



18. Le sol et le sous-sol

dans le Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises

Diagnostic du territoire, août 2022



18. Le sol et le sous-sol dans le Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises

Ce chapitre est l'un des 18 chapitres du diagnostic territorial du Parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises, réalisé dans le cadre de la révision de la Charte.

SOMMAIRE

1. Le regard des habitants	5
2. Diversité géologique des Pyrénées Ariégeoises	5
2.1. A l'origine de la complexité du paysage géologique des Pyrénées Ariégeoises	5
2.2. La présence de roches et de gisements rares	8
2.3. Karst et massifs karstiques	10
2.4. Des réserves en eaux souterraines importantes liées aux formations karstiques	11
3. Les usages du sous-sol	14
3.1. Carrières et mines	14
3.2. La fréquentation sportive et de loisirs	16
3.3. La valorisation touristique par la visite accompagnée des cavités	17
3.4. L'activité artisanale	18
3.5. La recherche	18
4. Sol et substrat – pédologie	19
5. Outils réglementaire, de gestion et de planification	19
6. Les usages du sol	21
6.1. L'occupation du sol et les dynamiques d'évolution dans les Pyrénées Ariégeoises	21
6.2. Artificialisation des sols	21
6.3. Agriculture	22
6.4. L'exploitation forestière et les sols forestiers	23
6.5. Les pratiques de loisirs	24
7. Le patrimoine	25
8. Les risques	26
9. Les sols et la santé environnementale	27
10. Pressions potentielles ou futures	28
11. Sols et changement climatique	28
12. Les forces vives du territoire et les documents-cadre	30
13. Eléments prospectifs 2040	31
Synthèse Sol et sous-sol	32
Bibliographie indicative	34

Introduction

Les sols constituent une ressource naturelle non renouvelable. A l'interface entre le sous-sol et les usages du sol, les sols dépendent du substrat. Ils sont le support de toute vie et une ressource à préserver dont dépend en partie la production forestière, la santé des forêts, la qualité des eaux de surface, la production agricole, activités sportives et de loisirs... Ils assurent de nombreuses fonctions écologiques (filtration des eaux, refuge d'une abondante biodiversité encore mal connue, régulation du cycle carbone et de l'azote). La préservation de ces fonctions et usages, et leur prise en compte dans l'aménagement et l'utilisation du territoire constituent des enjeux importants. Les sols jouent également un rôle important dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique par le biais du stockage carbone, contenant une très grande quantité de carbone sous forme de matières organiques

D'autre part, le patrimoine géologique et minéral associé au sous-sol fait aujourd'hui l'objet d'une reconnaissance au même titre que la biodiversité et doit être préservé pour ses éléments les plus remarquables.

Concernant les sols, les enjeux liés à leur préservation sont au cœur des missions des PNR (préservation de la biodiversité et des paysages, développement économique basé sur les ressources du territoire, aménagement, suivi de l'évolution de l'occupation du sol), et plus récemment pour amorcer la réflexion et les actions à l'échelle territoriale afin d'atteindre l'objectif national de Zéro artificialisation Nette. La connaissance et la préservation des sous-sols est une thématique émergente pour les PNR (labellisation géopark, ...)

Le PNR des Pyrénées Ariégeoises présente une diversité géologique exceptionnelle qu'il est nécessaire de préserver. Plusieurs actions d'ordre transversal, impliquant directement ou indirectement cette ressource sont en cours : définition, mise en œuvre et actualisation de la Trame verte et Bleue, projet de Réserve Naturelle Nationale souterraine, projet agroenvironnement, étude sur les sols forestiers, stratégie d'adaptation au changement climatique...

Les particularités des Pyrénées Ariégeoises :

- > Une richesse géologique (fossiles, minerais, formes géologiques, faciès, karst et falaise, lherzolite, paysage rocheux)
- > Des sols préservés notamment grâce au couvert forestier. Ces sols préservés offrent des terres arables (agriculture) avec une forte proportion d'agriculture bio
- > Préhistoire (peinture rupestre et occupation préhistorique de grottes)
- > Exploitations minières (minerais métalliques) et carrières (marbre, ardoise).

Point de départ

Le sol et le sous-sol sont des ressources « redécouvertes » qui appellent à réfléchir aux enjeux contemporains et futurs du territoire, dans une logique territoriale et prospective. Il existe aujourd'hui peu de données factuelles permettant de caractériser le sol alors que sur le sous-sol il existe plus de données.

1. Le regard des habitants (enquête citoyenne 2017- 2018)

❖ Préserver les ressources, la qualité et le cadre de vie naturel : Objectif zéro pollution

Outre la préservation de la biodiversité, les répondants se soucient de la préservation de la qualité environnementale (eau, air, sols, environnement sonore).

❖ Dépolluer les sites miniers

Invokant une logique de préservation de la ressource sols mais aussi eau, de la flore et la faune, de nombreuses remarques sont formulées sur la dépollution de sites miniers, industriels et l'arrêt de projets d'exploitation, tels que la mine de Salau, les carrières de Sabarat et Bèdeilhac.

2. Diversité géologique des Pyrénées Ariégeoises

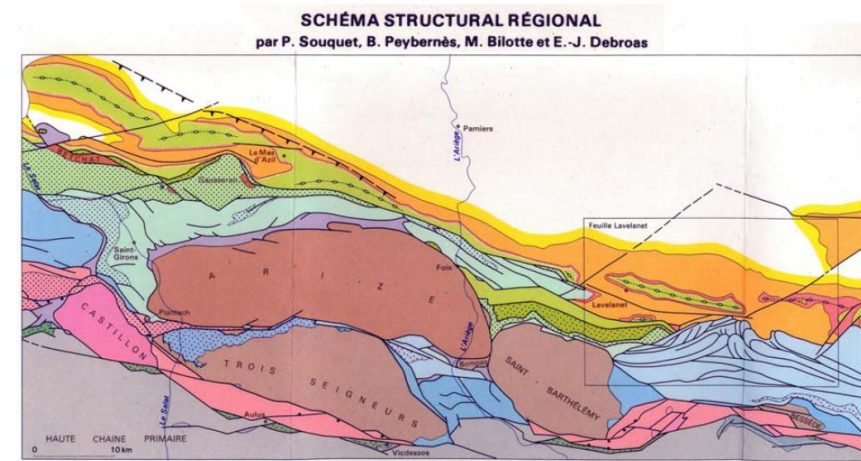
2.1. A l'origine de la complexité du paysage géologique des Pyrénées Ariégeoises

(Source : Dossier d'avant-projet RNNS (PNRPA, 2020), Diagnostic du PNRPA, 2008)

Le territoire se trouve au centre de la chaîne pyrénéenne et est ainsi soumis à la double influence océanique et méditerranéenne. Il est nettement séparé de l'Espagne au sud par la crête frontière, et présente des terrains marqués par une grande diversité lithologique aux capacités aquifères contrastées.

Les Pyrénées sont nées de la compression de la plaque tectonique européenne par la plaque ibérique. Les conditions sont uniques en Europe occidentale sur de nombreux points : orientation est-ouest, position en latitude, diversité climatique, forte opposition climatique entre le versant nord français et le versant sud espagnol, présence de tous les étages de végétation (méditerranéen, collinéen, montagnard, subalpin et alpin), variété des substrats (voir figure ci-après), et enfin histoire paléo-climatique. Toutes ces conditions rendent compte de l'extrême diversité de la flore et de la faune de la chaîne des Pyrénées, et notamment de l'abondance et de la variété des massifs karstifiés, le plus souvent isolés les uns des autres par l'érosion fluviale, karstique ou glaciaire.

Les grottes se sont creusées dans ces massifs calcaires d'âges variés, allant du Crétacé et du Jurassique dans le piémont jusqu'au Primaire, Ordovicien dans la partie plus axiale.



LÉGENDE DU SCHEMA STRUCTURAL REGIONAL	Socle et Tégument		Couverture					
	Précambrien à Trias inférieur	Jurassique à Albien inférieur	Albien supérieur à Cénomannien inférieur	Vraconien à Sénonien	Cénomannien à Campanien	Maastrichtien à Thanétien	Thanétien à Ilerdien moyen	Ilerdien supérieur à MIOCÈNE
BASSIN D'AQUITAINE								Molesses
ZONES SOUS-PYRÉNÉENNES								
ZONES NORD-PYRÉNÉENNES								
ZONE INTERNE MÉTAMORPHIQUE								
HAUTE CHAÎNE PRIMAIRE et écaillles bordières								

Trias supérieur (niveau de décollement)
 * Iherzolite
 Discordance laramienne
 Contacts anormaux
 Axe des anticlinaux sous-pyrénéens

Schéma structural régional – extrait de la carte géologique au 1/50 000^{ème} de Lavelanet – 1076. Source : Cete du Sud-Ouest, 2012.

La formation de la chaîne pyrénéenne actuelle résulterait d'une rotation de la plaque ibérique, ayant provoqué l'apparition d'un sillon marin est-ouest à l'emplacement actuel de la chaîne, suivie d'un mouvement inverse, provoquant un serrage contre la plaque européenne et la fermeture du sillon.

Il y a donc eu successivement :

- au Carbonifère (fin de l'ère Primaire) un premier plissement du substratum Précambrien et Primaire (chaîne dite « hercynienne ») ;
- pendant l'ère Secondaire plusieurs phases de transgressions de l'océan atlantique, avec dépôt de séries sédimentaires dans le sillon est-ouest, issues de l'érosion de la chaîne hercynienne, telles que calcaires et marnes ;
- un métamorphisme de cette série sédimentaire de type « haute température-basse pression », au moment de l'étirement maximum de l'écorce (à l'Albien : fin du Crétacé Inférieur)
- une première phase de déformation « alpine » lors du serrage du sillon marin, au Crétacé Supérieur ;
- La phase majeure « alpine » à l'Eocène (Tertiaire), responsable de l'apparition des principaux reliefs ;
- plusieurs phases postérieures de moindre amplitude, ainsi qu'un rajeunissement des reliefs (notamment par montée de la « zone axiale »).

En conséquence, au Sud se trouve la Haute Chaîne Primaire (ou « zone axiale ») limitée au Nord par la faille Nord-Pyrénéenne. Il est généralement admis que cette faille sépare la plaque ibérique de la plaque européenne. La Haute Chaîne Primaire est essentiellement constituée de schistes (Mont Rouch), plus rarement du calcshistes (Mont Valier), ou de roches métamorphiques de type micaschistes ou gneiss comme dans le Vicdessos.

La faille Nord-Pyrénéenne est jalonnée par des affleurements de Lherzolite (roche du manteau). Le nom de Lherzolite provient d'ailleurs de l'étang de Lhers, lieu où cette roche a été trouvée pour la première fois.

La zone Nord-Pyrénéenne est formée d'une « couverture » Secondaire et Tertiaire, composée principalement de marnes et de calcaires (ces derniers sont métamorphisés en marbres par endroits, notamment le long de la faille Nord-Pyrénéenne). Elle abrite un réseau karstique important et marquant le paysage (Kers de Massat et de Biert). La zone Nord-Pyrénéenne est séparée de la zone suivante par l'accident tectonique dit « Front Nord-Pyrénéen ». La constitution

géologique de certain des massifs de cette zone rappellent celle de la Haute Chaîne Primaire, avec des roches sédimentaires de l'ère Primaire, des roches métamorphiques et des batholites de granite (la Barguillière, Ax-les-Thermes, etc.).

Encore plus au Nord, se trouve la zone Sous-Pyrénéenne (incluant le « Plantaurel » et les « Petites Pyrénées »), rides de terrains sédimentaires récents de basse altitude, de 20 km de large pour 600m d'altitude à l'ouest du territoire. Elle est traversée par des Cuestas, l'exemple le plus connu étant la grotte du Mas d'Azil traversée par l'Arize.

