



© Jean-Yves BICOT

Plan d'adaptation

Démarche d'adaptation au changement climatique des habitats souterrains des **Cavités du Mas d'Azil, de Mérignon, de Tourtouse et d'Unjat**



Auteurs

Thomas CUYPERS – ANA-CEN Ariège

Relecture et mise en page

Christine COUDURIER – Réserves Naturelles de France

Remerciements

Les premiers remerciements vont à l'équipe de Réserves Naturelles de France et du LIFE Natur'Adapt pour nous avoir confié la réalisation de ce travail et nous avoir intégré à ce projet aussi enrichissant qu'urgent. J'y associe l'ensemble de la communauté Natur'Adapt qui fut d'une grande aide et qui a participé à la motivation qu'a suscité ce projet.

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes sollicitées pour mes nombreux questionnements concernant les karsts, ses habitants et l'archéologie souterraine : Laurent Bruxelles, Didier Caihol, Marc Jarry, Frédéric Maksud, Nicole Ravaiau, Bruno Lartiges, François Bourges, Javier Fresneda, Adrià López-Baucells, Dragoş Ştefan Măntoiu. L'équipe du Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises et en particulier Gaëlle Fedrigo, Léo Poudré et Elodie Roulier ont aussi tous mes remerciements pour leur investissement et leur aide pour la réalisation de ce travail. Je tiens également à remercier Pierre-Damien Bascou, Nolwenn Pons et Clémence Poupin de la Chambre d'Agriculture de l'Ariège pour les apports quant à l'élevage et le projet Clim'Agil.

Enfin, je tiens à remercier toute l'équipe de l'ANA-CEN Ariège pour l'intérêt porté à la démarche et pour leurs avis, relectures apportées tout au long du projet. Nous sommes maintenant une petite équipe à travailler sur le sujet !

Citation de l'ouvrage

Cuypers T., Année. Diagnostic de vulnérabilité au changement climatique des grottes du Mas d'Azil, de Mérigon, de Tourtouse et d'Unjat. LIFE Natur'Adapt – Rapport ANA-CEN Ariège. 38p.

Table des matières

RÉSUMÉ.....	4
INTRODUCTION	5
Contexte.....	5
Conditions climatiques futures	7
La température atmosphérique.....	7
La pluviométrie	8
Les événements climatiques extrêmes	8
Méthode d'élaboration du plan d'adaptation	9
LA STRATÉGIE D'ADAPTATION	10
Mieux comprendre les processus naturels	10
Re-prioriser les actions déjà engagées sous l'angle du changement climatique.....	11
Les suivis à long terme	11
Le suivi et la gestion des pressions anthropiques.....	11
Les actions de sensibilisations.....	12
La vision prospective des aires protégées.....	13
Les outils nécessaires à l'adaptation.....	14
LES ACTIONS D'ADAPTATION	17
OLT 1 : Maintenir ou améliorer l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale	17
OLT2 : Maintenir ou améliorer l'état de conservation du karst et des enjeux associés : invertébrés, géologie, archéologie	23
MISE EN ŒUVRE ET SUIVI-ÉVALUATION DU PLAN D'ADAPTATION	29
Intégration du plan d'adaptation au sein des documents de gestion	29
Sites de l'ANA-CEN Ariège.....	29
Sites Natura 2000.....	29
Apports au projet de Réserve Naturelle Nationale Souterraine de l'Ariège.....	30
CONCLUSION : BILAN DE LA DÉMARCHE ET PERSPECTIVES.....	31
Synthèses des actions d'adaptation.....	31
Comprendre le fonctionnement des habitats karstiques	31
Connaitre les niches écologiques et les limites climatiques des enjeux patrimoniaux	31
Adapter la gestion aux exigences des enjeux et des habitats.....	32
LISTE DES ACRONYMES	35
BIBLIOGRAPHIE.....	36

RÉSUMÉ

Les grottes et les milieux karstiques en général, subissent aussi les effets du changement climatique. En Ariège, la température moyenne annuelle augmente plus vite que sur le reste du globe : la station du Mas d'Azil enregistre une hausse de 1,4 à 1,7°C depuis 1952. Même si les précipitations sont stables, les épisodes de sécheresses prolongées et les canicules devraient être plus récurrents. Cela peut avoir des effets sur les milieux en modifiant les processus de karstification, mais aussi sur les espèces (choix d'habitat, traits d'histoire de vie) ou sur la conservation des vestiges archéologiques par exemple.

La complexité des milieux souterrains, du fait de leur structure en trois dimensions, des effets liés aux infiltrations de l'eau et de la faible variation des paramètres climatiques importants rend leur étude difficile. Peu d'études et encore moins de suivis à long terme sont réalisés ce qui ne permet pas d'identifier aisément le rôle des pressions anthropiques sur ces milieux. Agriculture, gestion forestière, fréquentation des milieux souterrains sont autant de facteurs d'influence qui, eux aussi, risquent d'évoluer en réponse aux changements climatiques et doivent être anticipés pour qu'ils intègrent la gestion de sites protégés pour les enjeux souterrains.

C'est en raison de cette complexité que l'adaptation par une gestion active des facteurs d'influence identifiés semble trop précoce par rapport aux manques identifiés, à savoir la compréhension des processus naturels et la fonctionnalité des milieux souterrains. Ce préalable s'avère aujourd'hui indispensable pour opérer une gestion raisonnée dans le futur.

Certaines actions déjà initiées se révèlent essentielles pour l'adaptation au changement climatique et sont à poursuivre et à re-prioriser. Les suivis à long terme, les actions de sensibilisation ou encore la réduction des pressions anthropiques sur les objets patrimoniaux sont des points essentiels pour favoriser l'adaptation. Mais de nouvelles actions sont à initier comme la modélisation des niches écologiques des espèces patrimoniales ou encore un travail prospectif pour la création d'aires protégées afin qu'elles incluent d'ores et déjà l'évolution du climat et des aires de répartition des espèces.

De tels enjeux de gestion et de recherche s'ajoutent à un besoin d'amélioration de la gouvernance et de l'accès aux financements. Cela vient encourager la création de la Réserve Naturelle Nationale Souterraine de l'Ariège (RNNSA) qui pourrait devenir une véritable plateforme de recherche sur les milieux souterrains et le changement climatique. Etant donné les défis qui s'offrent à nous en termes d'acquisition de connaissance, la RNNSA permettrait de réunir les acteurs gestionnaires, les élus des territoires, les chercheurs universitaires ainsi que les acteurs socio-professionnels usagers de ces sites qui pourraient être concernés.

