectifs prévus. Il favorisera ainsi le pilotage du projet sur plusieurs années. Sa mise en œuvre nécessite donc la constitution d'une équipe technique qui valorisera les travaux de caractérisation de l'état initial présenté dans ce document. Cette équipe devra programmer au moins un suivi à l'aide d'un vol drone par année sur les sites d'interventions et du temps pour les traitements et comparaisons

des images. Cette régularité permettra sur le long terme d'évaluer aussi les effets sur l'érosion des sols des distributions et de l'intensité des événements pluvieux annuels.

Les travaux proposés s'appuient sur des analyses déjà réalisées par Pyrénées Cartographie et l'Université de Gand.

Les résultats des suivis-évaluations développés auront donc un intérêt opérationnel pour l'évaluation de la réussite de la mise en œuvre du plan de lutte et des intérêts scientifiques pour mieux comprendre les processus d'érosion des sols dans ce contexte.

Pour faciliter l'évaluation de la démarche, les objectifs opérationnels de réalisation des restaurations écologiques proposés ont été définis de manière à répondre aux quatre critères suivants, inspirés de la méthode S.M.A.R.T [25] :

- Spécifiques
- Mesurables
- Réalistes
- Temporellement définis

Pour faciliter la visualisation des sites à traiter et des enjeux associés, toutes les actions de restauration sont systématiquement présentées avec une entrée site (location précise qui caractérise sa spécificité) et une entrée forme d'érosion traitée.

2.3 Constitution d'un COPIL et d'un groupe de travail

La réflexion lancée depuis 2020 a eu un effet boule de neige, avec l'implication d'acteurs concernés par les problèmes d'érosion des sols toujours plus nombreux. L'animation d'échanges multi-acteurs a permis de créer des liens sur ces questions et de favoriser les interactions. Il est primordial de maintenir ce dynamisme, dans les années à venir, pour mener à bien les actions identifiées collectivement comme prioritaires. Aussi, il est proposé la constitution d'un comité de pilotage, qui pourra être décliné en groupe plus restreint si besoin afin d'organiser la mise en œuvre des actions et leur évaluation.

2.3.1 Propositions pour la constitution d'un groupe de pilotage du plan

En considérant l'implication des différentes parties prenantes dans cette démarche depuis 2020 et la nécessité de représentation des principaux acteurs pour la mise en œuvre du plan, nous proposons de solliciter les structures et personnes suivantes :

Organismes	**Nom**	**Fonction**
Agence de l'eau	MASSON Angélique	Chargé de mission Délégation de Pau
CD 65	LABAT Catherine	Responsable environnement
CD 65	DUCOS Thierry	Responsable du service des routes
Commissariat de Massif	BUSSELOT Anne	Commissaire adjointe
Commission syndicale de la Vallée du Barèges	BAYLE Raymond	Président
DDT	CLARIOND Alexis	Directeur service environnement
DREAL Commission des sites	SEIGNEUR Eléonore	Responsable commission des sites classés
Mairie de Barèges	ARRIBET Pascal	Maire
Mairie de Barèges	GOUPILLON Aurore	Agent de développement
Mairie de Sers	NOGUERE Jean-Louis	Maire
PLVG	SAZATORNIL Hélène	Gestion de l'eau
Compagnie des Pyrénées et SEM du Grand Tourmalet	DE CERCOS Arnaud	Responsable développement technique et environnement
Sous-préfecture	TULEU Fabien	Sous-préfet d'Argelès-Gazost

Tableau 4 : Structures et personnes pré-identifiées pour composer le COPIL

2.3.2 Fonctionnement proposé

Pour fonctionner, il semble indispensable que ce plan soit animé par un groupe restreint de personnes de ce comité. Ce petit groupe aura pour rôle principal de coordonner la mise en œuvre des actions sur les plans financiers et techniques. Il pourra échanger régulièrement avec les autres membres du COPIL pour les tenir informés des avancements du projet et évaluer avec eux comment surmonter les difficultés rencontrées.

Sur la base des propositions du plan de lutte contre l'érosion, le comité pourrait commencer par se réunir pour sélectionner les actions proposées et préparer leur mise en œuvre.

Il pourrait alors solliciter les partenaires pré-identifiés dans les fiches actions pour les aider à établir le plan de financement des travaux et accompagner les demandes de subventions.

Afin de limiter le nombre de réunions avec l'ensemble des partenaires de la démarche tout en maintenant un esprit d'équipe, le COPIL pourrait organiser les deux temps de concertation suivants :

- Réunion de présentation du programme de travail avec les partenaires des actions concernées (en mars ou avril, avant la campagne de travaux).
- Réunion de restitutions des travaux menés dans l'année (en novembre, après les travaux).

La réunion de restitution des travaux menés serait préparée par le(la) membre du COPIL en charge de l'animation du plan sur la base des travaux menés en lien avec la structure en charge de la fiche « Suivi-évaluation » du plan de lutte.

Les observations réalisées lors de la conduite des travaux et les échanges développés lors de ces réunions seraient alors analysés par le comité de pilotage en novembre et début décembre pour mieux cibler les objectifs opérationnels de l'année suivante.

Le dispositif de pilotage de la démarche pourra soit être renouvelé en année N+1 soit réorganisé en fonction des leçons tirées la première année.

3 Fiches synthétiques des actions proposées pour lutter contre l'érosion

Les actions proposées ont été adaptées en fonction des objectifs de gestion des sites problématiques validés lors des réunions d'échange. Elles sont présentées par ordre de priorité et planifiées sur une durée de quatre ans. Afin de faciliter la recherche des informations contenues dans leur descriptif, elles ont été rédigées dans un format fiche-action standardisé et agrémenté d'illustrations des sites et des travaux concernés.

3.1 Fiche action : Zones érodées proches du col du Tourmalet

3.1.1 Contexte et objectifs de la fiche action Tourmalet

Contexte :	Problème d'érosion active sur des grands pans de versants. Dégâts matériel important sur la route (affaissement + chutes de matériaux, obstruction de la buse d'évacuation sous la route). Concentration des eaux au niveau d'une ravine en aval qui entaille la piste de ski et provoque des coulées de boues en hiver. Accélération du transport de l'eau.
Type d'érosion en jeux :	Erosion en nappe et par alternance gel et dégel sur substrat minéral.
Objectifs :	Réduire les processus d'érosion. Favoriser l'infiltration des écoulements d'eau et installer des bandes enherbées pour stabiliser les pentes.
Pratiques actuelles :	Aucune gestion de l'érosion. Ajout d'épaisseurs de goudron sur les zones affaissées. Mobilisation d'une patrouille pour nettoyer la route (déneigement et chutes de matériaux).
Changements attendus :	Installation de mesures antiérosives en partant du haut.
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf carte ci-contre avec localisation des trois sites à traiter. Surface totale à traiter : 19660 m².

Illustrations du contexte de la fiche action Tourmalet

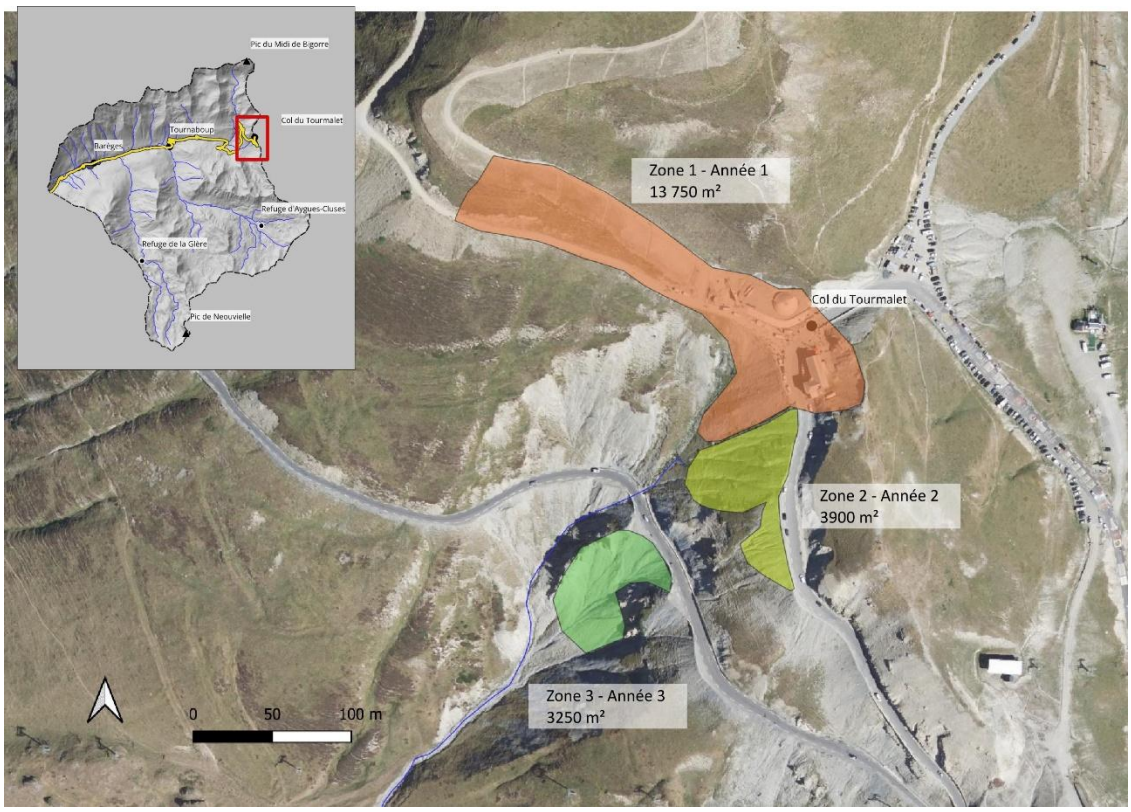


Figure 17 : Localisation des sites d'intervention au niveau du col du Tourmalet.