Cette diversité géologique a eu plusieurs conséquences sur l'économie et l'architecture du territoire :

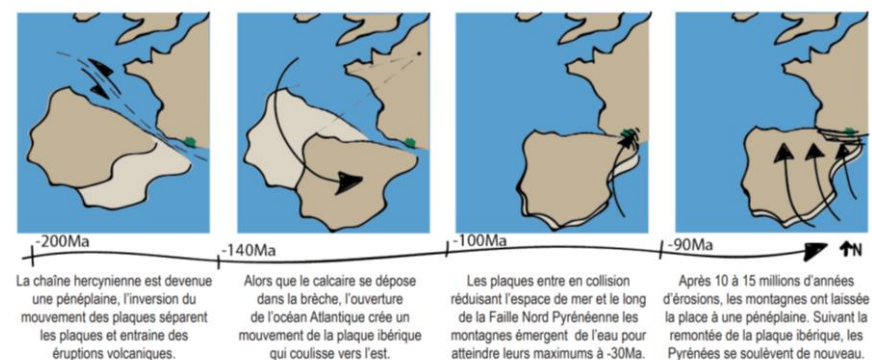
> L'extraction d'une très grande diversité de matériaux de construction (marbres, ardoises, grès...);

> L'extraction d'une très grande diversité de minerais (Plomb, Cuivre, Fer, Aluminium, Manganèse, Bauxite, Tungstène...)

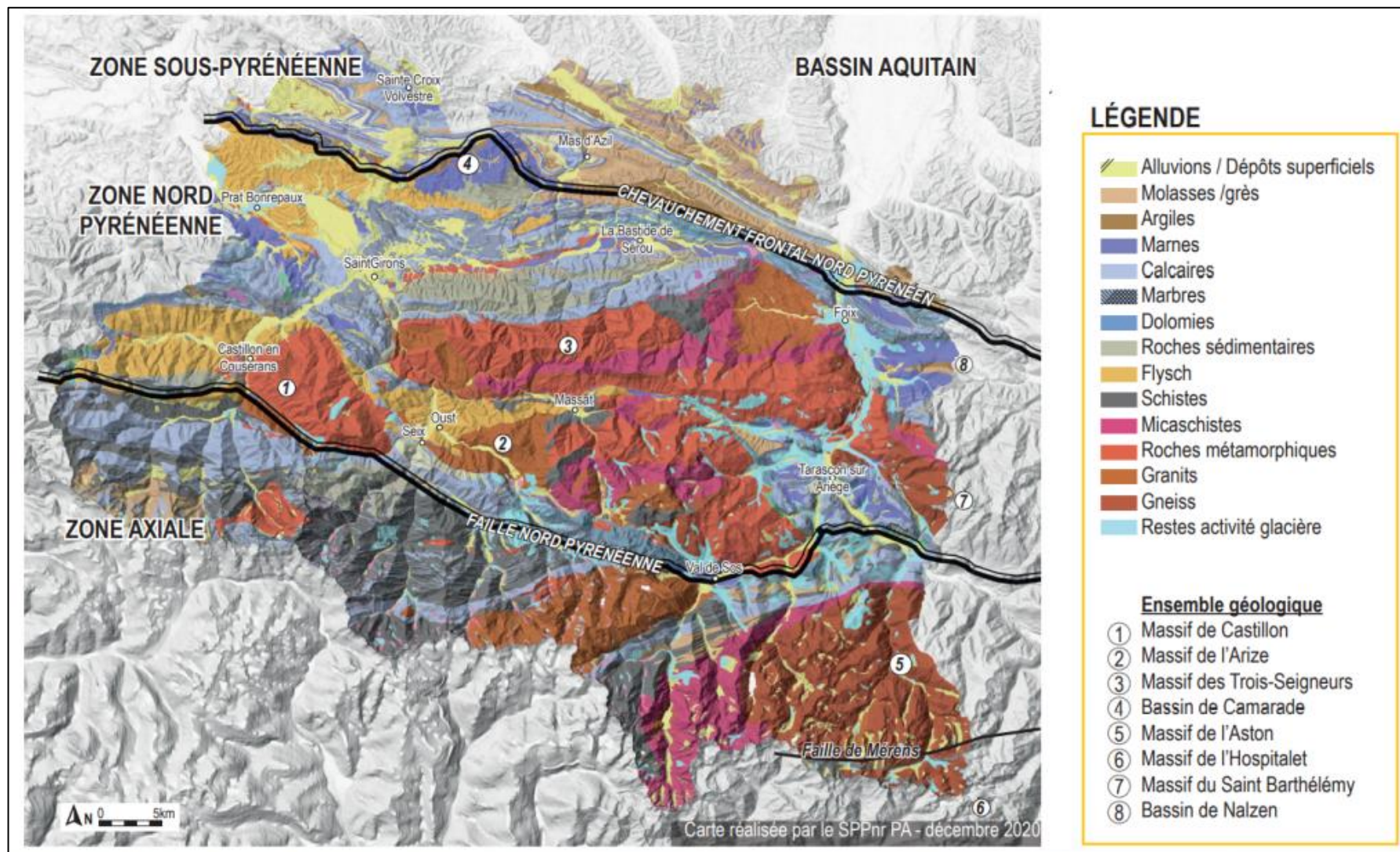
> La présence de nombreuses grottes ornées et / ou à concrétion, résultante des phénomènes karstiques, qui forme une des clés de voûte de l'identité naturelle et culturelle du territoire et de son économie touristique.



DE LA PÉNÉPLAINE À LA MONTAGNE, UNE RÉPÉTITION DEPUIS DES CENTAINES DE MILLIONS D'ANNÉES.



Source : Les Unités Paysagères, PNRPA, 2021.



Diversité géologique des Pyrénées ariégeoises.
 Source : PNRPA, 2020.

Un inventaire du patrimoine géologique a été mené en ex Région Midi-Pyrénées. Côté Ariège, on compte 250 sites d'intérêt géologique dont 94 sites publics, ce qui est exceptionnel à l'échelle de la France. Sur le PNR, les sites d'intérêt géologique exceptionnel sont nombreux : étang de Lherz, grotte de la Cigalère, faille de Sabarat, Faille Nord-Pyrénéenne visible à Sem, morphologie glaciaire de certains sites, etc.

2.2. La présence de roches et de gisements rares

En italique : Extrait de la contribution de M. Claude Dubois à l'étude prospective pour la charte 2024-2039 sur la ressource sous-sol, Conseil scientifique du PNRPA, 2021 – Annexes.

La formation complexe des Pyrénées implique la présence de nombreuses roches et minéraux sur les Pyrénées Ariégeoises. Certains sont même rares et ont été très longtemps exploités, dès le XIX^e siècle : plomb argentifère et zinc, notamment dans le Biros (Bentaillou, Bulard). Il faut ajouter à cela la découverte, à la fin du XIX^e siècle, pour la première fois au monde, d'un nouveau minerai très riche en manganèse, à Riverenert, exporté jusqu'au U.S.A. A la même époque des géologues cartographiaient des minéraux tels que des « amphiboles » et des « pyrites arsenicales », et plus tard, au siècle suivant le BRGM identifie des affleurements de scheelite dans la région de Salau. Dans les années 60, la Société Minière d'Anglade est créée pour l'exploitation de ces mines de tungstène.

Trois gisements importants non exploités peuvent être cités :

- *Carboire, commune d'Ustou, avec 2,5 millions de tonnes de minerai à 7% de zinc.*
- *Anglade, commune de Salau, avec 1 million de tonnes de minerai à 1,5% de tungstène.*
- *On peut y ajouter éventuellement Bentaillou/Rouge, commune de Sentein ou 300 000 tonnes de minerai à seulement 4% de zinc métal ont été mal reconnues.*
- *Depuis quelques années, géologues miniers et minéralogistes s'intéressent aux gisements de zinc car on y trouve parfois du germanium. Ce métal est un semi-conducteur très utilisé dans l'électronique. Les anciennes mines de zinc,*

de plomb/zinc et de cuivre des Pyrénées ariégeoises en recèlent peut-être : Mines de Carboire, de Sentein, d'aulus, du Séronais... ? Le germanum était également l'objet des recherches récentes et avortées à Salau.

Le cadmium pourrait aussi, éventuellement se trouver avec le carbonate de zinc. Il était associé au minerai de zinc de la mine d'Uretz, en haut du Val d'Aran, dont l'origine et l'âge sont identiques à ceux de gisements du Biros. Ce métal a de multiples usages, en chimie, pour les batterie, dans les centrales nucléaires, etc.

Si l'un de ces métaux, ou autre, indispensables à l'électronique, donc aussi à l'informatique, se trouvait à Sentein, on peut supposer que son éventuelle exploitation se contenterait de retraiter les haldes accrochés au versant de la montagne et les stériles de l'ancienne usine de préparation. Ce faisant, une telle exploitation contribuerait à éliminer partiellement ces dépôts, mais en génèrerait de nouveaux aux contenus chimiques inconnus. Si c'était à Carboire ou à Salau que cette présence de métal rare était avérée, la mise en exploitation consisterait alors à extraire le minerai de zinc du premier gisement et celui de tungstène pour le second. Nous serions dans ce cas en présence de véritables exploitations minières.



La Lherzolite à l'Étang de Lers

« L'épopée miraculeuse de la Lherzolite »

Extrait du Bulletin du Conseil scientifique du PNRPA, Regard sur site : l'Étang de Lers, 2010.

C'est aux confins de la nuit du monde, au cœur même des entrailles profondes et mystérieuses de la terre que la Lherzolite naît, semble-t-il, il y a plus de 300 millions d'années. Nichée dans une obscurité totale dans la partie supérieure du manteau qu'elle compose, elle évolue alors dans un monde de feu à 1 300°C, sous une pression 15 000 fois supérieure à la pression normale. A 50 km sous la terre, à l'abri du regard des hommes, elle est loin d'imaginer que quelques centaines de millions d'années plus tard, les caprices de la géologie la propulseront à travers la croûte de surface, fragmentée par les mouvements de son manteau provoqués par de hautes températures, jusqu'à la surface de la Terre. Et qu'à 45 millions d'années, elle y rayonnera, alors, telle une roche miraculée, fantastique témoin de la formation des Pyrénées.

Bien sûr, il y a 250 millions d'années, l'idée l'effleure lorsque l'Atlantique s'ouvre, qu'une portion de croûte, la plaque ibérique, dans un mouvement de translation et de rotation va à la rencontre de la plaque européenne. A cet instant où les prémises du bassin d'Aulus se dessinent. Mais, le temps faisant, elle chasse bien vite ce doux rêve de voir, un jour, au-delà de la croûte terrestre et de croiser à jamais les rayons de la lumière. Elle reprend, alors, sa vie dans les profondeurs de sa nuit lorsqu'un jour, à 100 millions d'années, un 1er choc la fait chanceler. Un fragment de son manteau protecteur est alors arraché et expulsé suffisamment vite vers le haut pour ne pas se retransformer lors des modifications de pression et de température.

Littéralement propulsée, elle accroche et griffe sur son passage les roches granitiques et vient se nicher avec fracas dans les calcaires de surface. 55 millions d'années plus tard, lors de l'orogénèse pyrénéenne, alors que la croûte s'enfonce sous le manteau à 15 km, un 2^{ème} choc extrêmement violent, à l'origine des Pyrénées actuelles, chamboule le cours de son histoire.

Le relief se forme, l'érosion fait son œuvre et la fait apparaître au grand jour autour de l'étang de Lers et tout le long des Pyrénées qui viennent alors de se former. Incroyable ! Roche des profondeurs extrêmes composée de minéraux ferro-magnésiens lourds, roche invisible des hommes roche d'histoire empreinte de tous les mystères de notre monde, elle est à l'air libre. Elle garde son secret jusqu'en 1787 où elle pique la curiosité d'un ingénieur des mines, Charles-Hugues Lelièvre, qui le premier la ramasse à l'étang de Lers et la fait entrer dans la lumière des hommes de sciences. Elle atteint alors bien vite une renommée internationale, tant il est exceptionnel de pouvoir la voir et la toucher, tant cet écrin des profondeurs nous conte l'incroyable histoire de la partie supérieure du manteau de notre Terre, tant elle témoigne d'un moment fort de la constitution des Pyrénées avec l'apparition du grand bassin d'effondrement, le fossé d'Aulus, d'où elle est remontée. La Lherzolite : une fantastique épopée des profondeurs en forme de miracle qui n'a de cesse de nous interroger. encore et encore... et de nous émerveiller ! »



Incrustation de Lherzolite dans le Calcaire, Etang de Lers, © PNRPA.