Le changement climatique n'est donc pas une fatalité puisqu'il offre aussi des opportunités pour mettre en lumière les milieux souterrains et révéler leur singularité, leur fragilité et leur importance dans la culture et l'histoire humaine. De nombreux manques de connaissances restent à combler pour comprendre et gérer les milieux karstiques en lien avec l'évolution du climat mais ils sont maintenant, en partie, connus et de nombreux partenaires se sont déjà investis ou montrés leur intérêt pour intervenir sur ces sites.

INTRODUCTION

Contexte

Le massif des Pyrénées est un massif montagneux récent ayant débuté sa formation au Cénozoïque et abritant une biodiversité exceptionnelle. Cela s'explique par la confrontation de nombreux climats différents induisant une grande variété d'habitats dans un contexte agricole et sylvicole plutôt extensif et où les pressions humaines semblent relativement faibles. Et cette biodiversité exceptionnelle se retrouve aussi bien en surface que dans les milieux souterrains.

La variété des environnements karstiques qu'abrite le département de l'Ariège illustre la grande diversité des géotopes en présence. Ils offrent une vaste quantité de contextes cavernicoles différents dont d'importants volumes permettant à de nombreuses colonies de chauves-souris d'y trouver leur gîte et un contexte épiques favorable à leurs proies, les invertébrés (Figure 1). Les chauves-souris apportent une quantité non négligeable de matière organique sous terre via le guano. Elles favorisent ainsi une faune invertébrée riche et au taux d'endémisme important du fait de l'histoire des Pyrénées. Ces invertébrés, souvent présents dans le sol, sont ainsi maintenus par une abondance de nourriture fournie, entre autres, par ces mammifères.

Les êtres humains fréquentent aussi les cavités à des fins culturelles liées à l'histoire par les vestiges archéologiques mais aussi pour la pratique sportive et l'étude des milieux souterrains dans son ensemble via la spéléologie. La conservation des vestiges peut, dans certains cas, être diminuée par une corrosion induite par la respiration et les déjections des chauves-souris. A l'inverse, la fréquentation des cavités souterraines, qu'elle soit à des fins scientifiques, sportives ou touristiques peut être négative pour la quiétude, la reproduction ou l'hibernation des chauves-souris. Le travail des gestionnaires est alors d'adapter ces pratiques afin qu'elles restent compatibles avec l'ensemble des patrimoines des cavités.

Simultanément, le milieu karstique et tout ce qu'il abrite, à savoir le patrimoine et les activités humaines, sont exposés au changement climatique. Les grottes, aussi peu étudiées soient elles, révèlent, elles aussi, l'avancée galopante du changement climatique. On y observe, du fait des faibles variations des conditions climatiques au sein de la grotte, la dérive climatique de façon plus nette qu'en extérieur ainsi que l'influence du changement climatique d'autres facteurs conjecturels tels que l'humidité ou les concentrations en CO₂.

L'évolution de ces paramètres climatiques ne sera pas sans incidence sur le patrimoine que renferment les cavernes. Sans pour autant connaître avec précision la trajectoire de ces paramètres sur les sites étudiés, nous pouvons poser quelques hypothèses sur la base de travaux effectués sur ces sites ou ailleurs. Les espèces troglodytes/troglobies occupent les grottes pour les conditions qu'elles offrent en termes de tranquillité ou de microclimat, ce qui évolue déjà rapidement. On peut donc s'attendre à une évolution de l'occupation des grottes, positive ou négative, par ces espèces. Ces conditions microclimatiques sont aussi capitales pour la conservation du patrimoine archéologique et pariétal en particulier. L'assèchement ou une hausse des températures peut modifier les processus en place qui ont protégé ces vestiges depuis des millénaires.

L'étude et la conservation du karst est aussi fortement liée à la capacité que nous avons, humains, à y progresser. Il est possible que les conditions d'accès évoluent pour les besoins de la conservation dans les sites touristiques si les taux de CO₂ viennent à dépasser des concentrations incompatibles avec leurs objectifs de conservation, par exemple.

La principale conclusion du diagnostic de vulnérabilité sur lequel s'appuie ce plan d'adaptation est la mise en lumière la vulnérabilité des milieux souterrains d'Ariège mais aussi l'opportunité qui s'offre à nous de mieux les connaître dans un contexte de changement climatique. Le niveau de méconnaissance face aux enjeux de conservation est tel que les milieux souterrains méritent désormais une part d'attention et des études à la hauteur des bouleversement actuels et futurs.



Figure 1 : Photographie d'un essaim de *Rhinolophe euryale* ($n=3400$) dans la Grotte de la Mine d'Unjat. Il s'agit du second regroupement le plus important connus pour l'espèce en France.

Conditions climatiques futures et vulnérabilités des cavités du Mas d'Azil, de Mérigon, de Tourtouse et d'Unjat

La température atmosphérique

Le climat change sur le Plantaurel et les massifs attenants depuis plus d'un demi-siècle. Bien qu'aucune tendance nette ne se dégage pour les précipitations, la température augmente. Les données historiques montrent une augmentation linéaire mais il n'est pas possible de savoir comment évoluera la température dans le futur, dépendant largement des activités anthropiques mais aussi des nombreuses interactions biotiques et abiotiques. Nous savons cependant que la température va augmenter jusqu'en 2050 (du fait de l'inertie induite par le système climatique) et que la suite dépendra entièrement des choix politiques et de gestion. L'analyse des scénarios RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 sur la zone d'étude permet de se positionner au sein d'une fourchette, large, mais qui illustre concrètement les trajectoires possibles en fonction des choix politiques (Figure 2).