Figure 18 : Zoom sur la partie amont à stabiliser (28/06/24).

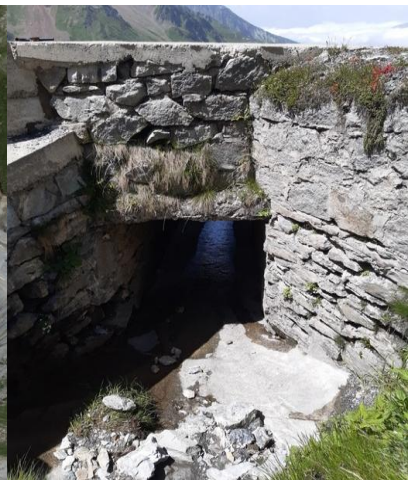


Figure 19 : Buse d'évacuation des eaux et sous la route (28/06/24).

3.1.2 Actions proposées dans la fiche action Tourmalet

Descriptif de l'action :	Installation d'aménagements antiérosifs légers pour stabiliser le substrat et retenir l'eau. Semis des bandes enherbées. Evaluation des aménagements réalisés.	
Faisabilité technico-économique :	Estimation des actions sur la base de références existantes (transposition de techniques).	
Coût action € :		51 600
Sous action 1 :	Partie zone aménagée du col (9780 m²). Installation de revers d'eau sur la piste et semis des bordures et talus pour favoriser l'infiltration des eaux de ruissellement. Eventuellement, fixation des talus autour du restaurant.	
Coût sous action 1 :		6600
Sous action 2 :	2 zones de fortes pentes érodées entre le col et la route après le 1er lacet (6630 m²). Installation de structures en bois perpendiculaires à la pente pour stabiliser le substrat en surface. Apport de semences et de matière organique (broyats de bois ou foin) et de semences autour des troncs d'arbres. Mise en défens des zones traitées afin d'éviter des dégâts liés au passage des troupeaux. Installation d'agrafes sur les substrats traités et non traités pour voir si ces dispositifs permettent de retenir le sol.	
Coût sous action 2 :		21600
Sous action 3 :	Pentes érodées en dessous du pont de la route avec la buse (3250 m²). Installation de structures en bois perpendiculaires à la pente (plus solides sur zone de déblaiement de la neige). Apport de semences et de matière organique (broyats de bois ou foin) et de semences autour des troncs d'arbres. Proposition de mesures pour éviter les déblais de cailloux.	
Coût sous action 3 :		19 200
Sous action 4 :	Entretien des dispositifs installés et évaluation de leurs intérêts en termes de recouvrement végétal et de stabilisation de la couche superficielle de substrat.	
Coût sous action 4 :		4200

Illustrations des travaux proposés au Tourmalet

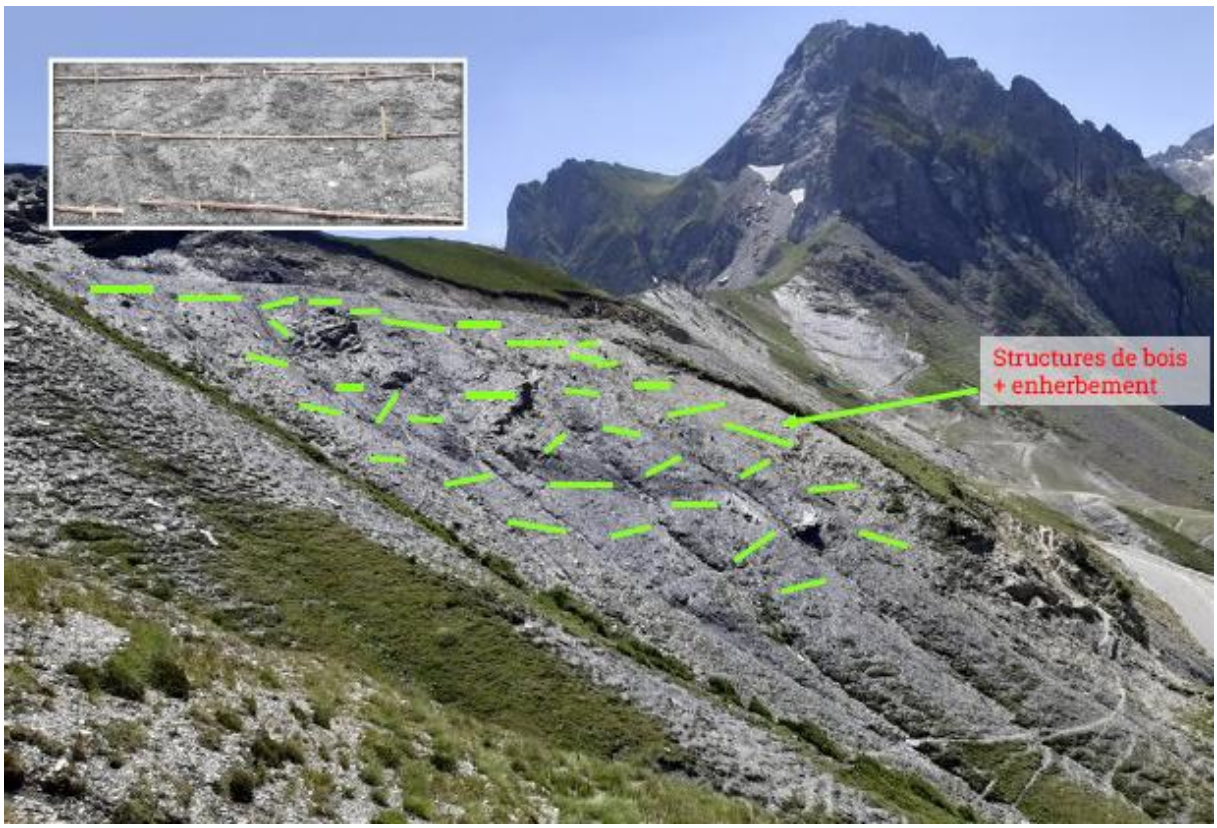


Figure 20 : Localisation des structures antiérosives entre le col et la route (28/06/24).

Figure 21 : Localisation des structures antiérosives en dessous du pont de la route (28/06/24).

Figure 22 : Installation des structures antiérosives pour stabiliser la surface du substrat (28/06/24).

3.1.3 Suivi-évaluation et portage de l'action pentes du Tourmalet

Durée de mise en œuvre proposée :	4 ans. 1ère année, travail sur la zone du col, 2e sur les pentes érodées à l'amont, 3e année sur les pentes érodées en dessous de la route, 4e année, suivi, évaluation et entretien des aménagements.
Observations sur la gestion des travaux :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Comparaison aménagements prévus/réalisés (qualitatif et et quantitatif). Suivi des évolutions du recouvrement végétal et comparaison des quantités de substrat déplacées zones traitées et zones non traitées en utilisant des images prises avec un drone.
Maitrise d'ouvrage :	Co-maîtrise d'ouvrage avec le Service des routes du département et le Syndicat mixte de valorisation touristique du Pic du midi de Bigorre. Nécessité d'une réflexion avec les décideurs car cette zone est utilisée par différents acteurs et plusieurs acteurs ont contribué et/ou contribuent encore aux instabilités du terrain.
Mise en œuvre / partenaires :	Listes des acteurs concernés directement par ces actions (de l'amont à l'aval) : Syndicat mixte de valorisation du Pic du midi de Bigorre, Station de ski, Service des routes du CD65, Commission syndicale de la Vallée du Barèges, Commune de Sers.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.2 Fiche action : Ravine du ruisseau du Tourmalet

3.2.1 Contexte et objectif de la fiche action Ravine du ruisseau du Tourmalet

Contexte :	Erosion de plus en plus active sur cette ravine. Charriage et dépôt de cailloux et de sédiments lors des fortes précipitations. Elargissement et approfondissement de la ravine par endroit. Accélération des écoulements d'eau vers le Bastan. Zones problématiques pour la station de ski en hiver (coulée de boue) et en période estivale (ravinement).
Type d'érosion en jeux :	Erosion concentrée en ravine.
Objectifs :	Installer des fascines végétalisées dans le lit pour casser la vitesse de l'eau et retenir les substrats. Protéger les bordures avec des fascines, des pieux d'acacia et de la toile de coco pour les stabiliser et les protéger de la force érosive de l'eau. Installer des végétaux sur les bordures.
Pratiques actuelles :	Installation de tas de cailloux dans le lit et nivellement des amas de sédiments déposés sur bordures. Remobilisation des matériaux déposés lors des fortes pluies.
Changements attendus :	Installation de mesures antiérosives en partant du haut.
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf carte avec localisation de la zone à traiter (surface : 4345 m²) et son découpage en 3 tronçons.
Intérêt du site pour la démarche :	1) Travaux proposés nécessitent une démarche concertée multi-acteurs. 2) Forte connexion au réseau hydrique. 3) Complémentarité de ces travaux avec ceux en amont. 3) Expérimentation de stabilisation de ravine en altitude très pédagogique.