2.3. Karst et massifs karstiques

Source : dossier d'avant-projet de RNNS (PNRPA ; 2020))



Les **milieux souterrains** sont très nombreux dans les Pyrénées Ariégeoises du fait de l'**abondance de karsts**. Les contextes géologique et climatique des Pyrénées ont conduit à une abondance de massifs karstifiés et un compartimentage qui a favorisé le développement de populations endémiques, et en a fait un **domaine vital souterrain particulièrement riche et bien étudié**. Le département ariégeois est reconnu au niveau mondial par la recherche bio-spéléologique, notamment grâce à la présence depuis 1950 du laboratoire souterrain de Moulis et les chercheurs du CNRS.

« »

Qu'est-ce que le Karst ?

Ce sont des reliefs affectés par les processus d'érosion chimique de roches sensibles à la dissolution par les eaux. Ces roches sont principalement des calcaires, dolomies, gypse, sel gemme, cargneules. Les paysages karstiques se caractérisent par la rareté des écoulements d'eau en surface, quelle que soit la pluviosité régionale, du fait de l'enfouissement rapide des eaux dans les profondeurs de la roche. L'évolution du système répond aux perturbations extérieures comme les changements climatiques, les grands mouvements tectoniques, les variations des fonds de vallée et du niveau des mers où se localisent préférentiellement les émergences (CEN Rhône-Alpes. 2015).

Plusieurs habitats souterrains sont identifiés : tous ceux identifiés dans les Cahiers d'Habitats sont représentés dans le projet de réserve et notamment des sites de référence au niveau mondial.

- L'habitat souterrain dans les éboulis rocheux des montagnes calcaires ou non calcaires recouverts d'un sol (MSS), présent dans les versants des vallées, avec des espèces souterraines spécifiques et d'autres communes avec celles des grottes ; découvert en Ariège en 1980, et maintenant reconnu dans les zones montagneuses de l'Europe centrale et méridionale. La station ariégeoise MSS 100 (n°16) est la référence mondiale pour cet habitat.
- L'habitat souterrain aquatique dans les remplissages (graviers, sable) des cours d'eau de surface (milieu interstitiel et hyporhéique) extrêmement répandu dans une majorité des cours d'eau en France et en Europe et notamment en Ariège. La station du ruisseau de Lachein (n°4) est une référence mondiale.
- Le biotope hypothelminorhéique, relativement bien représenté en France, depuis sa découverte en 1962 en Ariège par le croate Milan Mestrov, de nouveau mis à l'ordre du jour aux Etats Unis, en Slovénie et en Croatie depuis 2006. Sous-inventorié, seule la station type (n°13) est prise en compte dans la RNN souterraine de l'Ariège.
- Les grottes, ayant un réseau de fissures terrestres ou aquatiques inaccessibles par l'approche spéléologique mais dont la faune peut être inventoriée par la méthode de marquages-recaptures pour les invertébrés terrestres, par filtrage des résurgences pour les formes aquatiques. On en compte plus de 2000 en Ariège

Concernant la faune souterraine ariégeoise, le premier projet de Réserve Naturelle Souterraine identifiait, en termes d'endémisme et de rareté :

- 70 % soit 14 des 20 espèces de Coléoptères souterrains protégés présents en Ariège,
- La plus importante population isolée sous terre à basse altitude de l'Amphibien pyrénéen protégé, *Calotriton asper*,
- Les 9 principaux sites d'hibernation et de mise bas des Chauves-souris en Ariège (Minoptères, Rhinolophes, Murins), actuellement en APPB (Arrêté de Protection Préfectoral de Biotope),

- Plusieurs sites renfermant des Mollusques Hydrobiidae protégés (en cours d'inventaire).



Globalement la biodiversité des milieux souterrains des Pyrénées Ariégeoises est préservée compte tenu des faibles perturbations (Ilot de biodiversité). Une attention est cependant à porter dans la grotte du Mas d'Azil, Ker de Massat (chauve-souris), la grotte de Siech et la rivière souterraine de Vicdessos.



Par ailleurs, on notera que les cavités ariégeoises présentent aussi une **richesse archéologique** : quasiment toutes les cavités et leurs entrées montrent un potentiel archéologique ou paléontologique fort.

La partie souterraine des karsts appelée l'endokarst recèle des reliques archéologiques telles que des fossiles, silex encaissés, souvent invisibles en surface. L'assèchement de certains niveaux de galeries permet la conservation des sédiments et concrétions en place dont l'analyse est précieuse pour la reconstitution des climats et des environnements passés. Les cavernes sèches sont aussi de bons conservateurs des indices et traces de fréquentation ancienne par la faune et par l'Homme préhistorique. En Ariège les principaux thèmes d'études de la préhistoire sont abordés : archéologie funéraire, art rupestre (qui fleurit au Néolithique et se poursuit à l'âge de bronze) et pariétal, paléontologie des grands et micro vertébrés, mobilier lithique, céramique et métallique (à partir du début de l'Age de Bronze). Les avens ont pu fonctionner en pièges naturels, les grottes d'abris aux populations anciennes et jusqu'à la période actuelle.

2.4. Des réserves en eaux souterraines importantes liées aux formations karstiques

Les particularités géologiques du territoire génèrent de forts volumes d'eau souterraine, notamment dans les zones karstiques.

Ainsi, les formations karstiques du Secondaire et notamment les massifs de calcaires urgoniens (Nord du Castillonais et Avants-Monts) contiennent des **réserves en eau importantes**. Seules quelques sources sont actuellement

captées, il n'y a aucun forage exploitant les réserves d'aquifères. Les calcaires du Dévonien des séries primaires de la zone axiale constituent également de bons réservoirs avec des sources importantes.

Les formations imperméables du Secondaire, du Primaire et des terrains de socle (granite et roches métamorphiques) fournissent dans leur zone d'altération superficielle des sources parfois nombreuses en raison de leur situation en altitude.

Concernant le Nord du territoire :

Les alluvions des rivières secondaires telles que l'Hers, la Lèze et l'Arize, assez peu perméables, fournissent ponctuellement des débits inférieurs à 20 m³/h. Les formations molassiques du Volvestre, essentiellement imperméables, où le ruissellement est prépondérant, n'offrent que de maigres ressources.

Dans les Pyrénées et le Plantaurel :

Les formations du Tertiaire du Plantaurel présentent généralement des ressources en eau limitées à quelques sources. Seuls les calcaires karstifiés du Thanétien constituent de bons réservoirs. Les dépôts fluvio-glaciaires de l'Ariège et du Salat, d'épaisseurs importantes, sont susceptibles de fournir des débits importants.



Le CNRS de Moulis

Le Laboratoire souterrain de Moulis a été créé en 1948 afin d'étudier les aspects physiques et biologiques des systèmes de grottes souterraines. A l'époque, ce laboratoire situé près de Saint Girons était le plus gros laboratoire de recherche sur le monde souterrain. La grotte laboratoire de Moulis est créée par René Jeannel et Albert Vandel, et constitue une rare installation dédiée à la recherche sur la biologie souterraine. Elle est aujourd'hui un lieu reconnu de la recherche en biospéléologie et hydrologie karstique, à l'échelle internationale. A but de recherche scientifique, des espèces de faune souterraine ont été introduites. Ces introductions permettent notamment de comprendre les impacts potentiels des introductions d'espèces sur une faune largement endémiques. Des infrastructures techniques pour l'élevage de ces espèces y sont installées. La grotte de Moulis possède également une grande richesse minéralogique (calcite, aragonite). En 2007, la station CNRS de Moulis est devenue une Station d'écologie expérimentale et depuis 2016, la Station d'Ecologie Théorique et Expérimentale actuelle.

2.5. Le projet de Réserve Naturelle Nationale souterraine de l'Ariège

Source : Note de présentation de l'avant-projet de Réserve Naturelle Nationale Souterraine de l'Ariège, DREAL Occitanie, SMPNR Pyrénées Ariégeoises, ANA-CEN09 et CBNPMP, septembre 2021.

Envisagé une première fois il y a près de 20 ans (premier rapport d'opportunité en novembre 2002) et stoppé à la fin de l'enquête publique, le projet de Réserve naturelle nationale souterraine de l'Ariège (RNNSA) a été relancé localement à partir de fin 2016 et officiellement par un courrier du Premier Ministre du 15 février 2019. Il a désormais été intégré à **la déclinaison opérationnelle de la stratégie nationale des aires protégées (SAP 2020-2030)**.

Ancré sur la richesse remarquable du patrimoine souterrain de l'Ariège et de son inscription historique dans l'étude des milieux cavernicoles, en particulier grâce aux précurseurs de la station expérimentale du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de Moulis, le projet de RNNSA repose sur 28 sites, dont 9 d'entre eux bénéficient d'un statut d'arrêté de protection de biotope (APPB) et 12 d'un statut de site Natura 2000. Cette réserve multi-sites concerne 28 communes du département de l'Ariège pour un total d'environ 2100 ha. Le projet de création de la réserve souterraine est porté par la préfecture de l'Ariège, la DREAL et le PNRPA.

Ce projet de création dépasse les ambitions du premier **projet dont l'approche était principalement la connaissance des milieux souterrains. C'est une forme de reconnaissance du patrimoine exceptionnel présent en Ariège. Cet outil permettra de développer une véritable stratégie d'éducation à l'environnement et au monde souterrain, et de construire une gouvernance opérationnelle pour la bonne gestion de ces milieux.** Ce projet a pour but à la fois de protéger les nombreuses espèces animales et végétales présentes dans les 2 000 hectares souterrains concernés et de valoriser le patrimoine souterrain. Tous les sites, essentiellement des grottes, se trouvent dans le périmètre du PNRPA. Des chauve-souris aux invertébrés (araignées, crustacés) en passant par le calotriton des Pyrénées, de nombreuses espèces sont présentes dans ces cavités souterraines qui ne sont pas toutes reliées entre elles.

En mars 2022, le projet de RNNSA a été validé à l'unanimité par le Conseil national de protection de la nature (CNPN). La concertation avec les scientifiques, les élus, les propriétaires des sites, les spéléologues et autres acteurs est en cours courant 2022, avant le lancement d'une enquête publique.

3. Les usages du sous-sol

Le sous-sol est de plus en plus sollicité en tant qu'espace en raison des besoins croissants d'aménagement dans un espace contraint par le relief et protégé. Le sous-sol est utilisé pour enterrer des infrastructures : de gaz ou d'hydrocarbures, lignes électriques ou téléphoniques... Les carrières et les mines sont des activités passées avec de potentiels projets de réouverture (tungstène en haute montagne par exemple). Le sous-sol recèle aussi des ressources en eau. Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de surface (pluies, rivières, etc.) dans le sol. Elles forment des aquifères (réservoirs d'eau souterraine) plus ou moins profonds selon la géologie. Il est enfin le lieu de pratiques de loisirs ou de manifestations culturelles localisées (grottes, sites de spéléo).

3.1. Carrières et mines

Source : Dossier d'avant-projet de la Réserve Naturelle Nationale Souterraine, 2020)

Le potentiel extractif de l'Ariège est important : en 2012, le département comptait 215 sites d'exploitation de l'industrie extractive – du dragage d'alluvions à l'extraction en carrière – dont 19 en activité (CETE du Sud-Ouest, 2012).

Les Pyrénées Ariégeoises comptent de nombreuses exploitations liées aux mines de Zinc et Plomb, de Cuivre, de Fer, d'Aluminium, de Manganèse, de Bauxite, de Tungstène... Nombre d'entre elles contiennent encore le matériel qui a servi à leur exploitation. **La diversité des minerais, des types d'exploitation, des moyens employés et des époques d'exploitation des Pyrénées Ariégeoises permet de faire référence à la totalité de l'univers minier des Pyrénées.**

On recense sur le territoire les exploitations minières suivantes (la quasi-totalité ne font plus l'objet d'exploitation) :

- Pour le plomb et le zinc : les mines de Sentein-Bentaillou, Aulus-les-Bains, Ustou, Bonac, Riverenert, Alzen, Cadarcet
- Pour le cuivre : Alzen, le Séronais, Irazein
- Pour le fer : la mine du Rancié sur Sem exploitée dès 1272, Saurat, Montels, Riverenert, les grandes mines de Château-verdun et de Larcet.