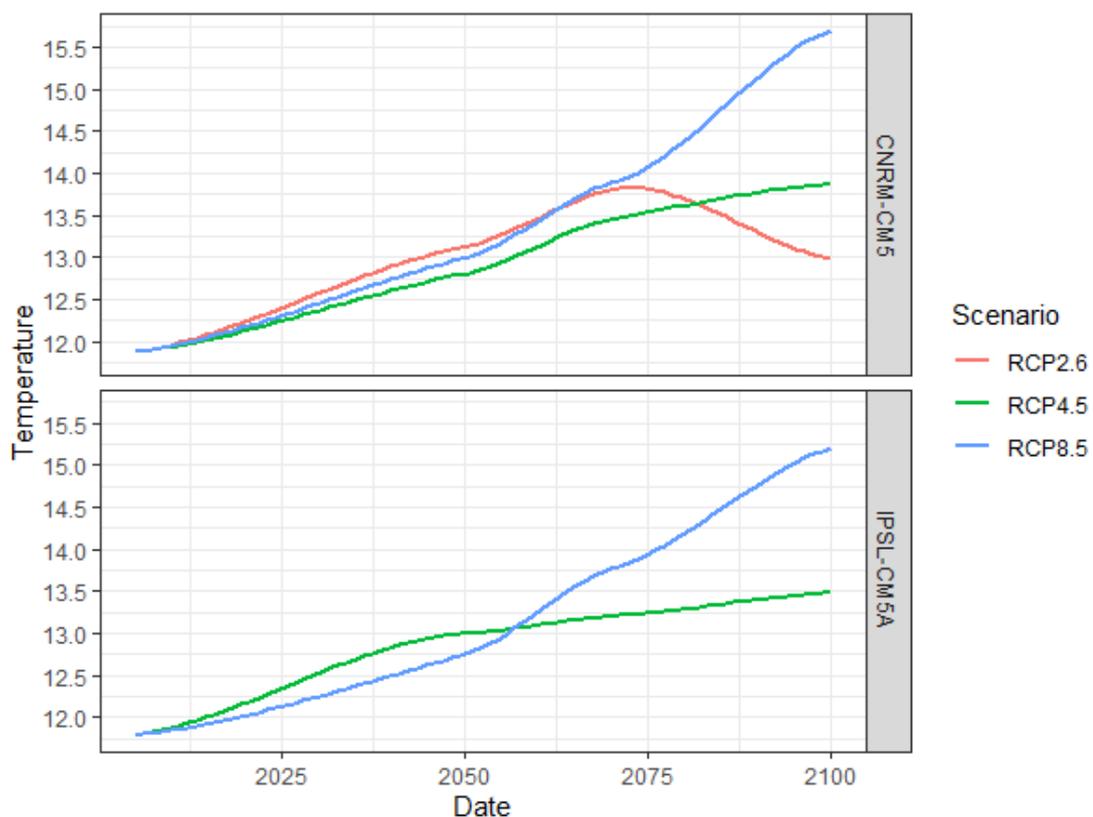


Figure 2 : Illustration des trajectoires de température sur le Plantaurel en fonction des scénarios et des modèles étudiés. Chaque ligne illustre la valeur médiane de l'intervalle de confiance.

Le modèle IPSL-CM5A / WRF331F ; correction ADAMONT ne propose pas de modélisation du scénario RCP 2.6. Pour les deux autres scénarios, ils sont assez proches du modèle CNRM-CM5 / ALADIN53 ; correction ADAMONT bien que ce dernier propose des valeurs légèrement inférieures (~0,5°C d'ici à 2100). Le choix d'intégrer ces deux modèles, plus ou moins optimistes ou négatifs, permet de considérer une fourchette dans laquelle pourrait s'inscrire le climat futur. Ainsi, nous intégrons l'incertitude liée aux modèles en discutant les valeurs extrêmes qu'ils proposent.

L'écart de température entre le scénario « optimiste » RCP2.6 et le scénario « business as usual » RCP 8.5 est important puisqu'il est supérieur à 2°C d'écart (modèle CNRM-CM5). Le premier scénario montre une stabilisation à une température moyenne de 13°C après un pic à +2°C durant la seconde moitié du siècle

pour enfin se stabiliser à une hausse de température de +1°C/1,5°C. Pour le second, la température annuelle moyenne est plus de 15,5°C à l'horizon lointain, soit presque 4°C de plus que la période de référence du modèle (1976-2005).

En comparaison, la hausse observée sur le Mas d'Azil de 1952 à 2015 est comprise entre 1,4 et 1,7°C. Si la température poursuit sa hausse sur la même trajectoire, le pic des +2°C devrait survenir entre 2035 et 2046, soit près d'un quart de siècle plus tôt que les prévisions les plus pessimistes (RCP 8.5 / CNRM-CM5).

Et sous terre ?

L'absence d'antériorité quant aux données recueillies à l'intérieur de la grotte du Mas d'Azil nous invite à la prudence mais doit aussi nous alerter car elles montrent un réchauffement moyen de 0,76v/10ans à 1,1°C/10ans depuis 2014. Les résultats obtenus dans de nombreuses cavités montrent une accélération de la hausse des températures autour des années 2010/2014, ce qui pourrait expliquer en partie cette nette différence avec la station météorologique située à proximité de la grotte. L'analyse du climat par périodes de références pourrait donc inclure cette observation et comparer des périodes antérieures et postérieures à 2010 pour une meilleure estimation de ces taux d'accroissement.

La pluviométrie

Les tendances attendues concernant les précipitations dans les Pyrénées sont très dépendantes selon le versant et selon l'axe Est-Ouest. Alors que les précipitations devraient bien diminuer sur le versant espagnol, elles pourraient augmenter près des côtes atlantiques et méditerranéennes en raison de phénomènes de convection provoqués par l'évaporation de l'eau de mer, créant de la condensation qui sera bloquée par les massifs montagneux. Ces phénomènes, semblables aux épisodes cévenols connus de la façade méditerranéenne du Massif Centrale, peuvent être intenses et irréguliers.

Au centre des Pyrénées sur le versant français, où se trouve le département de l'Ariège, une baisse d'environ 2% est attendue à l'horizon 2050 bien que ces prédictions soient peu significatives (OPCC-CTP, 2018). Cela dit, même à un niveau de précipitations constant, avec l'augmentation moyenne de la température, les phénomènes d'évapotranspiration et la diminution des stocks de neiges créeront sans doute des épisodes de stress hydrique plus importants en l'été, auxquels s'ajoutera un écoulement plus rapide des stocks d'eau le long du bassin versant.

Les événements climatiques extrêmes

Les prévisions suggèrent aussi l'augmentation de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes tels que les canicules, les sécheresses ou les pluies torrentielles par exemple. Ces événements peuvent entraîner des conséquences sur les habitats de surface mais aussi sur les habitats souterrains engendrant colmatage ou décolmatage des remplissages des couches sédimentaires par exemple. Nous avons trop peu de recul pour analyser l'effet de ces épisodes extrêmes mais nous savons qu'ils peuvent modifier les écoulements en place et ainsi assécher ou créer de nouveaux apports en eau. Toutes ces conséquences peuvent se résumer par des modifications du karst pouvant engendrer des répercussions rapides sur le patrimoine archéologique protégé par les remplissages et la calcite. Les conséquences sur la faune sont probablement moins importantes en raison de sa mobilité et de la protection qu'offre le karst en tamponnant les variations rapides des paramètres climatiques.