Illustrations de la fiche action Ravine du ruisseau du Tourmalet

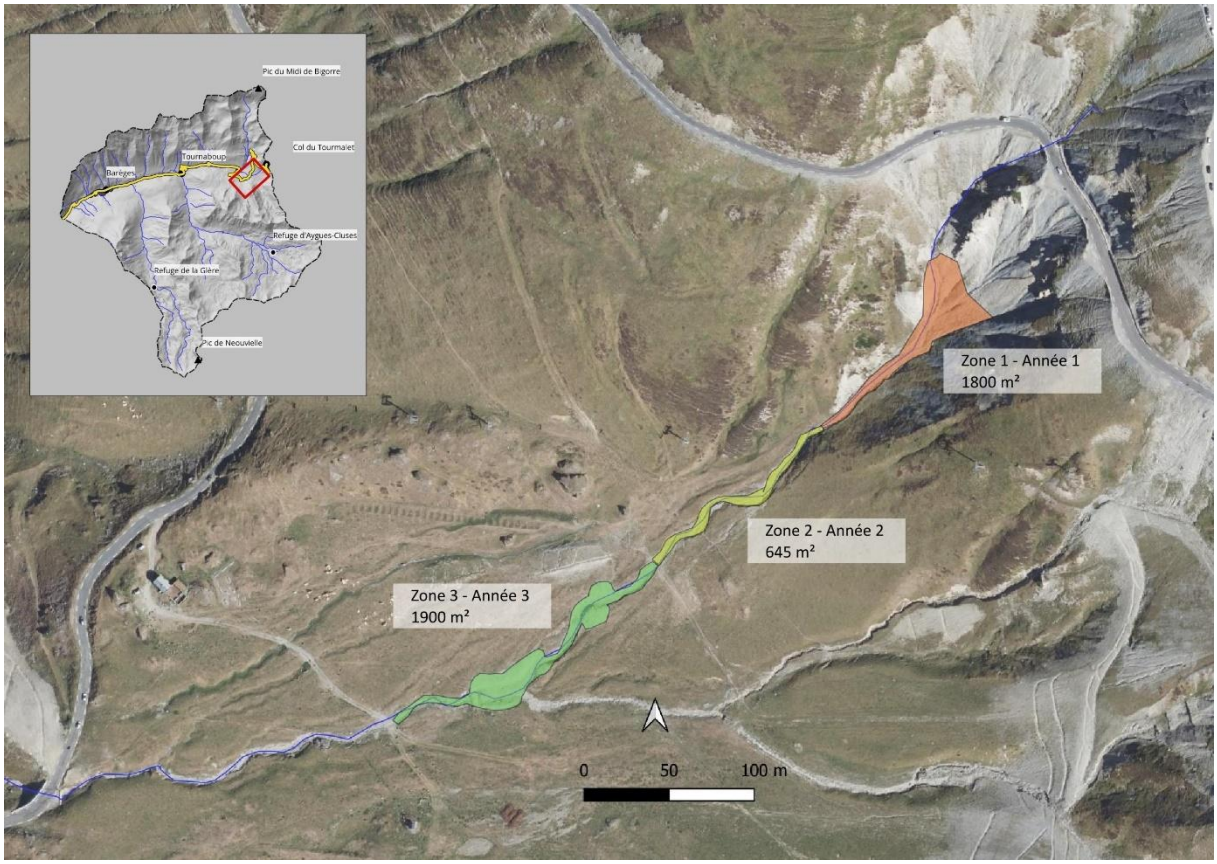


Figure 23 : Localisation des sites d'intervention au niveau de la ravine du ruisseau du Tourmalet.

Figure 24 : Ravine au niveau de la piste de ski du Tourmalet (2022)

Figure 25 : Ecoulement d'eau dans la ravine (17/01/2024)

3.2.2 Actions proposées dans la fiche « Ravine du ruisseau du Tourmalet »

Descriptif de l'action :	Installation d'aménagements antiérosifs en bois et plantations de plantes et arbustes pour stabiliser la ravine et retenir les sédiments. Entretien des aménagements et évaluation des travaux sur 4 ans.	
Faisabilité technico-économique :	Transposition de techniques développées dans d'autres contextes. Besoin de collaborations avec les éleveurs.	
Coûts de l'action € :		24200
Sous action 1 :	Tronçon amont (1800 m²) : Installation de fascines dans le lit de la ravine. Stabilisation des berges avec des structures en bois pour soutenir la terre des bordures et éviter le sapement de la base. Sur zones adaptées, installation de filet de toile de coco après semis de plantes herbacées. Plantations d'arbustes locaux sur les bordures. Mise en défens des tronçons aménagés.	
Coût sous-action (1) :		9600
Sous action 2 :	Tronçon médian (645 m²) : Mêmes techniques.	
		4000
Sous-action 2 :	Tronçon aval (1900 m²) : Mêmes techniques.	
Coût sous-action (3) :		6400
Sous action 4 :	Evaluation de tous les aménagements réalisés sur le linéaire et de leur efficacité antiérosive. Entretien et protection des aménagements.	
Coût sous-action (4) :		4200

Illustrations des actions proposées pour la ravine

Figure 26 : Stabilisation des bordures instables avec des structures en bois (Arbéost, 07/05/24)

Figure 27 : Semis sous filet de coco pour protéger les substrats de la paroi

3.2.3 Suivi-évaluation et portage de l'action « Ravine du Tourmalet »

Durée de mise en œuvre :	4 ans. 1ère année, travail sur le premier tronçon, 2e année travail sur le 2e et 3e année travail sur le 3e tronçon. 4e année, suivi et entretien des aménagements.
Observations sur la gestion des travaux :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Comparaison aménagements prévus/réalisés (qualitatif et et quantitatif). Evaluation des quantités de substrats retenus par les aménagements (avec marquage de hauteur du substrat sur piquets et image drone). Suivi du développement de la végétation et comparaison avec un petit tronçon non traité légèrement en amont.
Maitrise d'ouvrage :	Station de ski est la structure la plus impactée. Besoin d'une collaboration avec les éleveurs car cette ravine est très fréquentée par les troupeaux (zone d'ombrage et d'abreuvement).
Mise en œuvre / partenaires :	Listes des acteurs concernés directement par ces actions (de l'amont à l'aval) : Station de ski, Commission syndicale de la Vallée du Barèges, Commune de Sers et de Barèges, PLVG (charriage de sédiments dans le Bastan).
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.3 Fiche action : Revégétalisation de talus routiers

3.3.1 Contexte de la fiche action revégétalisation des talus routiers

Contexte :	Erosion régulière de ces talus en nappe et du fait des alternances gel et de dégel qui désolidarisent les sols et des franges de végétations de la bordure supérieure des talus et les font chuter sur la route (érosion remontante). Chutes de cailloux, de terre et de végétaux sur la route régulières et amplifiées par les passages des brebis. Zones problématiques au niveau paysager.
Type d'érosion en jeux :	Erosion en nappe et par alternance gel et dégel sur un sol vivant.
Objectifs :	Recouvrir et protéger le sol avec une végétaux herbacés.
Pratiques actuelles :	Pas de gestion de ce type d'érosion. Le Service des routes du CD65 assure le nettoyage de la route quasi quotidiennement lorsqu'elle est ouverte. Il déplore les chutes de matériaux provoquées par les troupeaux.
Changements attendus :	Mise en place d'un programme de revégétalisation étalé dans le temps (approche plus préventive).
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf carte avec localisation de la zone à traiter entre le restaurant du Bastan et le virage de Toue (2490 m²) et son découpage en trois secteurs.
Intérêts du site pour la démarche :	1) Support de sensibilisation du grand public sur le rôle des végétations herbacées sur la fixation des sols. 2) Limitation des coûts d'entretien de la route du fait de la stabilisation des matériaux et végétaux présents sur les talus.