- Pour le manganèse : Esplas de Sérrou, Riverenert
- Pour les bauxites : Séronais.
- Pour l'or : dans les sables du Salat et ses affluents, l'Arize et l'Ariège.
- Pour le tungstène : Salau à Couflens.

On rencontre notamment des vestiges d'installations minières dans la Haute chaîne primaire : les explorations intensives ont été animées par le Plan Cuivre en 1964 et par l'inventaire minier de 1975 à 1991. La baisse des cours du début des années 80 a entraîné la fermeture de la mine de Salau en 1986, et celles des recherches de Carboire (plomb et zinc). La mine de Salau a été la dernière mine de tungstène française encore en activité (Association des Géologues du Sud-Ouest, 2014).

De 2013 à 2015, l'Etat a commandé une étude ayant pour objectif d'évaluer les impacts liés à l'exploitation des mines de zinc et de plomb, qui ont produit des quantités de résidus miniers déversés dans le Lez ou stockés en bordure de ce cours d'eau durant plus d'un siècle. Par ailleurs, cette étude a mené à des préconisations de réhabilitation pour le site de Salau.

Plusieurs projets de réouverture de carrières ont été en discussion et ont échoué (Carrière de Sabarat, site en zone Natura 2000 et APPB, ou carrière de Bédeilhac, mine de Salau).

Outre l'exploitation minière, d'autres ressources minérales sont exploitées dans les Pyrénées Ariégeoises :

Les ardoises :

Le Flysh a fait l'objet dans le passé de multiples exploitations notamment dans la région de Saint-Lary, qui reste la seule activité ardoisière sur le territoire. Les ardoises ont également fait l'objet d'une exploitation notable à Le Port et à Siguer.

Les Grès :

Les Grès jaune roux de La Barre sont exploités épisodiquement dans les environs de Vernajoul et utilisés comme pierre à bâtir.

Marbres :

Le territoire a fait l'objet d'une exploitation importante de marbres (18 carrières) jusque dans un passé récent : le Vert d'Estours, le Grand Antique d'Aubert, l'Escalettes à Balacet, le Rosé vif d'Espiougue sont des exemples de marbres de grande notoriété. Les carrières de marbres étaient situées dans le Haut-Salat, le Castillonnais, le Val Couserans et le Séronais.

La pierre de taille :

Les constructions se faisaient en matériaux présents localement, notamment en pierre de taille et en couverture (ardoises là où il y en avait). Ainsi, la diversité des matériaux utilisés dans la construction que l'on peut observer d'un village à l'autre reflète la diversité des ressources et des exploitations.

Ainsi, sur le territoire, les matériaux traditionnels de construction traduisent directement l'identité géologique du site.



La mine de fer de Rancié

Extrait de la lettre du Conseil scientifique du PNR des Pyrénées Ariégeoises sur le Vicdessos

Située au cœur et aux abords du village de Sem (991 m d'altitude), dans la haute vallée du Vicdessos, la mine de fer de Rancié était la plus riche des Pyrénées Ariégeoises. Elle a alimenté toutes les forges de la vallée du Vicdessos et du Couserans depuis le Moyen-Âge jusqu'aux années 1929-1932, date de sa fermeture officielle. Toutefois, de récentes recherches archéologiques laissent à penser que la 1^{re} extraction serait antérieure au Moyen-Âge (des traces d'exploitations antiques). Elle est célèbre dans l'histoire de l'exploitation minière, tant du point de vue de sa continuité, de sa technique minière, que de sa structure sociale : en effet, la mine constituait une propriété collective exploitée jusqu'à la Révolution à la façon d'une coopérative de production.

Conseil Scientifique du PNR des Pyrénées Ariégeoises, 2015.



L'origine des activités minières en Vicdessos

Extrait de la lettre du Conseil scientifique du PNR des Pyrénées Ariégeoises sur le Vicdessos

A l'époque hercynienne, les Pyrénées représentent le sud d'une vaste chaîne de montagne s'étendant sur toute la France. L'existence de failles profondes ouvertes permet, à plusieurs reprises, la remontée de flux hydrothermaux fortement minéralisés envahissant les calcaires et créant de grands vides (karst hydrothermal). C'est ainsi, qu'il y a 380 millions d'années, se met en place, le gisement de fer du Rancié. Ce gisement exploité à l'époque gallo-romaine, devient, à la fin du Moyen Age, l'un des sites d'extraction de minerai de fer les plus importants des Pyrénées. Les problèmes d'exploitation et la concurrence de la métallurgie des hauts fourneaux conduisent à la fermeture de la mine en 1928. Au total, sa production a été de 5 millions de tonnes. En 1857, Laymerie y découvre un nouveau minéral (hydroxyde de manganèse calcique) qu'il nomme la Rancéite.

Conseil Scientifique du PNR des Pyrénées Ariégeoises, 2015.

3.2. La fréquentation sportive et de loisirs

Source : Dossier d'avant-projet de RNNS, 2020.

- **La pratique sportive de la spéléologie**

L'Ariège présente une multitude de réseaux souterrains, paradis des pratiquants de spéléologie amateurs du monde souterrain. En Ariège, le Comité départemental de spéléologie (CDS09) est la structure décentralisée de la Fédération Française de Spéléologie. Le CDS09 regroupe une centaine de fédérés dans 6 clubs dont 5 dans le périmètre d'étude : le Groupe spéléologique du Couserans à Saint-Girons, le Groupe spéléologique de Foix, le Spéléo club de l'Arize à Bordes sur Arize, le Spéléo club du Haut Sabarthès à Tarascon-sur-Ariège, l'Equipe spéléologique du Plantaurel au Mas d'Azil et le Club action spéléo canyon à Auzat.

Les spéléologues fédérés d'Ariège montrent déjà un dynamisme en faveur de la protection de l'environnement et de l'éducation, en étant notamment moteur de dépollution et réhabilitation de sites, d'expositions et manifestations et ont participé à la mise à jour de l'inventaire des sources potentielles de pollution en zone karstique.

Toutes les cavités présentent un intérêt spéléologique dans le sens où toutes les cavités sont potentiellement intéressantes pour ses éléments biologiques, géologiques, minéralogiques, hydrologiques, archéologiques.

- **La fréquentation libre des cavités et usages non contrôlés**

Les grottes suscitent la curiosité des visiteurs, et font l'objet de visites libres sans équipement particulier (frontale, lampe torche...). Les cavités concernées par ce type de visite sont généralement des cavités très accessibles (en bordure de route ou de chemin), et les visiteurs s'aventurent généralement sur les premiers mètres des cavités. On mentionne aussi dans cette partie les fréquentations par des individus à la recherche de trésors archéologiques hors cadre réglementaire ou de guano.



L'exemple de la grotte de Siech, cohabitation Calotriton et pratique de la spéléologie

Extrait du dossier d'avant-projet de RNNS, 2020.

Il s'agit d'une cavité majeure en Ariège, sur la commune de Saurat. C'est la cavité d'initiation par excellence, proposée par tous les clubs ariégeois et par les clubs de la Haute-Garonne et de l'Aude, mais aussi par 16 professionnels spéléologues. En période estivale, la fréquentation de Siech est importante : aux touristes et excursionnistes s'ajoute le public des jeunes (colonies de vacances). Siech est aussi le site phare pour des stages de karstologie et de biologie, d'initiateurs et moniteurs ou pour des exercices de secours. Dans le projet de Réserve naturelle souterraine de l'Ariège, toutes les cavités étudiées qui abritent le calotriton ont été retenues dans la liste principale. La grotte de Siech en fait partie, le calotriton se trouvant dans l'ensemble du développement. Quelques individus ont été trouvés lors d'une visite de la cavité à l'été 2018 par le groupe de travail, en présence d'Olivier Guillaume (spécialiste du calotriton, CNRS de Moulis). Un individu se trouvait notamment dans le lit de la rivière en aval du passage des groupes.

Le calotriton paraît alors cohabiter avec la pratique de la spéléologie et notamment avec une très forte fréquentation de groupes, notamment en période estivale. Au sein du groupe de travail, Olivier Guillaume indiquait la non nécessité de réguler la fréquentation de la grotte : la présence de le calotriton indique qu'il se satisfait de ce milieu. En revanche, la cavité pourra faire l'objet d'une valorisation particulière, véritable vitrine du monde souterrain et de sa biodiversité particulière. Des contributions à la surveillance des sites et la formation des professionnels à la protection de ces espèces pourront être envisagées.

3.3 La valorisation touristique par la visite accompagnée des cavités

Sources : dossier d'avant-projet de RNNS, 2020, Pyrénées Ariège tourisme, 2018.

Certaines cavités en Ariège se visitent : c'est le cas par exemple de la grotte de Niaux, la grotte du Mas d'Azil, la rivière souterraine de Labouiche, la grotte de Bedeilhac ainsi que tous les sites d'initiation à la spéléologie. La rivière de Labouiche arrive en tête en termes de fréquentation touristique avec plus de 58000 touristes en 2018 (cf. tableau ci-dessous).

On distingue dans cette partie l'activité professionnelle de la spéléologie, de la pratique sportive de la spéléologie décrite au paragraphe précédent. Il s'agit d'une activité économique proposant la découverte des milieux souterrains par une initiation à la spéléologie. Il existe une vingtaine de professionnels en Ariège qui propose ce service.

Site	Lieu	Fréquentation
Rivière souterraine de Labouiche	Baulou	58 394
La grotte et musée du Mas d'Azil	Le Mas d'Azil	35 470
La grotte de Niaux	Niaux	33 123
Grotte de Lombrives	Lombrives	27 125
Grotte de Bedeilhac	Bédeilhac	6 203

Fréquentation des sites payants de plus de 3000 entrées du territoire d'étude. (Pyrénées Ariège Tourisme, 2018) :



Grotte du Mas D'Azil. © PNRPA, 2021.

3.4. L'activité artisanale

De nombreuses activités artisanales ont été maintenues dans les Pyrénées Ariégeoises. Certaines d'entre elles ont été directement initiées ou influencées par les ressources géologiques locales. Il en est ainsi pour l'activité de fabrication de **pierres à aiguiser de Saurat**, qui utilisent du grès très fin d'une proche carrière. **L'activité de souffleur de verre** et de maître verrier s'est maintenue, et utilisait autrefois le quartz (qui fournit la silice pour la fabrication du verre) présent aux alentours sous différentes formes, et notamment les **billes de quartz** de la Forêt Royale de Sainte-Croix de Volvestre.

3.5. La recherche

Extrait du dossier scientifique du projet de Réserve Naturelle Nationale Souterraine, septembre 2021.

A proximité de Toulouse, l'Ariège est un véritable terrain de chasse pour la recherche, tous domaines confondus. De nombreux laboratoires toulousains mènent notamment des études sur des milieux et leurs évolutions dans les milieux montagnards particulièrement sensibles aux changements climatiques notamment : l'Observatoire Hommes-Milieux, le CNRS de Moulis sont sur le territoire les organismes de recherches les plus dynamiques. Une grande partie du département de l'Ariège fait partie notamment de la Zone Atelier PYGAR (Pyrénées Garonne), une opportunité pour le territoire et la recherche de collaborer. L'Ariège est aussi mondialement connue pour ses nombreuses références dans le monde souterrain, notamment grâce au CNRS de Moulis et à ses nombreux travaux sur les milieux souterrains, notamment dans la vallée du Baget à Balaguer.

Les enjeux concernant les sous-sols :

- > Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des réseaux karstiques et de la biodiversité souterraine et suivi écologique.
- > Valorisation des milieux souterrains et le patrimoine géologique exceptionnel en prenant en compte les enjeux de conservation de la biodiversité et de géodiversité
- >Préservation des chiroptères
- >Mise en place d'une gouvernance sur les milieux souterrains pour mettre en dialogue les usagers, experts et gestionnaires.