Méthode d'élaboration du plan d'adaptation

La réalisation du plan d'adaptation s'appuie sur le récit prospectif et sur les résultats du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité. Une stratégie définit les axes de gestion, à affiner avec les acteurs du territoire, qui ont pour objectif l'adaptation de la gestion des sites au changement climatique. Elle identifie les leviers à disposition.

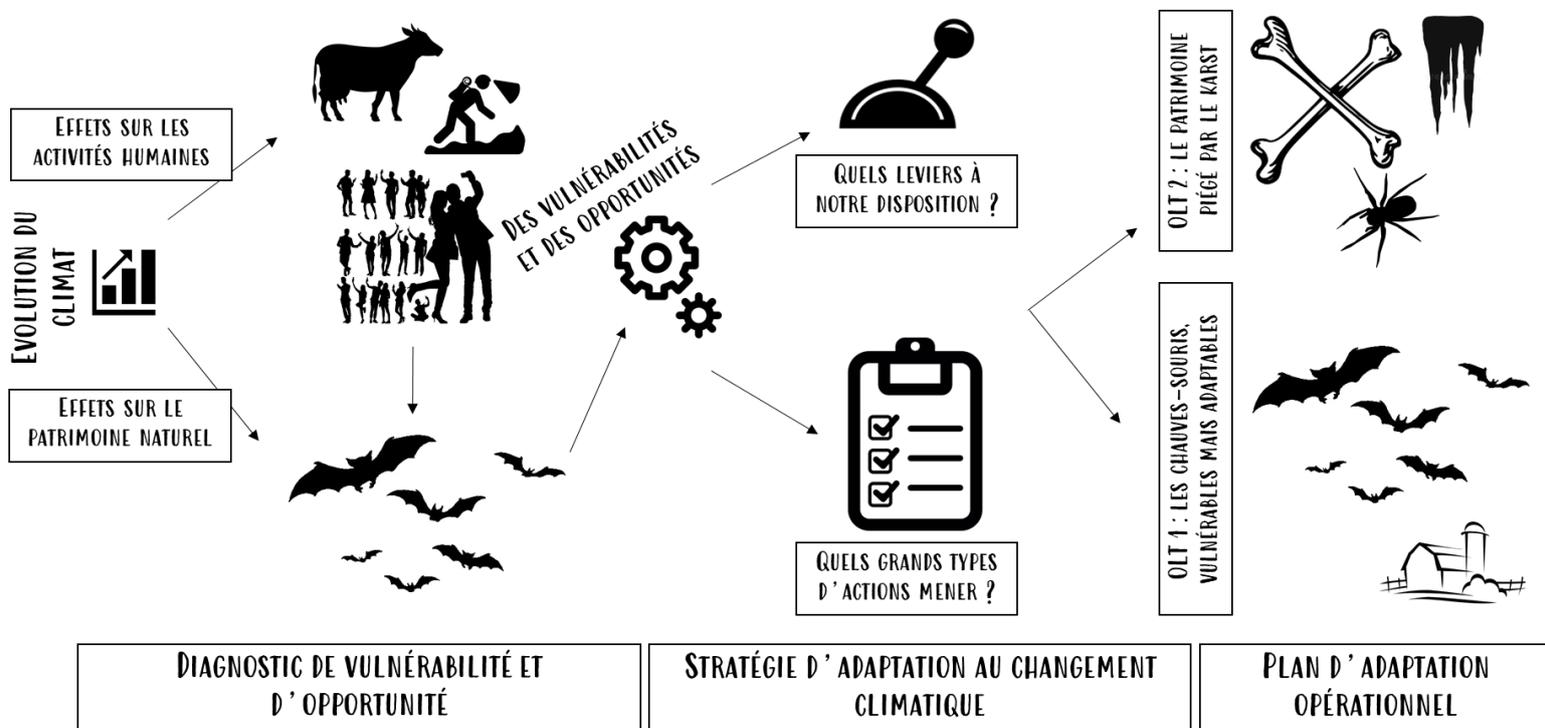
Les actions de gestion sont établies selon la stratégie qui va - selon les enjeux, les moyens financiers et la capacité des actions envisagées à répondre aux enjeux climatiques - viser à l'acceptation de la trajectoire du récit prospectif ou tendre à enrayer cette trajectoire. Dans le premier cas, de l'acceptation découlera plutôt des mesures d'accompagnement des enjeux face aux changements à venir. Dans le second, des actions plus « actives » seront proposées afin de ralentir ou d'infléchir les effets du changement climatique.

Afin d'établir ce plan d'adaptation, nous identifions pour chaque objectif à long terme de grands axes d'action sur la base de trois types de mesures :

- Réduire l'exposition au changement climatique
- Réduire la sensibilité au changement climatique
- Favoriser l'adaptation au changement climatique

Chaque type de mesure est déployé pour les objets du patrimoine naturel qu'abritent les grottes mais aussi sur les facteurs d'influence liés aux activités humaines qui influencent positivement ou négativement ce patrimoine.

Ces résultats sont compilés dans un tableau qui croise les éléments du diagnostic avec les différentes catégories identifiées ci-dessus.



LA STRATÉGIE D'ADAPTATION

La stratégie d'adaptation développe la « philosophie » adoptée par le gestionnaire. Face aux changements climatiques, plusieurs options sont possibles : laisser faire, infléchir ou résister. Les deux dernières options sont les plus actives mais nécessitent de bien connaître le fonctionnement des milieux. Or, les résultats du diagnostic de vulnérabilité nous indiquent qu'il est possible d'intervenir pour infléchir mais surtout que nous n'avons que trop peu de connaissances pour ne pas subir d'effets indésirables à la suite de nos actions de gestion. Nous adoptons plutôt une logique de documentation des changements tout en gardant en tête que les études menées doivent être faites afin d'évaluer l'état de conservation, comprendre le fonctionnement des habitats pour, à moyen terme, espérer entreprendre une gestion plus active. Nous choisissons aussi de renforcer les actions qui vont amoindrir la sensibilité de nos objets patrimoniaux en intervenant sur les facteurs d'influence identifiés.