3.3.2 Illustrations du contexte de la fiche action sur les talus routiers

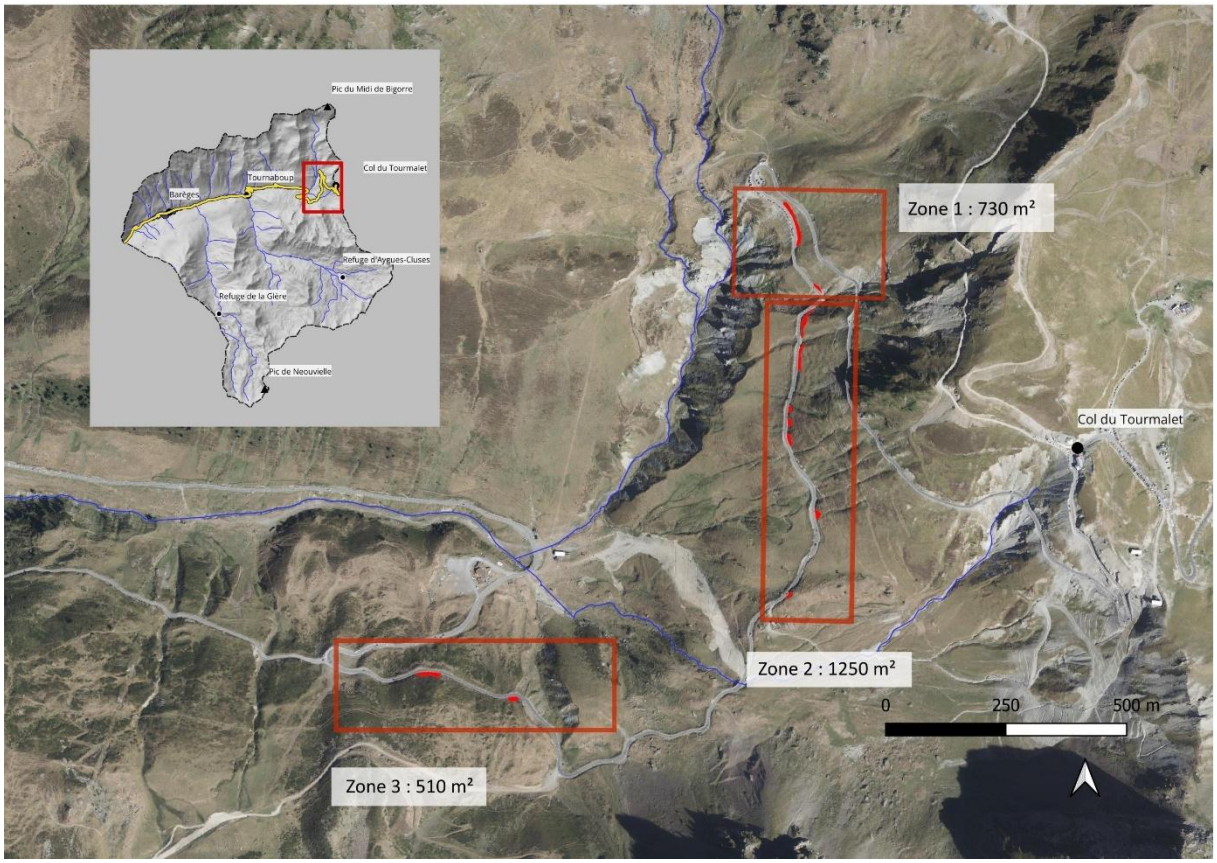


Figure 28 : Localisation des talus routiers dégradés sur le haut du bassin versant

Figure 29 : Erosion par gel et dégel du haut d'un talus routier (16/05/2022)

Figure 30 : Erosion hydrique d'un talus routier (13/06/2023)

3.3.3 Actions programmées sur les talus routiers

Descriptif de l'action :	Révégétalisation à l'hydroseeder avec des semences locales, des engrais et des fibres de bois assurant la fixation des semis.	
Faisabilité technico-économique :	Reproduction de techniques développées dans ce contexte. Collaboration avec le Service des routes CD 65 opérationnelle.	
Coût de l'action (E) :		**8600**
Sous-action 1 :	Tronçon amont (730 m²) : Révégétalisation à l'hydroseeder au printemps. Lorsque les bordures hautes sont en surplomb, fixation avec des piquets d'acacia. Si zone de passage, mise en défens du talus ensemencé.	
Coût sous action 1 (E) :		2000
Sous-action 2 :	Tronçon médian (1250 m²) : Révégétalisation à l'hydroseeder au printemps. Lorsque les bordures hautes sont en surplomb, fixation avec des piquets d'acacia. Si zone de passage, mise en défens du talus ensemencé.	
Coût sous action 2 (E) :		2000
Sous-action 3 :	Tronçon aval (510 m²) : Révégétalisation à l'hydroseeder au printemps. Lorsque les bordures hautes sont en surplomb, fixation avec des piquets d'acacia. Si zone de passage, mise en défens du talus ensemencé.	
Coût sous action 3 € :		2000
Sous-action 4 :	Zones qui restent problématiques après 3 ans. Révégétalisation à l'hydroseeder. Evaluation des recouvrements végétaux et de la stabilité du sol sur l'ensemble des talus revégétalisés (photographie et observations des départs de matériaux sur les talus).	
Coût sous action 4 € :		2600

Illustrations des actions programmées sur les talus routiers

Figure 31 : Revégétalisation de talus à l'hydroseeder (24/05/2024)

Figure 32 : A gauche du talus, végétation obtenue 1 mois après semis (28/06/2024)

3.3.4 Suivi-évaluation et portage de la fiche action talus routiers

Durée de mise en œuvre :	4 ans.
Observations gestion du projet :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Mesure d'évolution du recouvrement végétal à partir de relevés et de photographies. Les 3 premières années, évaluation en automne de la réussite des semis réalisés au printemps. En 4e année, évaluation de l'ensemble des semis réalisés et analyses des économies d'entretien que représentent ces pratiques pour le service des routes.
Maitrise d'ouvrage :	Service des routes du CD65. Besoin d'une collaboration avec les éleveurs lorsque les talus à traiter sont régulièrement empruntés par les brebis.
Mise en œuvre / partenaires :	Listes des acteurs concernés directement par ces actions : Service des routes du CD65, Commission syndicale de la Vallée du Barèges, Commune de Sers et de Barèges.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.4 Fiche action : Amélioration des sols des pistes de ski

3.4.1 Contexte de la fiche action

Contexte :	Compaction des sols par les impacts des gouttes de pluie et le ruissellement des eaux lors des fortes précipitations. Leur manque de fertilité empêche leur recolonisation par les végétaux. Besoin d'apporter des amendements organiques pour améliorer leur propriété et favoriser la rétention en eau et le retour des végétaux.
Type d'érosion en jeux :	Erosion en nappe et par ravinement.
Objectifs :	Apporter des amendements organiques sur les substrats les plus dégradés et des semences sur les plaques sans végétation.
Pratiques actuelles :	Sur certaines pistes, ces pratiques ont déjà été mises en œuvre. La station a prévu de poursuivre cette action.
Changements attendus :	Organiser les travaux de fertilisation en fonction des sites prioritaires pour la station et les éleveurs.
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf cartes ci-contre avec localisation des différentes zones à traiter et leur découpage en trois secteurs.
Intérêt du site pour la démarche :	1) Valorisation par les acteurs locaux de ressources locales pour restaurer des sols dégradés. 2) Intérêts convergent des travaux pour la station de ski et les l'élevage transhumant. 3) Meilleure intégration paysagère des pistes de ski.

Illustrations de la fiche action : Amélioration des sols des pistes de ski

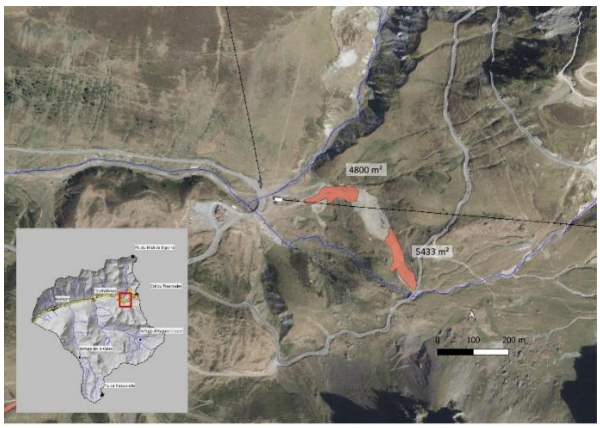


Figure 34 : Piste bleu du Tourmalet (Secteur 1)