4. Sol et substrat – pédologie

Des sols riches et préservés

(cf. chapitre Biodiversité)

La santé des sols dépend de l'étendue des formes de vie qu'ils abritent : des bactéries aux champignons, en passant par des insectes, des vers de terre... Cette biodiversité joue un rôle essentiel sur l'atténuation du changement climatique, le stockage et la purification de l'eau, la prévention de l'érosion. Le bien-être de toutes les plantes et animaux terrestres dépend de la complexité des processus qui se déroulent dans les sols.

Il existe actuellement peu de données sur la biodiversité des sols et sur leur qualité dans les "Pyrénées Ariégeoises.

Les sols des Pyrénées Ariégeoises **sont riches en biodiversité et préservés** notamment grâce au couvert forestier (57% du territoire), et à la faible artificialisation (1,4%). Le territoire présente une grande richesse floristique et faunistiques, avec la présence d'espèces endémiques. La diversité des roches et des substrats provoque une diversité de milieux avec des tourbières d'altitude sur sol sur sol acide et des pelouses sèches sur sols calcaires.

D'après les données du Conservatoire Botanique National des Pyrénées et du Midi-Pyrénées, le territoire présente :

- 2825 taxons de champignons dans les Pyrénées Ariégeoises ce qui en fait une zone très riche au niveau français en mycologie
- 2298 plantes vasculaires
- 3 espèces de coléoptères d'intérêt communautaire et indicateurs de la naturalité des forêts : La Rosalie des Alpes est l'espèce emblématique des hêtraies d'altitude, tandis que les chênaies de piémont abritent le Grand Capricorne et le Lucane cerf-volant, plus communs.

Une étude des coléoptères et autres invertébrés souterrains est portée par le CNRS de Moulis, le CEN Occitanie et des entomologues bénévoles.

Ces sols préservés offrent des terres arables (4%), principalement situées au nord du territoire avec une forte proportion d'agriculture bio.

Les sols forestiers

La biodiversité des sols joue un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers : absorption des nutriments, recyclage des éléments nutritifs contenus dans les matières organiques, structuration des sols, aération...

Une étude sur l'inventaire mycologique des forêts témoins¹ est en cours par le CBNPMP.

C'est essentiellement dans le sol que se trouve la biodiversité forestière, peu visible et méconnue : micro-organismes en très grand nombre, insectes, champignons... La biodiversité des sols joue un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers : absorption des nutriments, recyclage des éléments nutritifs contenus dans les matières organiques, structuration des sols, aération...

Un inventaire mycologique de 6 forêts témoins du PNRPA a été mené en 2020-2021 par le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées. Malgré la faible pression d'observation, plusieurs espèces ont été identifiées pour la première fois en Ariège, mettant en évidence les connaissances encore lacunaires sur cette biodiversité des sols pourtant essentielle à la santé de l'écosystème forestier. Quelques espèces très rares ont été également repérées, qui encouragent à poursuivre les partenariats avec les scientifiques pour continuer à améliorer les connaissances.

Bien que non statistiquement représentatif, l'échantillon de forêts a mis en évidence une richesse spécifique accrue dans les forêts les plus anciennes où l'état boisé a été continu dans le temps, et dont les essences sont autochtones et spontanées. La présence de bois mort ou mature accroît encore la diversité mycologique, d'autant plus si le volume est important. A l'inverse, les forêts plantées sur des sols précédemment agricoles sont le siège de communautés fongiques simplifiées et appauvries, où quelques espèces ubiquistes dominent. De plus, on y trouve des espèces exotiques de champignons, dont certaines sont des parasites des arbres, comme la chalarose du frêne arrivée en Ariège en 2020.

¹ Hannoire C. et Corriol G. , 2021, Etude mycologique de 6 forêts témoins du réseau du PNR Pyrénées ariégeoises (Barjac, Camarade, Montgauch, Rimont, Rivèrenert, Sainte-CroixVolvestre), étude 2020-2021, Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées. Inédit, 54 p.



Ces résultats engagent à accompagner les forêts des Pyrénées Ariégeoises vers une maturité accrue, et à rester vigilants sur la question de la plantation, surtout monospécifique, qui rend l'écosystème plus vulnérable.

A cela s'ajoute l'importance de travailler à **une gestion respectueuse de la vie des sols**, en canalisant les engins d'exploitation ou en développant l'usage de techniques alternatives de débardage. C'est l'objet du programme Life ARTISAN sur le PNRPA qui consiste à développer les méthodologies adaptées et de diffuser les caractéristiques de ces solutions d'adaptation fondées sur la nature.

5. Outils réglementaire, de gestion et de planification

(cf. chapitre Biodiversité)

L'intérêt géologique des sites du PNRPA n'a encore jamais été utilisé seul pour justifier un statut de protection, l'intérêt écologique étant le plus souvent mis en avant.

Les grottes font l'objet **d'un projet de classement en réserve naturelle nationale souterraine**, pour la préservation de leurs biotopes et formations géologiques et spéléologiques remarquables. Ce projet est porté par la sous-préfecture, la DREAL et le SMPNR. 28 sites sont à l'étude. Ce type de réserve est classé par décret ministériel, après avis du Conseil national de la protection de la nature. Les sites classés en réserve nationale sont soustraits à toute intervention artificielle susceptible de les dégrader mais peuvent faire l'objet de mesures de réhabilitation écologique ou de gestion en fonction des objectifs de conservation. Pour l'instant, les seuls sites qui bénéficient de ce statut parmi ceux de ce projet sont les grottes de la Cigalère, des Cavernes du Volp et la Rivière souterraine de Labouiche².

En terme de statut de protection, le territoire est concerné par :

² Viry E., 2015. Rapport de stage sur le projet de géopark, PNR des Pyrénées Ariégeoises. Version préliminaire.

> **16 arrêtés de protection de biotope** : ils concernent selon les cas, des rapaces (Faucon pèlerin, Percnoptère), des habitats à galliformes (Grand Tétras), des écrevisses, des poissons et des chauves-souris. Ils concernent principalement des milieux aquatiques, rupestres, souterrains ou forestiers.

> **16 sites Natura 2000** qui couvrent 49603 ha soit 17 % du territoire dont **12 Zones Spéciales de Conservation (ZSC)**, au titre de la Directive Habitat-Faune-Flore, (41 882ha). Plusieurs de ces sites Natura 2000 mettent en évidence des enjeux de préservation des milieux souterrains et de la biodiversité associées 4 grottes (la Grotte de Montseron, la Grotte d'Aliou, la Grotte du Ker de Massat, la Grotte de Tourtouse) dans le périmètre actuel du PNRPA ainsi que le site des Quiés Calcaires de Tarascon sur Ariège et de la grotte de la petite Caugnau sur le périmètre d'extension.

> **3 Réserves Biologiques Domaniale et 1 réserve de chasse.**

Le SMPNR a défini sa **Trame Verte et Bleue** (2015). Dans l'ensemble, le territoire d'étude est positionné face à des enjeux de préservation (maintien de l'existant) plus que de restauration (remise en état de continuités dégradées). La **trame brune** concerne les organismes du sol et leurs moyens de déplacement et de migrations d'un site à un autre. Il s'agit d'une notion émergente, qui est envisagée dans le troisième volet du Contrat de Restauration de la Biodiversité porté par le PNRPA.

> **3 Obligations Réelles Environnementales³** (ORE) sont en projet sur le périmètre d'étude (Sentein, Lasserre, Castelnau-Durban).

³ Ce dispositif foncier de protection de l'environnement permet à tout propriétaire d'attacher volontairement et durablement une vocation écologique à son patrimoine, avec pour finalité la préservation de l'environnement et la transmission aux générations futures.

6. Les usages du sol

6.1. L'occupation du sol et les dynamiques d'évolution dans les Pyrénées Ariégeoises

(Cf. chapitre Espace)

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol dans les Pyrénées Ariégeoises entre 2012 et 2018 met en avant les tendances suivantes (cf. graphique) :

- **Le territoire est principalement couvert par des milieux forestiers et semi-naturels avec une faible artificialisation.** Il est nécessaire de réaliser une analyse plus fine pour rendre compte des changements à une échelle plus locale. Les trois quarts de la surface du territoire sont couverts par des espaces naturels, mettant en avant **la forte naturalité des Pyrénées Ariégeoises**, avec une proportion importante de milieux boisés, plus localisés sur les versants, notamment en zone montagnarde et flancs de colline. Les milieux ouverts et semi-ouverts occupent les espaces sommitaux des montagnes (estive – pelouses) et les zones plus planes du piémont au nord et certaines vallées moins encaissées. On assiste à des dynamiques de fermeture des milieux dans les fonds de vallée, les zones intermédiaires et en zone d'estive mais aussi d'ouverture de milieux, en particulier dans la partie nord du territoire.
- **Les territoires artificialisés (>5ha), représente 1,4% du territoire en 2018.** Le développement du tissu urbain diffus contribue à un phénomène de mitage des espaces agricoles et forestiers.
- **Les territoires agricoles** occupent 21% du territoire, concentrés essentiellement au nord du territoire où le relief est plus doux. Seul 4% du territoire sont des terres labourables.
- **Les surfaces en eau** sont restées stables sur cette période.

Les évolutions qui marquent le territoire peuvent être plus ou moins rapides, et s'accompagner de transformations plus ou moins importantes, préjudiciables et/ou irréversibles, notamment pour les sols.

Les dynamiques majeures d'évolution du territoire 21epend21tio par La Charte (art. 7.1) restent effectives aujourd'hui. En 2019-2020, le Plan Paysage de la

Transition Energétique et Climatique du PNR confirme et 21epend21 spatialement ces dynamiques qui pourraient s'accroître et/ou s'accélérer avec la transition énergétique et le changement climatique.

De nouvelles dynamiques sont mises en lumière: 21epen que la production d'énergies renouvelables, la mobilité, la volonté de renforcer la sobriété et la 21epend21tio du territoire.

Les dynamiques majeures d'évolution sont :

- ***La progression du couvert forestier** qui provoquent une fermeture des 21epend avec des dynamiques **d'enrichissement** des zones intermédiaires et des estives.
- ***Des dynamiques d'expansion urbaine** marquées par une augmentation du tissu urbain diffus, notamment le long des axes routiers
- * **Un mitage des espaces agricoles** provoqué par de nouvelles constructions de bâtiments agricoles et de maisons des agriculteurs.
- ***Une déprise agricole**, une tendance à l'agrandissement et simplification du parcellaire et des motifs paysagers dans le nord du territoire avec potentielles arrachages de haie (Arize-Lèze.).
- *Des pressions foncières pour l'installation des énergies non renouvelables.

6.2. Artificialisation des sols

L'artificialisation des sols traduit la perte de fonction naturelle des sols. Elle est liée à l'urbanisation et aux usages des espaces naturels et agricoles par les activités humaines. Les Pyrénées Ariégeoises sont faiblement artificialisées (1,4% du périmètre d'étude en 2018). L'analyse du flux d'artificialisation entre 2009 et 2018 permet de dégager une faible progression des espaces artificialisés dans le territoire.



La consommation foncière représente 273 ha en 9 ans (2009-2018) pour les Pyrénées Ariégeoises. Elle est moindre et plus maîtrisée que dans le reste du département (793 ha). L'artificialisation a pour vocation principale le développement de

l'habitat (187 ha), en moindre mesure le développement des activités (52 ha) et une vocation mixte (13 ha).

En ce qui concerne l'urbanisme, il est possible de fixer un cadre pour maîtriser la consommation d'espaces grâce aux documents d'urbanisme et de planification. Le document d'orientation et d'objectifs du SCOT doit par exemple fixer obligatoirement des objectifs chiffrés de réduction de la consommation d'espace.

La protection des sols dans les documents d'urbanisme peut se matérialiser par la valorisation des espaces NAF (inscription à la trame verte et bleue par exemple) et bien penser la répartition des zonages des PLU/PLUi entre les espaces naturels, agricoles et forestiers (NAF), les zones urbaines (U) et les zones à urbaniser (AU).