Mieux comprendre les processus naturels

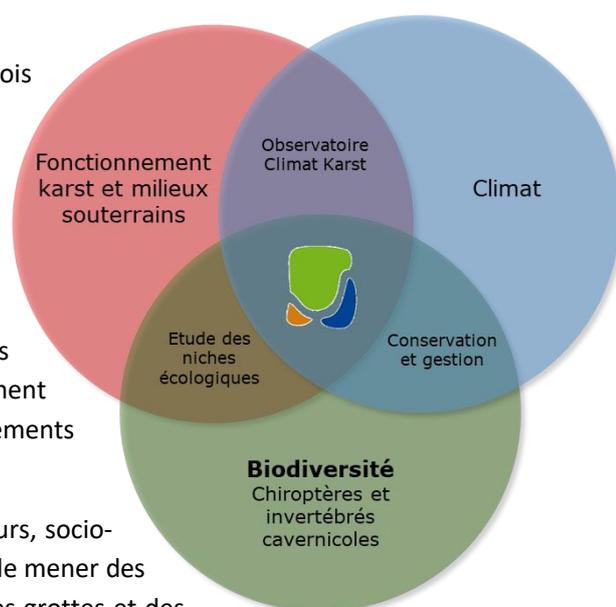
Le travail réalisé lors du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité des grottes du Mas d'Azil, de Méridon, de Tourtouse et d'Unjat a mis en lumière le peu de connaissances à notre disposition pour évaluer la sensibilité des enjeux aux changements climatiques. Les processus naturels complexes relatifs aux milieux karstiques ainsi que les niches écologiques des espèces et leur capacité d'adaptation (plasticité) sont peu ou pas renseignés. La sensibilité des vestiges archéologiques est mieux étudiée mais de nombreuses inconnues persistent encore, relatives au fonctionnement des cavités. Les conditions climatiques particulières des réseaux souterrains rendent l'utilisation des chroniques météorologiques disponibles en surface peu utilisables et l'acquisition de longue chronique s'avère nécessaire pour la compréhension de ces processus. Ces manques identifiés touchent à de nombreuses compétences techniques disponibles chez plusieurs acteurs locaux, nous invitons à une nécessaire interdisciplinarité dans l'étude de ces processus naturels.

En découle l'intérêt d'une approche type « observatoire » avec trois grands items :

- 1) La biodiversité, en particulier les chiroptères et les invertébrés troglodytes.
- 2) Le karst et son fonctionnement.
- 3) Le climat des milieux souterrains.

Ces différents items pourraient ainsi contribuer à l'étude des niches écologiques, l'évolution du karst face au changement climatique et en déduire des actions de gestion adaptées aux éléments à notre connaissance.

Les débouchés attendus seraient la création d'un réseau d'acteurs, socio-professionnels, gestionnaires et du monde de la recherche afin de mener des suivis pluri-disciplinaires sur les paramètres microclimatiques des grottes et des pressions anthropiques. Ce travail collaboratif serait intégrateur puisque les différentes disciplines travailleraient sur des supports et des données communes tout en disposant de référents pour des domaines de compétences spécifiques.



Ces travaux serviraient de base pour la vulgarisation, les actions de sensibilisation mais aussi toute les mesures d'hygiène de la grotte et créant un état initial et en suivant au mieux les évolutions du milieu en corrélation avec les pressions anthropiques directes ou indirects.

Re-prioriser les actions déjà engagées sous l'angle du changement climatique

Les changements en cours nous poussent à porter un regard critique sur les actions de gestion déjà opérées sur ces sites. Sont-elles pertinentes au regard de l'évolution du patrimoine ? Les ordres de priorité sont ils toujours les mêmes où certaines actions de second plan doivent-elles être priorisées ? Les métiers liés à la gestion de ces sites doivent ils évoluer ?

Les suivis à long terme

Le travail réalisé dans le diagnostic de vulnérabilité souligne l'intérêt des suivis à long terme, qu'ils concernent des variables biotiques ou abiotiques. La faiblesse des jeux de données produits sous terre est actuellement un frein à la mise en évidence d'éventuels impacts sur le milieu et les espèces. Pourtant le lien entre les conditions abiotiques des habitats souterrains et la présence de chiroptères, par exemple, est connu et semble, d'après notre diagnostic, être une des principales menaces, pour ces aires protégées, liées au changement climatique. Les suivis à long terme sont à pérenniser/consolider tel que l'indiquent les différents rapportages Natura 2000 qui pointent une avancée sur la qualité des données de suivi sur les chiroptères mais ces derniers soulignent aussi le peu d'information liées à la connaissance de l'état de conservation des habitats d'espèces.

La mise en œuvre de suivis abiotiques pour obtenir des longues chroniques avec du matériel de haute précision s'avère indispensable pour comprendre les enjeux climatiques actuels et à venir, tout en permettant de dissocier les effets du climat des menaces anthropiques directes.

Le suivi et la gestion des pressions anthropiques

L'évolution des paramètres climatiques que sont la température, l'humidité ou encore le CO2 est bien identifiée comme une des menaces principales qui pèsent sur les grottes étudiées. Il s'agit de menaces anthropiques indirectes, liées aux activités humaines globales et dont l'avenir dépend principalement de choix politiques quant à la régulation des émissions de gaz à effet de serre (Riahi et al., 2017).

Les aires protégées ont un rôle à jouer envers les collectivités qui en sont concernées et qui, souvent, les gèrent, par la sensibilisation pour l'évolution des considérations environnementales en politiques. Mais elles sont, avant tout, un excellent levier pour œuvrer avec les acteurs socio-professionnels de leur territoire et de leur zone d'interdépendance pour agir sur des pressions anthropiques locales qui pourraient avoir un impact sur le patrimoine qu'elles protègent.

Comme nous l'avons vu, le changement climatique peut accentuer ou atténuer certaines de ces menaces. Porter une attention particulière sur les menaces anthropiques accentuées par le changement climatique doit figurer parmi les priorités des aires protégées pour en atténuer les effets.

Pour les cavités du Mas d'Azil, de Mérigon, de Tourtouse et d'Unjat, ces menaces potentielles sont principalement liés aux activités spéléologiques et touristiques souterraines mais aussi aux activités de

surface comme l'agriculture ou la gestion forestière. Alors que la progression (et même la présence) humaine sous terre est mieux connue en tant que menace sur le patrimoine souterrain, les effets de la gestion des surfaces épigées sont encore très méconnus, si ce n'est inconnus, sur les processus de karstification/dissolution/corrosion et la qualité des eaux souterraines pour ces cavités.