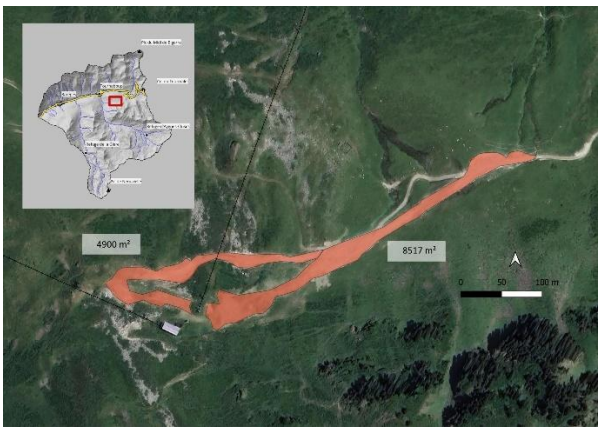


Figure 33 : Pistes dégradées à l'arrivée du télésiège de Caoubère (Secteur 2)

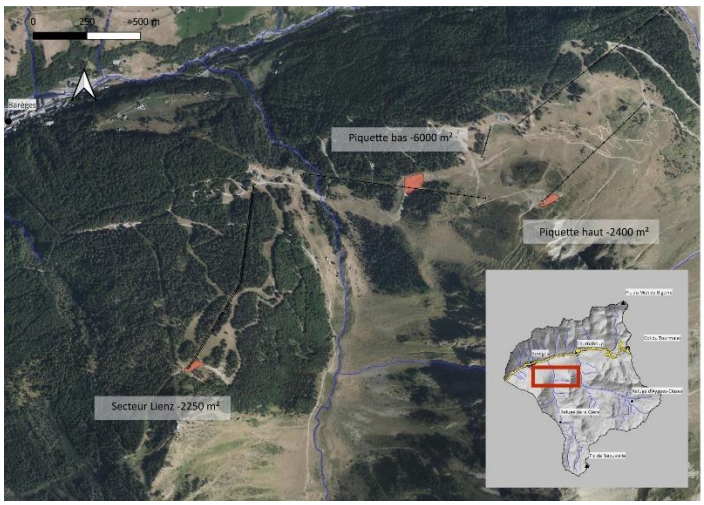


Figure 35 : Pistes dégradées du secteur Liens et Piquette (Secteur 3)

Figure 36 : Pertes des matières fines du sol après des terrassements

Figure 37 : Exemple de piste à amender (Caoubère, 05/08/2022)

3.4.2 Actions d'amélioration des propriétés des sols sur les pistes de ski

Descriptif de l'action :	Semis de certaines zones sur les pistes complétement nue et épandage de fumier d'origine connue l'épandeur ou manuellement sur les zones peu végétalisées. Evaluation de l'augmentation des recouvrements végétaux et des ressources fourragères.	
Faisabilité technico-économique :	Reproduction de techniques développées dans ce contexte. Collaboration avec la station de ski et les éleveurs déjà opérationnelle.	
Coût de l'action € :		**13200**
	Secteur 1 (Piste bleu du Tourmalet en haut du restaurant du Bastan, 10 233 m²). Epandage de fumier et semis des grandes plaques sans végétation.	
Coût sous-action 1 :		4000
	Secteur 2 (Tronçons de pistes qui partent de l'arrivée du télésiège de Caoubère, 13 417 m²). Epandage de fumier et semis des grandes plaques sans végétation.	
Coût sous-action 2 :		4000
	Secteur 3 (Tronçons de pistes dégradées des secteurs du Lienz et de Piquette, 10 650 m²). Epandage de fumier et semis des grandes plaques sans végétation.	
Coût sous-action 3 :		4000
	Evaluation de l'ensemble des fertilisations et semis effectués sur pistes de ski (estimation des gains de production de ressources fourragères).	
Coût sous-action 4 :		1200

Illustrations des travaux proposés d'amélioration des sols des pistes :

Figure 38 : Epandage de fumier (21/09/2022)

Figure 39 : Epandage manuel de fonds de grange (23/09/2022)

3.4.3 Suivi évaluation et portage de la fiche action pistes de ski

Durée de mise en œuvre :	3 ans.
Observation sur la gestion du projet :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Suivis des surfaces traitées et des quantités d'amendement apportés. Mesures d'évolution du recouvrement végétal à partir de relevés et de photographie en année N+ 1, N+2 et N+3.
Maitrise d'ouvrage :	Station de ski du Grand-Tourmalet (dans la continuité des actions développées depuis 2020).
Mise en œuvre / partenaires :	Station de ski du Grand-Tourmalet, Commission syndicale de la Vallée du Barèges, éleveurs équipés d'épandeur à fumier, communes de Sers et de Barèges.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.5 Fiche action du glissement de terrain de la berge de Bastan

3.5.1 Contexte et objectif de la fiche action

Contexte :	Glissement de terrain en partie due à des prélèvements de matériaux lors des travaux de réhabilitation des milieux après la crue de 2013. Faible évolution ces dernières années mais risque important d'affaissement des parties hautes en surplomb à court terme. Risque de destruction de la piste du GR10 et des prairies de fauche situées au-dessus. Fort impact paysager.
Type d'érosion en jeux :	Erosion par glissement de terrain et sapement du pied de berge.
Objectifs :	Utiliser diverses techniques de génie écologique pour retenir la terre en place et favoriser la colonisation végétale par des herbacées et des arbustes de l'ensemble du talus.
Pratiques actuelles :	Aucune gestion de ce glissement mais de nombreuses observations et discussions à ce sujet car le site est très visible.
Changements attendus :	Organiser un chantier avec plusieurs acteurs pour tenter de le stabiliser sur le long terme avec divers végétaux.
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf carte ... avec localisation de la zone à traiter (1500 m²).
Intérêt du site pour la démarche :	1) Traitement de ce glissement nécessite une démarche multi-acteurs. 2) Cas type d'érosion de berges très intéressant pour sensibiliser un large public. 3) Intérêt de ces travaux pour la préservation des prairies de fauche en amont et le maintien de la biodiversité des bords de cours d'eau (reconstitution d'une ripisylve).

Illustrations de la fiche action sur la berge du Bastan

Figure 40 : Glissement de terrain sur la berge du Bastan à Piets Derat vu de la route (10/06/2020).

Figure 41 : Glissement de terrain sur la berge du Bastan vu de profil (24/06/2020).

3.5.2 Actions proposées pour la stabilisation de la berge

Descriptif de l'action :	Installation de divers aménagements antiérosifs complémentaires sur la bordure haute, sur le milieu du talus et en pieds de berge complétés par des plantations de végétaux sur l'ensemble du glissement.	
Faisabilité technico-économique :	Reproduction de techniques développées dans un contexte similaire. Besoin de développer des collaborations.	
Coût de l'action € :		28500
Sous-action 1 :	Bordures supérieures du glissement (800 m²) : Stabilisation des plaques de terre en surplomb avec des piquets d'acacia et des troncs d'arbres. Installation de bandes enherbées avec semis de graines recouverts de filet de coco en haut du glissement. Plantation d'une couronne d'arbustes dans la végétation en bordure.	
Coût sous-action 1 :		8000
Sous-action 2 :	Milieux du talus (500 m²) : Installation de deux rangées parallèles de structures en bois avec des piquets d'acacia et des troncs d'arbres pour retenir la terre susceptible de dégringoler et installer les lignes d'arbustes et des bandes enherbées de part et d'autre.	
Coût sous-action 2		6500
Sous-actions 3 :	En pied de berge (200 m²) : Installation d'une fascine de Saule sp. fixée avec des pieux d'acacia de plus de 2m (si possibilité de plantation avec enfonce pieux) pour éviter que l'eau du Bastan ne creuse la base du glissement.	
Coût sous-action 3		14000

Illustrations des travaux proposés pour la fiche action Berge du Bastan

Figure 42 : Fixation de la bordure haute d'un talus à l'aide de piquets d'acacia (Gourette, 06/06/2023)

Figure 43 : Barrière pour retenir la terre en milieu de talus (Arbéost, 13/05/2022)

Figure 44 : Installation d'une fascine entre deux rangées de poteaux en pied de berge (Agos-Vidalos, 25/10/2024)

3.5.3 Suivi-évaluation et portage de la fiche action Berges de Bastan

Durée de mise en œuvre :	1 à 3 ans, les travaux peuvent-être réalisés la même année ou étalé sur trois ans.
Observation sur la gestion du projet :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Comparaison des aménagements prévus/réalisés (qualitatif et quantitatif). Suivi photographique annuel du glissement de terrain et analyse des images.
Maitrise d'ouvrage :	PLVG avec l'appui de la commune de Sers.
Mise en œuvre / partenaires :	Commune de Sers, éleveurs propriétaires des prairies, Commission syndicale de la Vallée du Barèges, Commune de Barèges, PLVG, Agence de l'eau.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.6 Fiche action : Glissement de terrain de Barzun

3.6.1 Contexte et objectif de la fiche action :

Contexte :	Glissement de terrain en hiver 2022 et dépôt des matériaux dans le gave du Bastan et un chemin de promenade. Sécurisation du sentier avec des enrochement. Risque de chute des bordures sous l'action du gel et du dégel. Dégradation paysagère et insécurité pour les usagers du chemin situés entre le gave et ce glissement en cas de fortes précipitations.
Type d'érosion en jeux :	Erosion par glissement de terrain et en nappe.
Objectifs :	Utiliser diverses techniques de génie écologique pour fixer les zones instables de ce glissement de terrain. Favoriser la recolonisation végétale sur l'ensemble des sols dénudés.
Pratiques actuelles :	Aucune gestion de ce glissement depuis le déblaiement du chemin et l'installation d'enrochement à la base.
Changements attendus :	Organiser la mise en œuvre de travaux pour fixer les sols et favoriser la recolonisation végétale.
Périmètre d'application / surface concernée :	Cf carte avec localisation de la zone à traiter (610 m²).
Intérêt du site pour la démarche :	1) Site intéressant pour sensibiliser les promeneurs et les habitants du village sur le rôle des végétaux pour la stabilisation des glissements de terrain. 2) Meilleure intégration paysagère du site.