Ces documents de planification peuvent permettre également de bâtir une réelle stratégie foncière afin d'utiliser en priorité le potentiel bâti déjà existant et réduire l'ouverture des nouveaux espaces à urbaniser.

A noter qu'un tiers des communes est doté d'un PLU (56 communes). Seules 5 communes sont dotées de cartes communales^[1]. L'avancement des documents d'urbanisme communaux et intercommunaux est très disparate. En 2019, **63% des communes ne disposent pas de documents d'urbanisme. Le règlement national d'urbanisme s'applique sur ces communes** (103 communes). La situation évolue avec le développement des documents d'urbanisme : **4 des 5 EPCI élaborent leur Plan Local d'Urbanisme Intercommunaux (sauf la CC Couserans Pyrénées)**. 46 communes de la Communauté d'Agglomération de Foix-Varilhes et de la Communauté de communes du Pays de Tarascon sont concernées par le **Schéma de Cohérence Territoriale de la Vallée de l'Ariège** (2015, et en cours de révision). Le développement des documents d'urbanisme est un enjeu du territoire, notamment dans le secteur du Couserans qui ne dispose pas de projet de SCOT ni de PLUI.

^[1] Il s'agit de Pailhès, Cescau, Taurignan-Castet, Taurignan-Vieux et Arrien-en-Bethmale.

6.3. Agriculture

Les territoires agricoles concernent 21% du territoire avec une grande partie dédiés à l'élevage. Les zones d'avants-monts et les Pré-Pyrénées contiennent la plupart des exploitations agricoles traditionnelles tournées vers l'élevage bovin viande et lait, et ovin viande. Les pâturages et prés fauchés situés entre 900 et 1500m d'altitude représentent des zones de transit des troupeaux utilisation des estives, et de récolte des fourrages pour l'hiver. Les zones de montagnes contiennent un espace pastoral où montent de nombreux troupeaux en été sur les estives, zones de pâturage en montagne, pendant les périodes de transhumance. Le pastoralisme permet aussi d'entretenir les pelouses et d'éviter ainsi les avalanches l'hiver, et les incendies l'été, ainsi que l'extension des friches.

Les terres agricoles cultivées sont **très peu représentées** dans les Pyrénées Ariégeoises puisqu'ils ne couvrent qu'environ 4% du territoire. Ils sont surtout concentrés sur les coteaux, dans la plaine de l'Arize, sur le Volvestre, dans la vallée du Salat, de Saint-Lizier et dans la vallée de l'Ariège. Ces habitats se retrouvent également ponctuellement sur des vallées secondaires et d'autres secteurs du Piémont et des Pré-Pyrénées, autour du Mas d'Azil et de La Bastide de Sérou par exemple. Ces habitats sont assez variés suivant leur culture (céréales, fruitiers, vignes...), le mode de gestion et la nature du sol. La qualité des terres agricoles dépend du type de pratique agricole.

Sur le plan écologique, **les cultures extensives sont les plus riches et particulièrement intéressantes pour la flore messicole** avec la Turgénie à larges feuilles, la Grande androsace ou encore la Conringie d'Orient. Les mosaïques paysagères intégrant des cultures, prairies bocagères et pelouses abritent très régulièrement plusieurs espèces patrimoniales, essentiellement chez les oiseaux, avec le Busard Saint-Martin ou encore l'Alouette lulu.

L'agriculture bio représente une part non négligeable dans les Pyrénées Ariégeoises (9207 ha dont 93% dédiés à la culture fourragère) et 8% des exploitations (215 exploitations). Le rapport de l'Institut Technique de

l'Agriculture Biologique (2016)⁴ concernant les bénéfices de l'agriculture biologique souligne que, d'après la littérature internationale, les sols conduits en agriculture biologique contiennent des teneurs en matières organique élevée et une activité biologique plus élevée avec un nombre plus important d'organismes vivant dans le sol (champignons, insectes de surface et vers de terre), notamment grâce à la non utilisation de pesticides chimiques de synthèse.

Une attention est à porter sur la dynamique d'agrandissement et de simplification des parcelles agricoles, principalement en agriculture conventionnelle. L'agriculture conventionnelle contribue à la dégradation des sols et à leur imperméabilisation au travers de la pollution des milieux et des sols (utilisation des produits phytosanitaires dont les vente sont en augmentation en Ariège), de l'homogénéisation des cultures sur des grandes surfaces et du tassement des sols par le labour.

6.4. L'exploitation forestière et les sols forestiers

(Cf. chapitre forêt et filière bois)

Le sol est support et capital productif des forêts. Avec plus de la moitié du territoire couvert par la forêt et la présence de tous les maillons de la chaîne productive, la filière bois représente une économie forestière ancrée, active et diversifiée dans les Pyrénées Ariégeoises.

Les évolutions des pratiques de la filière bois (approvisionnement des industries en flux tendu, moins de stock de bois ronds en usine) ont un impact sur le calendrier d'intervention et conduit à travailler toute l'année avec des engins. Différents impacts peuvent être causés par le passage des véhicules et engins : tassement, ornières, compactage, liquéfaction. L'orniérage et le tassement des sols peuvent entraîner sur les arbres les plus proches des pertes de productivités voire leur

dépérissement. La création d'ornière remet en cause l'accessibilité des parcelles forestières (ONF, 2017⁵).

De manière générale, la sylviculture s'est dynamisée avec un raccourcissement des passages en coupe et qui induisent des intervalles de temps trop courts pour permettre au sol de se restaurer.

⁴ Sautereau N., Benoit M., 2016. Quantification et chiffrage des externalités de l'agriculture biologique, Rapport d'étude ITAB, 136 p. <http://itab.asso.fr/downloads/amenites/amenites-ab-rapport-nov2016.pdf>

⁵ ONF, 2017. PRATICSOLS, Guide sur la praticabilité des parcelles forestières. 46 p.

6.5. Les pratiques de loisirs

Un pôle de loisirs de pleine nature s'est développé sur le territoire du Parc. Trois principales fédérations (CAF : Club Alpin Français, FFRP : Fédération Française de Randonnée Pédestre, et la FFME : Fédération Française de Montagne et d'Escalade), proposent des activités d'escalade, de randonnée (+5000 km de sentier), et de spéléologie, canyoning et parcours aventure (accrobranche, via ferrata) à Moulis et dans le Vicdessos, parapente à l'étang de Lherz, vol à voile, planeur, VTT à l'assaut des cols du Couserans, moto cross, s'appuyant ainsi directement sur la diversité des paysages et des structures géologiques nécessaires à leur pratique.

Plus de **45 sites d'escalade** sont situés sur le territoire, la plupart se trouvant sur les falaises des Quiès calcaires du Tarasconnais ou du Vicdessos.

Les enjeux concernant les usages du sol

- > Limiter l'artificialisation et promouvoir la gestion économe de l'espace
- > Développement des plans locaux d'urbanisme
- > Maintien de l'agriculture extensive, développement de l'agriculture bio et limitation de l'agrandissement / simplification des parcelles.
- > Promotion d'une sylviculture douce respectueuse des sols et amélioration de la connaissance des sols forestiers



7. Le patrimoine géologique, archéologique et bâti

Source : Extrait de Viry, 2015⁶ et du dossier scientifique du projet de Réserve Naturelle Nationale Souterraine, septembre 2021.

7.1. Patrimoine géologique

Le PNR des Pyrénées Ariégeoises et ses abords sont riches d'un patrimoine géologique majeur, diversifié, facilement accessible et pédagogique. Le territoire est d'ailleurs un lieu d'étude et de voyage privilégié pour la communauté de géologues français.

Les cavités sont le plus souvent d'origine karstique, formées par l'altération karstique. L'Ariège recèle de nombreuses cavités d'origine anthropique, là où la roche présentait un intérêt économique notamment, comme des formations gréseuses, les formations triasiques (anhydrites et gypses), les formations métamorphiques et plutoniques (schistes ardoisiers, marbre, et minerais...). (Bouroullec, et al., 2006)

Les systèmes karstiques ont notamment été étudiés par le laboratoire du CNRS de Moulis. Le système karstique du Baget est par exemple un site karstique expérimental où de très nombreux concepts sur la structure et le fonctionnement des karsts ont été établis. Il a été étudié pendant plusieurs dizaines d'années avec une approche pluridisciplinaire du karst.

Enfin, le patrimoine géologique est indissociable du patrimoine biologique : les habitats dépendent de la formation géologique dans laquelle ils se trouvent, la présence de la faune et son évolution dépendant de l'histoire géologique.

En 2016, le SMPNR a accueilli une stagiaire pour réaliser une étude sur l'inventaire du patrimoine géologique du Parc, dans le but d'engager un travail de valorisation du patrimoine géologique et de se pencher sur un projet de labellisation Géopark.

⁶ Viry, E., 2015. Rapport de stage sur le projet de géopark, PNR des Pyrénées Ariégeoises. Version préliminaire.

7.2. Patrimoine archéologique

En Ariège, la recherche archéologique a donné lieu à de nombreuses découvertes sur les fortifications et troglodytisme médiévaux, la datation des orris et d'ouvrages en pierre sèche, notamment depuis l'abbé Pouech, et des grottes sont à présent exploitées par le tourisme pour ces richesses archéologiques et paléontologiques. C'est le cas de la grotte de Niaux, ou de Lombrives. La vallée du Vicdessos est une vallée bien étudiée (OHM, laboratoire TRACES) et présente de nombreux vestiges archéologiques, dont en particuliers des grottes fortifiées médiévales. Tous les porches et entrées de cavités sont susceptibles de faire l'objet de fouilles, compte tenu de la forte probabilité d'y trouver des traces et des objets paléontologiques ou archéologiques.

Le patrimoine archéologique des Pyrénées Ariégeoises, recouvre toutes les époques depuis la Préhistoire (il y a 35 000 ans), jusqu'aux industries extractives de la fin du XX^{ème} siècle. Les grottes préhistoriquement habitées sont au nombre de dix : les grottes de **Niaux**, de **Bédeilhac**, du **Mas d'Azil**, et de **la Vache** qui sont ouvertes pour partie, au public, et **les Cavernes du Volp**, **la grotte du Portel**, du **Tuc d'Audoubert**, **la grotte de la Vache** qui elles sont fermées au public. Elles contiennent des traces de civilisation magdalénienne (qui aurait vécu il y a environ 15 000 ans, correspondant à la dernière période du Paléolithique Supérieur), des objets d'art ainsi que des fresques d'importance et de renommée mondiale.

De nombreuses carrières et mines furent exploitées durant l'Antiquité, telles que **la mine de cuivre argentifère du Goutil**, située au hameau des Atiels, à la Bastide-de-Sérou, **les bas-fourneaux et charbonnières de Lercoul**, les exploitations de **marbre d'Aubert-Moulis** et d'**Estours**.

Les vestiges du Moyen-Age consistent en la mise en place des villages montagnards du Castillonais et de la vallée du Vicdessos, ainsi que des villages d'Avant-Monts et des Pré-Pyrénées qui ont été bâtis plus tard. Les **châteaux de Montségur** et de **Montréal-de-Sos** situés sur d'impressionnants promontoires calcaires, ont été de hauts lieux cathares au Moyen-Age, et plus précisément au XII et XIII^{ème} siècles. Le dolmen de Sem semble lui avoir été un objet de fortification datant de l'époque gallo-romaine, au I^{er} siècle après Jésus-Christ. Par ailleurs, aux alentours de l'an Mil, des cavités ont été utilisées fortifications

troglydiques, dénommées **spoulgas**, du latin spelunga, qui signifie caverne, les plus connues étant celles de **Miglos, Ornolac, Bouan et Alliat**.

Au XIX^{ème} et XX^{ème} siècles s'est développée l'activité thermique en Ariège, et plus particulièrement dans les Pyrénées ariégeoises avec plusieurs stations thermales. Aujourd'hui, deux d'entre elles seulement sont encore exploitées pour leurs eaux sulfatées calciques magnésiennes, de température comprise entre 35 et 40°C. Ce sont les stations d'**Aulus-les-Bains** et d'**Ornolac-Ussat-les-Bains**. Anciennement existaient aussi les stations thermales d'**Audinac-les-Bains**, au nord-est de Saint-Girons, ainsi que celles de **Seix** et de **Sentein**.