Les grands enjeux du plan d'adaptation seront d'anticiper les changements à venir (et ceux en cours !) afin que les pratiques convergent au mieux avec la conservation du patrimoine souterrain. Cela implique une caractérisation plus fine des différentes menaces (de façon quantitatif ou qualitatif) à mettre en lien d'une part avec la mise en place des suivis à long terme (en particulier les suivis abiotiques) mais aussi l'indissociable nécessité d'employer des moyens importants de concertation et de sensibilisation afin que les acteurs socio-professionnels ne soient pas opposés à la bonne gestion du site mais qu'ils en soient, au contraire, les principaux défenseurs. Les activités anthropiques, identifiées comme menaces potentielles, sont parfois bénéfiques aux aires protégées tant pour l'acquisition de connaissance, la gestion ou la protection, ce qui doit aussi être mis en valeur.

Les actions de sensibilisations

Le changement climatique fait dorénavant partie intégrante des considérations politiques en France. Il est pourtant plus souvent mis en lien avec les enjeux énergétiques que de biodiversité. Bien que les effets du changement climatique commencent à être étudiés pour de nombreux habitats naturels, les effets sur les milieux karstiques sont encore très méconnus de la communauté scientifique et du grand public.

Pourtant, le karst rend de nombreux services environnementaux aux communautés humaines qui peuvent être mis en péril du fait du changement climatique. Citons quelques uns de ces services :

- Régulation des parasites des cultures et vecteurs de maladies (moustiques) par les chiroptères, dont il constitue l'habitat (Cleveland et al., 2006)
- Stockage et épuration des eaux souterraines dans les aquifères (Brad et al., 2022),
- Lieux d'expression et d'enregistrement de la culture humaine de la Préhistoire à nos jours (Crane & Fletcher, 2015).

Les avantages que procurent les cavités souterraines à observer la dérive climatique grâce à la température présentent aussi un nouvel enjeu de sensibilisation : les cavités sont de véritables observatoires de l'évolution du climat pour les communautés locales et le tamponnement de ces milieux peu étudiés renforce l'intérêt d'y porter attention.

L'Ariège dispose de nombreuses cavités aménagées pour le tourisme, à l'instar du Mas d'Azil ce qui représente une réelle opportunité pour mener des actions de sensibilisation. Les animations qui y sont menées rencontrent souvent (toujours ?) un grand succès et le SESTA, gestionnaire du site en a bien conscience et encourage ce genre d'opérations. Cet élan doit nous inciter à renforcer la sensibilisation sur le changement climatique à destination du grand public mais aussi vers un public cible plus spécialisé comme la communauté spéléologique ou du monde de la recherche.

La grotte du Mas d'Azil est aussi un haut-lieu de la recherche (archéologie, géomorphologie, hydrogéologie, karstologie). L'association des différentes thématiques de recherche en cours sur ce site fait de la grotte une véritable plateforme d'acquisition de connaissances sur les milieux souterrains. Aussi, la présence des scientifiques est un atout exceptionnel pour ce site qui puise dans ces travaux des éléments pour les actions de vulgarisation et de communication.

La vision prospective des aires protégées

Alors que les aires protégées se caractérisent par des périmètres administratifs assez immuables, l'évolution du climat suggère de futurs changements dans la répartition des espèces et de leurs habitats. En lien avec les actions d'acquisition de connaissance (en particulier l'identification des futurs habitats d'espèces), la protection du patrimoine présent au sein de ces aires protégées nécessite d'anticiper le déplacement des espèces pour le déploiement des aires protégées : en 2050, rien ne dit que les cavités étudiées soient désertées par les chiroptères au profit de cavités plus hautes en altitude, qui sont aujourd'hui trop froide, mais qui deviendront accueillantes dans le futur.

Cette prospective permet d'imaginer plusieurs types d'actions à engager pour une bonne efficacité :

- Un travail de modélisation des futures zones favorables aux espèces et habitats d'intérêt,
- L'identification des corridors de migration afin de permettre ces déplacements,
- Identifier les conflits d'usages à venir au sein de cavités sensibles (chiroptères et art pariétal par exemple).

Dans le même temps, les aires protégées d'aujourd'hui deviendront probablement des lieux d'accueil pour de « nouveaux arrivants ». La gestion doit aussi avoir pour objectif de favoriser la venue des enjeux patrimoniaux de demain. Il est possible que d'autres espèces de chiroptères colonisent ces sites ou que l'évolution des conditions climatiques favorise de nouvelles formations géologiques d'intérêt.

Aussi, d'autres enjeux de ces sites ne pourront pas se déplacer : les vestiges archéologiques, les éléments géologiques et, dans une moindre mesure, les invertébrés. Ces derniers ont une capacité de déplacement, mais réduite, leur permettant d'évoluer dans le karst aussi volumineux et peu fragmenté soit-il. L'extension des périmètres des grottes vers une plus large étendue des massifs karstiques associés est un moyen de mieux étudier, comprendre et agir pour la conservation des invertébrés troglobies dans un contexte de changement climatique si toutefois cela est possible. En revanche, les éléments figés des cavités que représentent les vestiges archéologiques et les éléments plus géologiques et minéralogiques sont d'une extrême sensibilité dans ce contexte.

Un équilibre complexe entre les différents enjeux et leur vulnérabilité et capacité d'adaptation est à rechercher en associant la gestion de ces aires protégées avec le déploiement de nouvelles aires protégées. Cet exercice, qui met en interaction les acteurs scientifiques, les gestionnaires, les usagers des cavités et l'ensemble des acteurs socio-professionnels demande une solide implantation territoriale. Le projet de RNNSA semble tout indiqué pour porter un tel travail, une fois la Réserve créée. Elle pourrait « mettre en musique » l'ensemble des acteurs concernés et disposer des leviers financiers propres aux Réserves Naturelles qui assurerait une continuité dans le temps des actions engagées.

Les outils nécessaires à l'adaptation

La gouvernance locale

Les enjeux du patrimoine naturel que représentent ces sites sont identifiés depuis de nombreuses années, en premier lieu grâce à l'effort de recherche produit par le Laboratoire Souterrain de Moulis. En réponse à cette richesse et à la vulnérabilité des milieux souterrains, le Laboratoire Souterrain de Moulis a proposé au début des années 2000 une réserve naturelle regroupant de nombreux sites aux enjeux chiroptères et invertébrés (Cabrol et al., 2002). Malheureusement, ce projet n'a pu aboutir en raison de l'égarement de pièces administratives obligatoires.