Illustrations sur le contexte de l'intervention

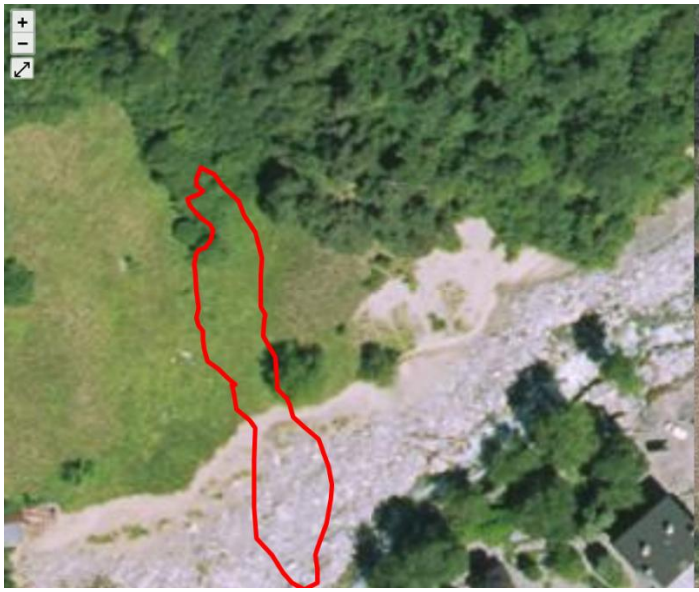


Figure 45 : Image ING de 2015, en rouge la zone avant le glissement de terrain de janvier 2022

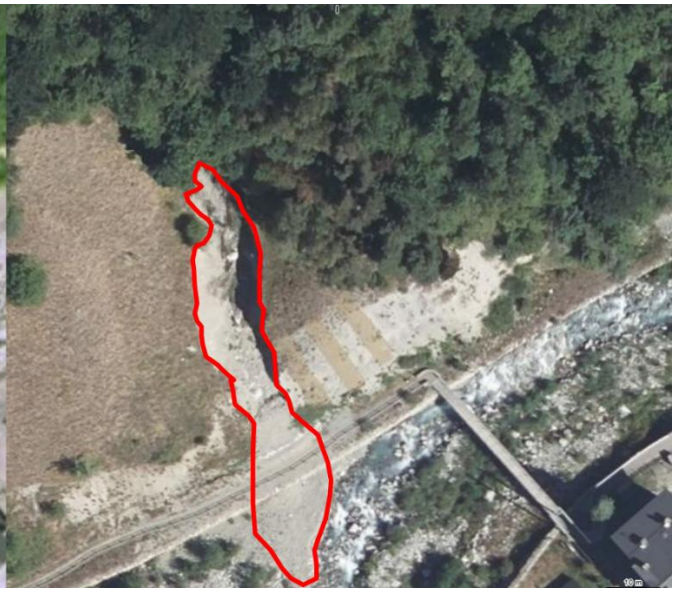


Figure 46 : Image ING de 2024 après le glissement de terrain de janvier 2022

Figure 47 : Glissement de terrain de Barzun (12/09/2024)

3.6.2 Actions proposées pour le glissement de Barzun

Descriptif de l'action :	Installation de divers aménagements antiérosifs complémentaires sur les bordures hautes et les pentes dénudées. Plantation et fertilisation d'arbustes et semences herbacées diversifiées et d'origine locale pour stabiliser les pentes. Mise en défens des zones d'entrées à l'intérieur du glissement.	
Faisabilité technico-économique	Reproduction de techniques développées dans un contexte similaire. Besoin de développer des collaborations.	
Coût de l'action €		8000
Sous action 1	Installation des deux rangées de piquets d'acacia sur les bordures ouest et est du glissement afin de stabiliser les plaques d'herbe en surplomb (200 m²).	
Coût sous-action 1		4500
Sous action 2	Plantations d'arbustes et semences et fertilisation et mise en défens du glissement (410 m²).	
Coût sous-action 2		2600
Sous action 3	Suivis des évolutions du recouvrement végétal et évaluation des taux de survie des arbustes.	
Coût sous-action 3		900

Illustrations des actions proposées pour le glissement de Barzun

Figure 48 : Fixation des bordures hautes du glissement (Arbéost, 07/05/2024)

Figure 49 : Plantation d'arbustes locaux sur forte pente (Gourette, 18/05/2021)

3.6.3 Suivi et évaluation des actions proposées pour le glissement de Barzun

Durée de mise en œuvre :	1 à 3 ans, possibilité de tout faire en un an ou d'étaler sur 3 ans
Observation sur la gestion du projet :	Possibilités de réajustement annuel en fonction de la mobilisation des acteurs.
Indicateurs de suivis :	Suivis des aménagements réalisés par rapport aux aménagements prévus (voir schéma des travaux proposés et fichier de détail des coûts des opérations).
Maitrise d'ouvrage :	Commune de Barèges.
Mise en œuvre / partenaires :	Commune de Barèges, PLVG, Agence de l'eau, Commission syndicale de la Vallée du Barèges.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

3.7 Fiche action : Suivi-évaluation des actions du plan de lutte

3.7.1 Contexte et objectif de la fiche

Contexte :	Démarche originale de gestion intégrée des ressources naturelles à l'échelle du bassin-versant. Implication dans la démarche de tous les acteurs. Disponibilité d'un ensemble de données permettant de caractériser finement l'état initial des zones problématiques à traiter. Possibilité de valoriser des images obtenues avec un drone pour visualiser facilement les travaux réalisés et quantifier des évolutions de recouvrements végétaux et les déplacements de substrats par l'érosion.
Objectifs :	Favoriser le pilotage de la démarche et démontrer les intérêts environnementaux et économiques des actions développées.
Pratiques actuelles :	Mise au point de méthodes d'évaluation des recouvrements végétaux à différentes échelles (visuelle avec des quadrats ou par traitement d'image drone). Caractérisation de la situation initiale à l'aide d'un vol drone et du calage de points de repère à l'aide d'un GPS centimétrique.
Changements attendus :	Formalisation d'un programme de suivi-évaluation des avancées et intérêts des actions programmées dans le plan de lutte contre l'érosion.
Périmètre d'application / surface concernée :	Ensemble des sites retenus pour la mise en œuvre de mesures de gestion.
Intérêt du suivi-évaluation pour la démarche :	1) Disponibilité d'observations quantitatives pour évaluer les intérêts de la démarche et piloter les actions. 2) Mise en évidence des services rendus par les pratiques de restaurations écologiques. 3) Suivi à long terme de certains secteurs pour mieux comprendre les processus d'érosion sur un bassin versant des Pyrénées.

Illustrations des travaux initiés et programmés sur la zone d'études

Figure 50 : Géoréférencement au GPS de points de repère (28/06/24)

Figure 51 : Départ du drone pour la campagne de prise d'image de 2024 (28/06/24)

3.7.2 Actions proposées pour la mise en œuvre du suivi-évaluation

Descriptif de l'action :	Développement de traitements informatiques pour quantifier les volumes de substrats déplacés par l'érosion et les évolutions des recouvrements végétaux à partir de suivis réalisés avec un drone (Pyrénées Cartographie). Organisation des prises d'image sur les sites problématiques traités et non traités pour comparer les effets des restaurations réalisées. Sur certains sites d'intervention, installation d'agrafes au sol pour mesurer les pertes de volumes liées à l'érosion et comparaison des résultats obtenus avec ceux issus des analyses d'image. Mise en place de suivis et analyses de sols pour évaluer les effets des pratiques de restauration expérimentées sur les propriétés des sols (capacité de rétention en eau, teneur en matière organique, capacité d'échange cationique, stabilité structurale des agrégats et activité biologique).	
Faisabilité technico-économique :	Méthodes d'analyse déjà expérimentées. Moyens nécessaires pour réalisation des vols drone annuels et des analyses comparatives limités.	
Coût de l'action :		15700
Sous action 1 :	Calage des méthodes d'analyse et suivi drone de 2025 pour évaluer le dynamisme annuel des processus d'érosion sur la tête du bassin versant.	
Coût sous action 1 :		2700
Sous action 2 :	Organisation d'un suivi drone N+1 des sites d'interventions et analyses des effets des travaux.	
Coût sous action 2 :		3500
Sous actions 3 :	Organisation d'un suivi drone N+2 des sites d'interventions et analyses des effets des travaux.	
Coût sous action 3 :		3500
	Organisation d'un suivi drone N+3 des sites d'interventions et analyse des effets des travaux. Réalisation d'une synthèse des apports du système de suivi-évaluation pour évaluer les intérêts des restaurations sur les différents sites traités. Propositions d'amélioration des techniques de lutte et identification de nouvelles zones à stabiliser.	
Coût sous action 4 :		6000