Enfin, depuis le XIX^{ème} siècle, ont été exploitées plus intensément les mines et carrières de la région. Certaines d'entre elles ont donné plusieurs originalités comme **la mine du Rancié**, qui permettait aux mineurs de se voir attribuer une partie de la mine, et qui permettait aux bénéficiaires d'être redistribués aux habitants de la vallée uniquement, interdisant l'accès au travail à la mine pour les étrangers. Ces mineurs étaient cependant parmi les personnes les plus pauvres du Vicdessos.

7.3. Patrimoine bâti

Le patrimoine bâti, comme dans la plupart des milieux ruraux a été fortement influencé par la géologie locale, les matériaux de construction étant prélevés à proximité. Il a permis d'exploiter les schistes des ardoisières, offrant un aspect visuel remarquable, ainsi que des calcaires, et plus rarement le granit.

L'opération « Ardoises » du Couserans est un appui aux artisans, et aux propriétaires pour la construction ou restauration de toitures en ardoises à pureau dégressif. Les **ardoisières** les plus connues se trouvaient anciennement à **Saint-Lary** et à **Arrouit**, dans le Castillonnais, ainsi qu'à Siguer dans le Vicdessos. Les **orris**, cabanes en pierres servant aux bergers lors des **activités pastorales** sont de forts objets identitaires du patrimoine encore visibles. Elles se retrouvent là où sont situées les estives, mais ont fait l'objet de mise en valeur et restauration dans le Vicdessos et le Massatois. Les matériaux de construction peuvent être très diversifiés. Il existe ainsi des mélanges de calcaires et schistes pour la construction des maisons. La marque du patrimoine géologique est aussi

remarquée dans certains villages, en particulier à Rimont, où **le marbre griotte de la carrière de l'Espiougue à Castelnau-Durban** a été utilisé lors de sa reconstruction au XX^{ème} siècle, après son anéantissement suite à la seconde guerre mondiale. Le patrimoine bâti est aussi composé de nombreux vestiges antiques et médiévaux, notamment à Saint-Lizier et à La Bastide-de-Sérou et dans le Castillonnais.

8. Les risques naturels

(cf. chapitre espace)

Les Pyrénées Ariégeoises sont fortement contraintes par les risques. Elles sont marquées par un cumul d'exposition aux risques avec **l'ensemble des communes exposées à au moins 3 risques**. Le territoire est exposé à plusieurs risques naturels, qui peuvent être aggravés par les effets du changement climatique (sécheresse, inondation..).

Risque inondation

Le risque d'inondation est présent sur **94 communes**.

Risque Mouvement de terrain et chute de bloc

Sur le Plantaurel et la région de Foix, on peut rencontrer localement des **glissements de versants** dans les séries marneuses, **des risques de chutes de blocs sur les escarpements calcaires et des problèmes d'affaissement ou d'effondrement liés à la karstification**. Sur le Massif de l'Arize et la haute chaîne jusqu'aux frontières, les risques sont ceux liés à la haute montagne : coulées de boue, de pierres et avalanches (BRGM, 1983).

D'après le rapport du BRGM sur l'établissement des PPRN retrait/gonflement des sols argileux (2009)⁷, les Pyrénées Ariégeoises sont concernées partiellement par l' aléa de retrait/ gonflements des sols argileux avec un aléa moyen concentré principalement dans le Volvestre, dans Arize-Lèze et en dehors du territoire (Nord)

⁷ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57917-FR.pdf>

et un aléa faible réparti dans la vallées de l'Ariège, en zone de montagne et dans le Saint-Gironais et le Volvestre (cf carte ci-après).

Risques séisme

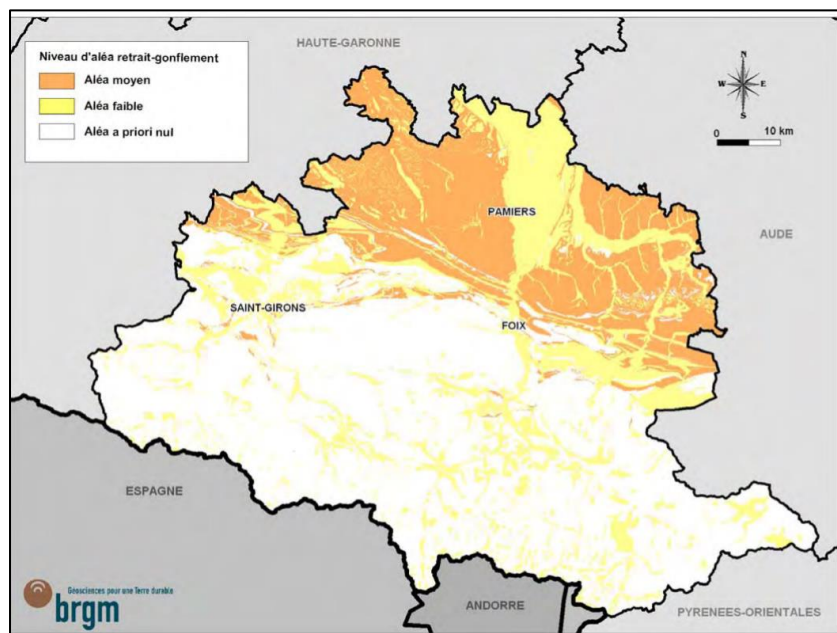
Par ailleurs, tout le territoire d'étude est classé en zone à risques sismiques.

Risque incendie

L'ensemble des communes du département est concernée par le risque incendie

Risque technologique.

33 communes sont concernées par le risque minier.



Carte de l'aléa retrait et gonflement des sols argileux du département de l'Ariège. Carte extraite du rapport BRGM RP 57408 FR, 2009.

9. Les sols et la santé environnementale

Les préoccupations liées à l'état des sols et à leurs impacts potentiels sur la santé se sont renforcées avec la découverte de pollutions oubliées. Les principales pollutions identifiées sont les conséquences de l'activité minière, de l'activité industrielle et du manque de contrôle environnemental par le passé. Dans les Pyrénées Ariégeoises, **11 sites et sols pollués ou potentiellement pollués** sont listés dans la base de données nationale BASOL.

Des éléments métalliques dans les sols sont fréquemment mis en évidence comme le plomb, le zinc, l'arsenic ou le chrome. La présence de ces sites met en évidence l'existence d'un environnement naturellement riche en métaux mais témoigne de possibles impacts sur l'environnement et sur la santé, notamment via les ressources en eau et la chaîne alimentaire. Une étude⁸ réalisée dans les secteurs miniers de Sentein a confirmé la présence de métaux, notamment de plomb et d'arsenic, à des concentrations variables dans les sols et les végétaux, pouvant être localement très élevées dans le secteur minier de Sentein et de la haute vallée du Lez.

Certains composés, principalement apportés par l'homme sont également retrouvés dans les sols, notamment les hydrocarbures détectés dans 40% des sites diagnostiqués dans la base de données BASOL (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), solvants halogénés comme le trichloréthylène par exemple, composés organiques volatiles (COV), etc.). **L'impact des pollutions des sols est difficile à appréhender, dépendant de nombreux paramètres** (nature des polluants, caractéristiques des sites...). Des effets cancérigènes sont reconnus en lien avec des contaminations au benzène, à l'arsenic, au chrome, aux solvants chlorés ou aux hydrocarbures polycycliques. D'autres effets sont suspectés, notamment des impacts sur le système immunitaire et la fonction rénale.

⁸ <https://www.ariège.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-biodiversite/Installations-classees-Mines-Carrieres/Mines/Etudes-environnementales-et-sanitaires-du-secteur-minier-de-Sentein-et-de-Salau2>

10. Pressions potentielles ou futures

(Source : Viry E. ,2015)

Pressions naturelles

Les pressions naturelles auxquelles sont soumis les milieux naturels sont majoritairement liées au changement climatique. Les climats globaux et locaux pourraient avoir un impact sur les répartitions des espèces, les niveaux de neige et le glacier d'Arcouzan, générant ainsi des modifications du paysage, mais surtout du régime hydrologique. Parmi les pressions secondaires qui en découlent, on compte l'érosion due majoritairement aux cycles de gel et de dégel, la dynamique végétale, les risques de glissement de terrain accentués par la forte pluviosité et l'important développement des sols.

Pressions anthropiques

Les pressions anthropiques ressenties et pouvant endommager les sols et sous-sols sont les constructions de nouvelles infrastructures, bâtiments, mais aussi routes et barrages, le changement d'usage des terres et plus globalement l'artificialisation des sols, ou encore le tassement des sols forestiers provoqués par la circulation des engins forestiers.

La présence de grandes cultures au nord du territoire participe à la déstructuration des sols, avec une tendance à l'agrandissement et à la simplification des parcelles. La contamination diffuse et ponctuelle (sols pollués, utilisation des produits phytosanitaires...) contribue également à la dégradation des sols.

Les affleurements du territoire du PNR ont pour certains d'entre eux fait l'objet de pillage, comme les sites minéralogiques particuliers d'Irazein, ou des filons de pyroxénite à grenats de l'étang de Lherz, dite aussi ariégite.

Les grottes sont notamment très sensibles aux pressions de fréquentation clandestine, pillage et d'artificialisation, car toute modification de leur atmosphère peut entraîner des changements irréversibles sur les espèces qui en ont fait leur milieu de vie, sur les structures et concrétions naturelles, ou sur les traces des civilisations magdaléniennes qui y ont vécu. Cette modification peut être due à un

changement des écoulements d'air, d'eau, et aussi de la surface surplombant la grotte.

11. Sols, sous-sols et changement climatique

(Source : ADEME, I-CARE & Consult, 2016⁹.)

Le changement climatique affecte le sol et le sous-sol. L'érosion, constante sur les terrains d'altitude du fait de l'alternance gel-dégel sur les sols peu épais et pentus, les précipitations (ayant un fort impact sur les roches calcaires), les crues, ainsi que les vents, influent sur les habitats. Certaines pelouses à gradins d'intérêt communautaire résultent de cette dynamique.

Le sol constitue une formation superficielle issue de l'altération de la roche sous-jacente, par l'action du climat et des organismes vivants. Il se situe à l'interface des compartiments environnementaux que sont l'atmosphère, la biosphère et les eaux et représente donc un milieu d'échanges indispensable à la régulation des cycles planétaires (eau, carbone, azote). Le changement climatique a un impact très important sur les sols, notamment sur **les flux de matière organique et les différents processus à l'œuvre dans ce milieu**. Au cœur de la dynamique du carbone, il a un rôle à la fois de **puits et de source**. Mais le sol exerce d'autres fonctions comme le stockage et le transit de l'eau (aquifères), l'alimentation des hydro-systèmes de surface ou l'alimentation des cultures et des êtres vivants.

Les sols ont par ailleurs un rôle majeur à jouer dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, par exemple en tant que réservoirs d'eau ou en tant que support pour la végétation des espaces verts avec lesquels ils participent à lutter contre les îlots de chaleur urbains. Enfin, le sol est de manière générale un milieu peu étudié en tant qu'élément du système climatique bien que son rôle soit crucial en tant que support de tous les écosystèmes anthropisés et naturels terrestres.

⁹ ADEME, I-CARE & Consult, 2016. Sols et Changement climatique : Impacts et Adaptation. Etat des lieux de la recherche et identification de pistes de recherche. 2016. 93 pages. www.ademe.fr/mediatheque

Parmi les changements climatiques en cours, **l'augmentation de la concentration de CO₂ de l'air, l'augmentation de la fréquence et de la gravité des risques naturels (inondations, incendies, mouvements de terrain, retrait-gonflement d'argile), l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses** impacteront fortement la structure (érosion, déstructuration, teneur en eau, etc.) et la composition des sols (teneur en matière organique, perte d'éléments nutritifs,) et nécessairement leur fonctionnement, notamment via la modification de la biodiversité qui les compose et les fait vivre (monde vivant actif dont le fonctionnement biologique est étroitement dépendant de paramètres climatiques comme la température ou la pluviométrie). **L'impact du changement climatique sur le sol reste cependant mal connu et peu étudié. Il faut tout de même souligner qu'il abrite ¼ de la biodiversité de la planète et est absolument essentiel à toutes vies humaines sur Terre.**

Les fonctions écologiques et services écosystémiques fournis par le sol les plus impactés seront ceux de support de végétation (donc agriculture et forêt), de biodiversité, ainsi que celles liées au cycle de l'eau et au cycle du carbone : cruciaux à tous les écosystèmes.