Or, ces sites regroupent des enjeux communs, des acteurs communs, des sources de financements communes parfois, éparées souvent. La relance de ce projet paraît répondre à la complexité de la gestion de ces sites et simplifier l'accès aux différentes sources de financement.

Le statut de Réserve Naturelle Nationale assurerait un apport financier minimal de la part de l'Etat pour son fonctionnement et favoriserait, avec l'aide d'une équipe de gestion, l'accès à d'autres financements via un seul gestionnaire d'une seule aire protégée. L'accès aux financements et donc à de nouveaux moyens de gestion sur ces sites semble pouvoir augmenter grâce à l'outil « Réserve Naturelle ». Ce projet pourrait aboutir d'ici 2025 (Figure 3).



Figure 3 : La localisation de la totalité des sites préselectionnés sur le PNR des Pyrénées Ariégeoises, ainsi que des principaux massifs (source : lettre aux partenaires du PNR n°41 de Mars 2021).

Les moyens humains

Des moyens humains pour la formation

L'intégration des enjeux climatiques au sein de la gestion, ainsi que la communication auprès du grand public nécessitent que les gestionnaires et les parties prenantes de la gestion des sites soient formés aux questions climatiques. Des moyens humains sont donc nécessaires au sein des équipes de gestion mais aussi autour.

Des moyens humains pour les suivis

La technicité imposée par le fonctionnement complexe des milieux karstiques nécessite la mobilisation d'acteurs du monde scientifique. De nombreuses compétences sont à mobiliser : de la connaissance de la géologie des milieux jusqu'aux processus microclimatiques, microbiologiques et physico-chimiques (la dissolution des roches carbonatées par exemple) sont indispensables pour comprendre les changements en cours et à venir. L'instrumentation des sites pour la mise en place de suivis abiotiques nécessite aussi des compétences techniques liées à l'utilisation du matériel, son entretien et l'exploitation des données. Des acteurs des sciences sociales, politiques peuvent aussi être un atout pour la prise en compte de l'enjeu changement climatique au sein des acteurs socio-professionnels et les populations locales vivant dans la zone d'interdépendance.

Afin que le discours scientifique soit retranscrit au sein de la gestion des sites mais aussi auprès du plus grand nombre, les structures de gestion doivent se doter d'un maximum de salariés qui seront formés aux enjeux climatiques globaux et locaux. Différents profils sont à mobiliser, tant auprès des techniciens, que des animateurs ou des responsables des structures gestionnaires. Afin que ces enjeux soient intégrés au mieux par les acteurs locaux, il est important que toute la chaîne de responsabilités soit sensibilisée et de veiller à ce que les connaissances produites auprès des acteurs scientifiques soient bien transmises aux acteurs de la gestion puis auprès des élus, des acteurs socio-professionnels et le grand public. La diversité nécessaire des moyens de communication pour toucher le plus grand nombre demande aussi du personnel formé aux techniques de communication.

S'entourer d'élus sensibilisés et moteurs sur la zone d'interdépendance est aussi un levier important afin que les décideurs locaux s'emparent de ces questions. L'enjeu du changement climatique dépasse souvent les clivages politiques et peut représenter une bonne opportunité d'engager un projet de territoire qui bénéficiera d'une bonne adhésion. En effet, le changement climatique permet de raccrocher de nombreuses problématiques des élus locaux, allant de l'agriculture, l'alimentation, la ressource en eau ou encore la biodiversité. L'animation territoriale sera au cœur de cet enjeu et des compétences en animation des réseaux d'acteurs seront de mise.

Les moyens financiers

L'ensemble des sites remarquables du département, comprenant les 4 cavités inscrites dans le projet, est concerné, du fait des nombreux enjeux et gestionnaires, par de nombreux financeurs. Souvent, la gestion de ces sites bénéficie de plusieurs sources de financement qui permettent de développer différents types d'activité.

Les suivis naturalistes sont principalement financés, pour les espèces prioritaires de la directive « Habitats Faune Flore », par le réseau Natura 2000. C'est particulièrement le cas des grottes de Tourtouse et du Mas d'Azil qui sont classées en Natura 2000. L'objectif de ces sites est de rendre compte de l'état de conservation des espèces d'intérêt communautaire et de leur habitat. Le financement des suivis populationnels et de l'instrumentation pour le suivi des conditions abiotiques des sites cavernicoles doit donc être une priorité. La gestion de ces sites, en 2023, sera de la responsabilité de la Région Occitanie. Il paraît important de porter aux financeurs l'intérêt de financer a minima ces suivis qui permettent de remplir les objectifs du réseau Natura 2000.

Lorsque les sites n'intègrent pas le réseau Natura 2000, l'animation et la gestion des sites du conservatoire d'espaces naturels est actuellement financée en grande partie par la Région Occitanie.

A compter de 2023, la majorité des financements actuellement perçus pour la gestion des sites est donc dépendante d'un unique financeur dont les actions sont orientées en fonction d'un programme politique. Si, actuellement, les financements permettent de mettre en œuvre des actions de gestion sur ces sites, l'équilibre est fragile et incertain à moyen terme. Plusieurs grands types d'actions sont à déployer :

- Diversifier les sources de financements,
- Favoriser des partenariats pour des financements pérennes, à moyen/long terme
- Mettre en œuvre des actions peu onéreuses et encourager la sobriété énergétique dans leur réalisation
- Former et encourager le bénévolat pour la mise en œuvre d'actions simples et non prioritaires

La création de la RNNSA concernant ces sites et d'autres du département serait un moyen efficace de réalisation des économies de moyens, tant au niveau humain que financier tout en apportant de nouveaux financements pour son fonctionnement par l'Etat. Ce projet s'avère être un atout majeur pour l'adaptation de la gestion de ces sites au changement climatique.

LES ACTIONS D'ADAPTATION

Les actions d'adaptation se répartissent en trois catégories qui répondent à la méthodologie de réalisation du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité. Elles consistent en la réduction de l'exposition, de la sensibilité et l'adaptation au changement climatique. Elles sont déclinées par objectif à long terme et types de pressions.

OLT 1 : Maintenir ou améliorer l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale

L'analyse des facteurs d'influence intervenant pour le maintien ou l'amélioration de l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale croisés aux trois types d'actions identifiées pour inclure l'enjeu climatique à la gestion des sites nous a permis d'identifier de mesures qui pourraient être mises en place (Tab 1).