Illustrations des travaux proposés pour le suivi-évaluation

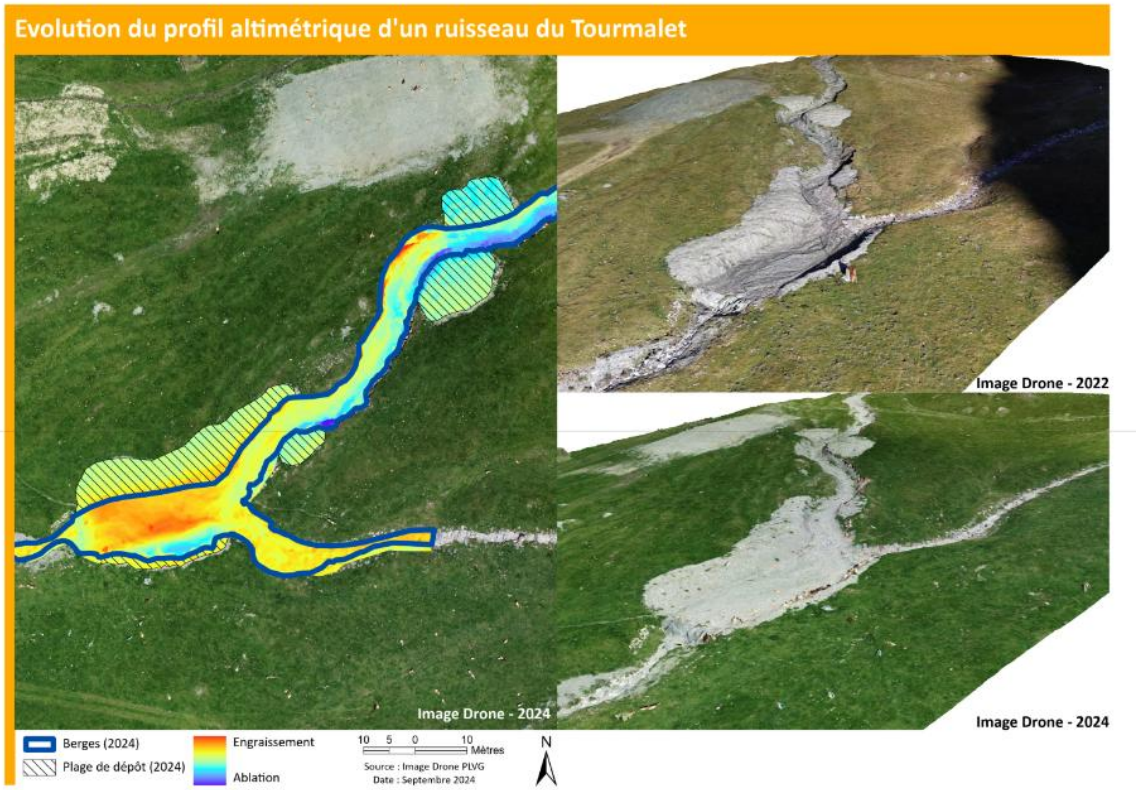


Figure 52 : Ablation-engraissement de la ravine du Tourmalet (Guillaume Arlandes, 2024)

Figure 53 : Utilisation d'agrafes métalliques pour évaluer les volumes de terre déplacés par l'érosion (Les Angles, 25/06/2017)

3.7.3 Suivi-évaluation de la fiche « Pilotage des actions programmées »

Durée de mise en œuvre :	4 ans.
Observations sur la gestion de l'action :	Possibilité de réajuster les suivis réalisés en fonction des travaux et de recalibrer les niveaux d'investigations en fonction des moyens disponibles.
Indicateurs de suivis :	Vérification de la mise en œuvre des activités programmées annuellement. Rapports d'analyse d'images réalisés. Utilisation des résultats du système de suivi-évaluation par les porteurs du projet pour réajuster les programmes d'actions. Appropriation de ce système par le Comité de pilotage du projet.
Maitrise d'ouvrage :	Projet d'intérêt général d'envergure régionale ou nationale. Portage à définir par le comité de pilotage.
Mise en œuvre / partenaires :	Commune de Barèges, Agence de l'eau, Commissariat de Massif, Pyrénées Cartographie, possibilités de faire intervenir des chercheurs universitaires.
Modalité de l'aide :	
Montant de l'aide :	

4 Conclusion

Ce plan de lutte contre l'érosion à l'échelle de la tête du bassin versant du Bastan est le fruit d'une analyse croisée d'études sur les dynamiques d'érosion observées et de perceptions des acteurs locaux.

Il a pour objectif la détermination de zones présentant d'importants risques d'érosion, l'identification des sites présentant les plus forts enjeux en lien avec les activités au sein de la zone, ainsi que des propositions d'actions pour limiter les problématiques d'érosion dans la durée.

La caractérisation des différents processus érosifs de la zone d'étude, leur quantification et leurs localisations s'est basée sur la revue et mise en relation d'un ensemble d'études réalisées depuis les années 2010. Des approches empiriques, expérimentales et par modélisation ont permis d'identifier un ensemble de secteurs à forts risques d'érosion, ainsi que d'apporter des éléments qualitatifs et quantitatifs quant au type et à l'ampleur des phénomènes observés.

Un ensemble d'entretiens et d'échanges réalisés avec les acteurs locaux a ensuite permis la sélection de zones d'action prioritaires, en se basant sur une méthodologie de priorisation englobant les enjeux environnementaux et sociaux.

Pour l'ensemble des sites considérés comme prioritaires, un programme d'action a été proposé, détaillant les méthodes de gestion et de lutte à mettre en œuvre, les moyens techniques et financiers à mobiliser, ainsi qu'une estimation des coûts des travaux. Ces éléments sont décrits sous la forme de « Fiches action », appropriables par l'ensemble des acteurs.

La gestion durable de cette problématique d'érosion nécessite une démarche multidisciplinaire et multi-acteurs pour garantir une cohérence d'ensemble des actions développées.

Afin de mettre en œuvre les actions du plan de lutte, les collaborations entre acteurs devraient être animées. La mise en place d'un COPIL restreint est donc proposée. Dans un premier temps, cette structure pourrait poursuivre les échanges avec les différents partenaires identifiés dans les fiches action.

Le système de gestion proposé nécessite une implication forte des acteurs locaux dans la mise en œuvre du plan. Il a comme objectif d'inviter les parties-prenantes à développer un nouveau modèle de gestion des sols, pour préserver les végétations, les ressources en eau et les infrastructures sur les versants en s'appuyant sur des moyens humains et matériels localement disponibles. Il permettrait de traiter les problèmes d'érosion à la source et de limiter durablement les dommages provoqués sur site et plus en aval. Enfin, il contribuerait enfin à la préservation du caractère authentique des paysages agro-pastoraux de cette vallée.

Les premiers travaux visant à limiter l'érosion des sols dans différents contextes ont montré que plusieurs gestionnaires de la zone d'étude peuvent collaborer pour restaurer des terrains dégradés (station de ski et éleveurs, services des routes et communes, PLVG et communes, Syndicat de valorisation du Pic du midi de Bigorre et station de ski en lien avec la commission des sites classés de la DREAL lors des aménagements autour de la maison du col, ...). L'animation de ce plan pourrait maintenir ces dynamiques de mutualisation de moyens et d'expérience. La démarche concertée et préventive des problèmes d'érosion proposée, pensée pour limiter leur amplification et les coûts de gestion des infrastructures, permettrait aussi d'atténuer le changement climatique et ses effets.

Bibliographie

[1] Y. Ternet, P. Barrère, and E. . Debroas, *Notice explicative de la feuille Campan à 1/50000*, BRGM. 1995.

[2] L. Rigou, B. Dupin, A. Frankl, and A. Stokes, "TOPSOL, un Secteur de Référence pédologique dédié à la connaissance et à la restauration des sols de montagne.," *Conf. Journées ateliers "REVER" octobre 2022, bagnères Bigorre*, doi: 10.13140/RG.2.2.35768.21761.

[3] L. Olicard, "Notice CarHab des Hautes-Pyrénées (65) – Programme de cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels.," no. 65, p. 42, 2024.