Sur le sous-sol, des études récentes menées en Ariège (F. Bourges, Géoconseil), ont permis de mesurer que les températures des cavités karstiques varient et que la tendance nette est à la hausse des températures, parfois plus vite que l'augmentation des températures en surface. Localement, des phénomènes amplificateurs peuvent jouer.

Cette augmentation des températures impacte la biodiversité des cavités : par ex. certaines chauve-souris y sont très sensibles (dérèglement des période d'hibernation, etc.). A long terme, cela pourrait aussi impacter la conservation du patrimoine culturel/historique (ornements, peintures rupestres, etc.) présent dans ces cavités.

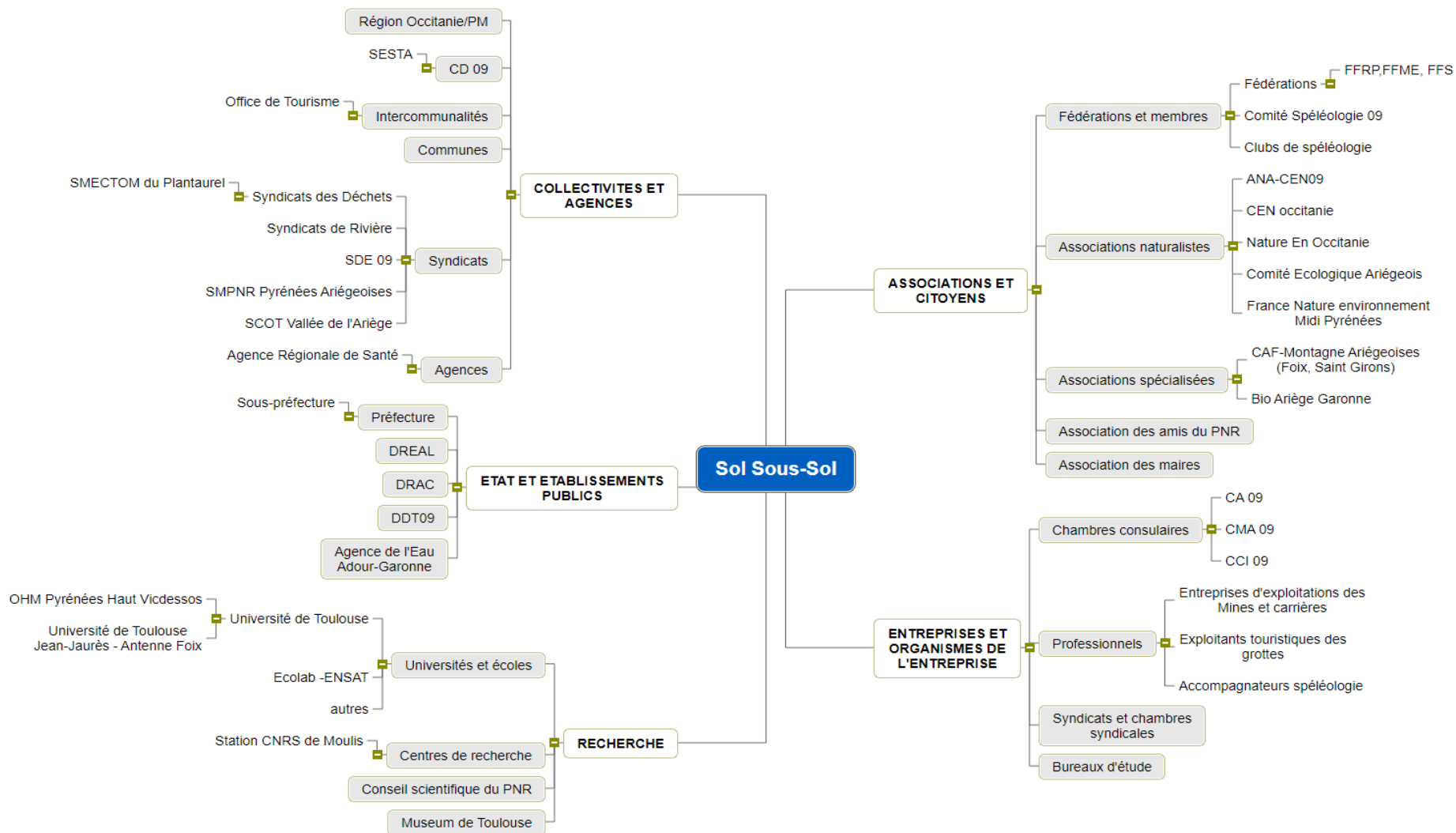
Le SMPNR des Pyrénées Ariégeoises et l'ANA – CEN09 se sont associés pour réfléchir à l'impact du changement climatique sur les milieux souterrains et

l'adaptation des modes de gestion de ces milieux, dans le cadre du LIFE-Natur'adapt¹⁰.

¹⁰ Actualité sur le site du LIFE-Natur'adapt, sur le choix des sites test dont 4 grottes ariégeoises font partie : <https://naturadapt.com/groups/communaute/articles/les-nouveaux-sites-test-natur---adapt-sont-choisis>

12. Les forces vives du territoire et les documents-cadre

Les acteurs du territoire impliqués dans les questions relatives au sol et sous-sol sont représentés dans le schéma ci-dessous (liste non exhaustive).



Documents-cadre (liste non exhaustive)

Au niveau national

*Objectif Zéro Artificialisation Nette

Au niveau régional

- Projet de SRADDET Occitanie 2040
- *Schéma Régional des Carrières

Au niveau départemental

*Schéma Départemental des carrières (2013)

Au niveau territorial

*Charte PNRPA

*DOCOB Natura 2000

*Document d'urbanisme et planification

*Charte du spéléologue

13. Eléments prospectifs 2040

Le Conseil Scientifique du PNR des Pyrénées Ariégeoises a réalisé en 2020-2021 une note méthodologique et prospective en lien avec les enjeux des différentes ressources du territoire à horizon 2040. Au total, 27 chercheurs ont contribué à cette note en réalisant des fiches synthétiques sur leur recherche.

Concernant la ressource sol-sous-sol, 4 chercheurs présentent des recherches en lien avec cette ressource.

La note du Conseil scientifique et les fiches des chercheurs (Annexe) sont disponibles sur le site internet du PNR des Pyrénées Ariégeoises www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/le-parc-quest-ce-que-cest/nos-partenaires/le-conseil-scientifique/actions-menees/

Nom du chercheur	Domaine de recherche et équipes	Travaux de recherche évoqués
François Bourges	Hydrogéologie. Bureau d'études GEConseil	Connaissance de l'environnement souterrain et élaboration d'outils de surveillance et de gestion conservatoire.
Claude Dubois	Histoire et Archéologie	Patrimoine archéologique minier et métallurgique.
Florence Guillot	Archéologie	Archéologie et histoire des fortifications médiévales, et description des cavités souterraines.
David Labat	Hydrogéologie. GET UT3 Toulouse	Les transferts au sein des systèmes karstiques carbonatés, y compris de contaminants mais interprétation des signatures hydrogéochimiques des eaux. Analyse de l'impact des changements climatiques et des pressions anthropiques sur ces systèmes.

Synthèse Sol et sous-sol

Les sols des Pyrénées Ariégeoises **sont riches en biodiversité et préservés** notamment grâce au couvert forestier et à la faible artificialisation. Le territoire présente une grande richesse floristique et faunistiques, avec la présence d'espèces endémiques. Le PNR des Pyrénées Ariégeoises et ses abords sont riches d'un patrimoine géologique majeur, diversifié, facilement accessible et pédagogique. Cette diversité géologique qui a eu plusieurs conséquences sur l'économie et l'architecture du territoire (extraction de minerais et de matériaux de construction, économie touristique...).

Les milieux souterrains sont très nombreux dans le territoire du fait de l'abondance de karsts. Les contextes géologique et climatique des Pyrénées ont conduit à une abondance de massifs karstifiés et un compartimentage qui a favorisé le développement de populations endémiques, et en a fait un domaine vital souterrain particulièrement riche et bien étudié. Globalement la biodiversité des milieux souterrains des Pyrénées Ariégeoises est préservée compte tenu des faibles perturbations. Les cavités ariégeoises présentent aussi une richesse archéologique. Le sous-sol est de plus en plus sollicité en tant qu'espace en raison des besoins croissants d'aménagement (infrastructures, carrière et mines...) dans un espace contraint par le relief. Le sous-sol recèle aussi des ressources en eau. Il est enfin le lieu de pratiques de loisirs (spéléologie, ...) ou de manifestations culturelles localisées (grottes, sites de spéléo).

Au regard des éléments du diagnostic, les principaux enjeux concernant les sols et les sous-sols des Pyrénées Ariégeoises sont :

- > L'amélioration des connaissances sur le fonctionnement des réseaux karstiques et de la biodiversité souterraine et suivi écologique.
- > La valorisation des milieux souterrains et le patrimoine géologique exceptionnel en prenant en compte les enjeux de conservation de la biodiversité et de géodiversité.
- > La préservation de la biodiversité du sol et des milieux souterrains.
- > La mise en place d'une gouvernance sur les milieux souterrains pour mettre en dialogue les usagers, experts et gestionnaires.
- > La gestion économe de l'espace.
- > La limitation de l'artificialisation des sols.
- > Le développement des plans locaux d'urbanisme.
- > Le maintien de l'agriculture extensive, développement de l'agriculture bio et limitation de l'agrandissement / simplification des parcelles.
- > La promotion d'une sylviculture douce respectueuse des sols et amélioration de la connaissance des sols forestiers.
- > L'adaptation au changement climatique (enjeu transversal).

Bilan synthétique Sol et Sous-sol

ATOUTS	FAIBLESSES
<p>Des sols préservés Richesses minérales importantes Patrimoine géologique exceptionnel Réseaux karstiques importants (plus de 2000 cavités en Ariège) Richesse archéologiques et paléontologique Faune strictement souterraine d'une grande richesse De nombreux gites à chauve-souris Des activités de loisirs et touristiques Recherche scientifique sur le territoire (CNRS de Moulis, etc.) Présence du CNRS de Moulis Club fédérés Richesse archéologique Réserves en eau importantes</p>	<p>Faible considération du patrimoine géologique par les habitants Sols calcaires agronomiquement pauvre Manque de gouvernance du monde souterrain</p>
OPPORTUNITES	MENACES
<p>Projet de RNN de valorisation des richesses souterraines de l'Ariège, Valeur pédagogique Trame brune</p>	<p>Projet réouverture de mines Exploitation de carrière Imperméabilisation des sols / artificialisation des sols Tassement des sols forestiers Pillage des grottes (archéologique, paléontologique, géologique) Fréquentation de grotte pouvant mener à un dérangement des chauves-souris Réchauffement climatique qui implique l'assèchement des sols et des variations de température.</p>

Bibliographie indicative

Inventaire du patrimoine géologique de l'Ariège, 2016 :

<http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/inventaire-du-patrimoine-geologique-midi-pyrenees-r8974.html>

Carte des sols de l'Ariège : [https://occitanie.chambre-](https://occitanie.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/guide-des-sols-midi-pyrenees/sols-de-lariege/)

[agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/guide-des-sols-midi-pyrenees/sols-de-lariege/](https://occitanie.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/guide-des-sols-midi-pyrenees/sols-de-lariege/)

Schéma départemental des Carrières de l'Ariège:

<http://www.ariège.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-biodiversite/Installations-classees-Mines-Carrieres/Schema-departemental-des-carrieres/SDC09>

Carte du zonage environnemental, schéma départemental des Carrières de

l'Ariège: <http://www.ariège.gouv.fr/content/download/6100/36500/file/zonage-SDC%2009-V4-5.pdf>