[4] S. Briffaud *et al.*, "Paysage et politique du paysage dans le massif transfrontalier de Gavarnie/Mont-Perdu. Analyse pour servir de fondement à la gestion durable d'un bien inscrit au patrimoine mondial," 2013.

[5] R. Jessic, *Col du Tourmalet*.

[6] ONF, "Document ONF - Fiche de synthèse de l'aménagement : L'AYRE," 2023.

[7] ONF, "Document ONF - Fiche de synthèse de l'aménagement : CAPET," 2020.

[8] P. Maury and I. Bassi, "Document d'objectifs de la zone spéciale de conservation « Barèges, Ayré, Piquette », Site FR 7300930," 2006.

[9] P. Maury and C. Brau-Nogué, "Document d'objectifs de lade la Zone Spéciale de Conservation « Lac bleu, Léviste » - Site FR 7300931 - Document de compilation," 2007.

[10] Parc National des Pyrénées, "Document d'objectifs de la Zone Spéciale de Conservation Néouvielle site FR 7300929," 2003.

[11] "Formulaire standard de données - FR7300929 - Néouvielle," 2024.

[12] M. M. J.-P. BARRUE-PASTOR, *La vallée aux catastrophes. Déterminants physiques et représentations sociales des risques naturels en vallée de Barèges (Canton de Luz, Hautes-Pyrénées).*

[13] M. Lanusse, "Risques et amménagements à Barèges," *Rev. Geogr. Pyren. Sud. Ouest.*, vol. 59, no. 1, pp. 58–71, 1988.

[14] J. Blanpied, "La torrentialité dans les Pyrénées centrales : évolution depuis la fin du Petit Age Glaciaire, spécificités et dynamiques géomorphologiques actuelles," 2019.

[15] J. Blanpied, J. M. Carozza, and J. M. Antoine, "La connectivité sédimentaire dans la haute chaîne pyrénéenne par l'analyse de la crue de juin 2013 : le rôle des formations superficielles," *Geomorphol. Reli. Process. Environ.*, vol. 24, no. 4, pp. 389–402, 2018, doi: 10.4000/geomorphologie.12718.

[16] E. Flavigny, *Les glissements de terrain*, Rapport Mi. 2018. Accessed: Nov. 25, 2024. [Online]. Available: https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/glissements-de-terrain/

[17] R. Bekaert, "Landslides in a pyrenean mountain catchement and implications for

sediment production," 2022.

[18] Université Nice Sophia-Antipolis, "Les formes d'érosion," La dégradation des sols dans le monde. [Online]. Available: https://unt.univ-cotedazur.fr/uoh/degsol/formes-erosion.php

[19] L. Borselli, P. Cassi, and D. Torri, "Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment," *CATENA*, vol. 75, no. 3, pp. 268–277, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.catena.2008.07.006.

[20] M. Cavalli, S. Trevisani, F. Comiti, and L. Marchi, "Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments," *Geomorphology*, vol. 188, pp. 31–41, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.05.007.

[21] C. Mulatero, "Diagnostic pour une gestion agroécologique de la vallée du Bastan," 2020.

[22] B. Dupin and K. Liautaud, "Synthèse illustrée des travaux de restauration écologique réalisés par Eco-Altitude dans la vallée de Barèges de 2020 à 2023," 2023. [Online]. Available: https://www.eco-altitude.com/wp-content/uploads/2025/02/Synthese-illustree-des-restaurations-b-v-Bastan-vf.pdf

[23] B. Dupin and K. Liautaud, "Projet de lutte contre l'érosion des sols dans la vallée du bastan. Document de sensibilisation," 2024. [Online]. Available: https://www.eco-altitude.com/wp-content/uploads/2025/02/Formes_derosion_et_methodes_de_lutte_vf.pdf

[24] B. Dupin, A. Goupillon, and K. Liautaud, "Résultats des diagnostics environnementaux et sociaux et propositions de sites d'action prioritaires pour limiter l'érosion sur le bassin versant.," 2025. [Online]. Available: https://www.eco-altitude.com/wp-content/uploads/2025/02/Restitution_diagnostics_et_choix_sites_prioritaires_vf.pdf

[25] G. T. Doran, "There's a SMART way to write managements's goals and objectives," *Manage. Rev.*, vol. 70, no. 11, 1981.

Annexe 1 : Partenaires des études sur le milieu biophysique

Alexia STOKES : INRAE. Ecologue. Etude du rôle des végétations sur la stabilité des sols. Portage du projet ECO-MOUNTAIN de 2020-2022

Amaury FRANKL : Université de Gand. Géomorphologue. Etude sur l'érosion. Projet ECO-MOUNTAIN et poursuite des études de 2020 à 2024

Laurent RIGOU : ASUP. Pédologue. Etude des sols. Portage du projet Topsol de 2021 à 2023. Accompagnement dans l'élaboration du plan de lutte contre l'érosion en 2024

Guillaume ARLANDES : Pyrénées carto. Géomaticien. Analyse d'images et cartographie. Projet Lutte contre l'érosion du Bassin-versant en 2024

Nathalie FROMIN : CNRS. Ecologue. Etude sur les végétations et la vie microbienne des sols. Collaboration depuis 2020 sur la restauration de sols dégradés.

Annexe 2 : Liste des participants à la réunion de restitution des diagnostics et de présentation des sites problématiques pré-identifiés

Organismes	**Nom**	**Prénom**	**Fonction**
Agence de l'eau	MASSON	Angélique	Chargé de mission Délégation de Pau
Agence de l'eau	MABRUT	Véronique	Directrice de l'agence de Pau
ASUP	RIGOU	Laurent	Agronome et pédologue
CD 65 Environnement	LABAT	Catherine	Responsable environnement
CD 65 Service des routes	DUCOS	Thierry	Responsable secteur
Commissariat de Massif	BUSSELOT	Anne	Commissaire adjointe
Commission syndicale de la Vallée de Barèges	BAYLE	Raymond	Président
Commission syndicale de la Vallée de Barèges	CAZAUX	Jean	Responsable
CRPGE	DEVIN	Hélène	Responsable secteur vallées de Luz
DDT	CLARIOND	Alexis	Directeur
DREAL Commission des sites	SEIGNEUR	Eléonore	Responsable commission des sites classés
Eco-Altitude	DUPIN	Brice	Responsable ingénierie écologique
Eco-Altitude	CAZALAS	Régis	Responsable tourisme durable, transition éc.
Eco-Altitude	LIAUTAUD	Kevin	Agronome/Ecologue
Eco-Altitude	VISSA	Benjamin	Tourisme durable, trans éco
Mairie de Barèges	ARRIBET	Pascal	Maire
Mairie de Barèges	RICHARD	Marc	Adjoint au maire
Mairie de Barèges	CRAMPE	Laurent	Elu
Mairie de Barèges	GOUPILLON	Aurore	Agent de développement
ONF/RTM	MICHEL-VILLAZ	Edith	Chef de projet risques naturels vallées des gaves
Parc national des Pyrénées	PITCHELU	Julie	Responsable secteur vallées de Luz
PLVG	SAZATORNIL	Hélène	Gestion de l'eau
Pyrénées Cartographie	ARLANDES	Guillaume	Géomaticien
Sous-préfecture	TULEU	Fabien	Sous-préfet d'Argelès-Gazost
Station de ski	DUCHENE	Olivier	Responsable des pistes

Annexe 3 : Liste des participants aux réunions de présentation des formes d'érosions observées sur le bassin-versant et de validation des sites et fiches actions proposés.

Organismes	**Nom**	**Prénom**	**Fonction**
Agence de l'eau	MASSON	Angélique	Chargé de mission Délégation de Pau
ASUP	RIGOU	Laurent	Agronome et pédologue
CD 65	LABAT	Catherine	Responsable environnement
CD 65 Service des routes	DUCOS	Thierry	Responsable secteur
Commissariat de Massif	BUSSELOT	Anne	Commissaire adjointe
Commission syndicale de la Vallée de Barèges	BAYLE	Raymond	Président
Commission syndicale de la Vallée de Barèges	CAZAUX	Jean	Responsable
DDT	DANSAUT	Emmanuel	Directeur adjoint service SEREF
DREAL Commission des sites	SEIGNEUR	Eléonore	Responsable commission des sites classés
Eco-Altitude	DUPIN	Brice	Responsable ingénierie écologique
Eco-Altitude	CAZALAS	Régis	Responsable tourisme durable, transition éc.
Eco-Altitude	LIAUTAUD	Kevin	Agronome/Ecologue
Mairie de Barèges	ARRIBET	Pascal	Maire
Mairie de Barèges	GOUPILLON	Aurore	Agent de développement
Mairie de Barèges	NOGUERE	Jean-Louis	Maire
ONF/RTM	MICHEL-VILLAZ	Edith	Chef de projet risques naturels vallées des gaves
PLVG	SAZATORNIL	Hélène	Gestion de l'eau