Tableau 1 : Mesures d'atténuation des d'adaptation en faveur de l'objectif à long terme (OLT) 1 en faveur des chiroptères

Enjeux/ Objets	OLT	Facteur d'influence	Vulnérabilité	Réduire l'exposition au CC	Réduire la sensibilité au CC	Favoriser l'adaptation
Lieux d'accueil de populations de chiroptères	Maintenir ou améliorer l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale	Conditions microclimatiques des gîtes	Moyenne	Adopter une gestion adaptée des milieux de surface. La compréhension des processus est un préalable nécessaire et les résultats pas garantis.	Assurer une disponibilité optimale des milieux favorables pour les chauves-souris.	Anticiper l'évolution de l'aire de répartition en assurant une disponibilité de gîtes de qualité. Favoriser la productivité en proie des sites de chasse.
		Usages en surface	Moyenne	Agir en faveur des habitats de chasse et en mesurer les effets. Encourager les mesures favorisant la productivité naturelle des habitats forestiers et de zones humides. Encourager le maintien d'une agriculture extensive déjà en place. Le CC sera peut-être une opportunité pour les habitats favorables au Rhinolophe euryale.	Encourager le maintien d'une mosaïque paysagère tout en augmentant la naturalité des boisements de chênes. Agir en faveur d'un pastoralisme qui s'adapte au CC tout en préservant cette mosaïque : maintenir les sous-bois pâturés et étudier les bienfaits potentiels de l'agroforesterie sur les proies et les habitats de chasse.	Maintien d'un maillage de haies dans les zones agricoles ouvertes et la qualité des corridors vers les futures zones favorables. Encourager le maintien d'une agriculture extensive qui saura s'adapter aux futurs défis liés à la ressource en eau (quantitatif et qualitatif) et bénéfique à l'entomofane (lépidoptères).
		Spéléologie et tourisme	Forte	Orienter tourisme spéléo vers grottes non sensibles. Régulation sur-fréquentation sur sites sensibles et du trafic automobile dans la Grotte du Mas d'Azil. Sensibilisation. Actions de conservation envers les "grottes d'avenir" pour y favoriser leur quiétude.	Adopter une pratique de la spéléologie qui intègre la sensibilité des cavités en fonction de la phénologie des espèces, de leur sensibilité en lien avec la topographie.	Disposer d'une réglementation forte et intégrative permettant d'adapter la pratique de la découverte des milieux souterrains en fonction de l'évolution des enjeux environnementaux. Cela serait à mettre en place sur des sites déjà occupés ou qui pourraient le devenir.

Conditions microclimatiques des gîtes

L'évolution des conditions microclimatiques des gîtes est principalement lié aux activités anthropiques globales d'un point de vue international. Du fait des activités humaines, les émissions de CO₂ vont continuer à augmenter, entraînant une augmentation de la température. L'inertie du système climatique nous indique que, quoiqu'il arrive, le climat va évoluer jusqu'en 2050. Les choix qui seront pris "aujourd'hui" auront donc un effet dans 30 ans et relèvent essentiellement de politique internationale.

Il est cependant possible d'atténuer ces changements au sein des cavités au niveau local en intervenant sur l'occupation du sol par exemple. Mais, sans comprendre les interactions complexes en place sur un site et particulièrement le fonctionnement hydrologique, il s'avère impossible d'opérer des actions de gestion sur l'occupation du sol sans connaître les repercussions sur les milieux souterrains.

Il est donc nécessaire d'étudier le fonctionnement microclimatique des grottes avant toute intervention de gestion sur les milieux épigés. Pour cela, plusieurs suivis sont à mettre en oeuvre:

- Maintenir et perfectionner les suivis des populations de chauves-souris troglodytes.
- Instrumenter les cavités pour des suivis à long terme sur les variables suivantes, par ordre de priorité (variable selon les sites) : température, humidité, CO₂, particules fines, débitmètre, pression atmosphérique... Il convient de choisir le matériel de mesure adapté à la précision souhaitée et d'assurer un entretien du matériel.
- Modéliser les niches écologiques des espèces de chiroptères patrimoniales afin de définir les habitats optimaux et les valeurs extrêmes pour lesquelles les espèces occupent les gîtes (Mammola & Leroy, 2018).
- Définir des topographies précises et, dans la mesure du possible, des modèles 3D où seront reportées les mesures abiotiques réalisées et y modéliser les variations.
- Analyser l'origine des processus observés et mesurés et adapter la gestion du milieu en faveur des exigences des espèces.

La mobilité des chauves-souris leur octroie une certaine adaptabilité à l'évolution des pressions sur leur habitat. Elles peuvent en effet se déplacer à d'autres endroits du réseau qui pourraient s'avérer plus favorables alors que les galeries occupées deviennent défavorables à mesure que le climat évolue. Des mesures peuvent permettre de s'appuyer sur cette faculté afin de réduire leur sensibilité au changement climatique :

- Adopter une gestion spatio-temporelle adaptée à l'occupation des chauves-souris dans les gîtes : permettre la sanctuarisation (ou une gestion adaptée) de secteurs nécessaires à leur cycle de vie quand elle l'occupe et de les libérer lorsque ces secteurs ne sont plus utilisés.

Alors que les sites protégés sont des habitats figés qui ne peuvent pas se déplacer, il est possible d'intervenir sur les capacités d'adaptation au changement climatique des chauves-souris. En effet, il est probable que l'occupation des sites souterrains évolue avec le climat : des sites alors favorables seront désertés lorsque la température ou le CO₂ seront trop importants alors que d'autres sites non occupés deviendront, à leur tour, favorables. En s'appuyant sur les connaissances acquises par les mesures précédentes, l'anticipation des aires de répartition des espèces pourrait permettre la création d'aires protégées là où les colonies pourraient s'installer à l'avenir.

L'intervention en faveur de la qualité des habitats de chasse pourrait aussi être une mesure favorable à l'adaptation des espèces.

Usages en surface

Les usages en surface peuvent avoir un effet, positif ou négatif, sur les populations de Rhinolophes euryale. La présence de l'espèce est vraisemblablement influencée par l'occupation du sol et, en particulier, la présence de boisements (chênaie préférentiellement) ou d'un maillage bocager fonctionnel. La qualité des habitats et de l'eau aura donc des effets sur la capacité des individus à s'alimenter et à se déplacer de gîtes en gîtes. Plusieurs mesures de gestion peuvent permettre de maintenir voire d'améliorer l'état de conservation de la population :

- Encourager le maintien d'une agriculture extensive qui favorise la mosaïque d'habitats entre boisements et milieux ouverts et qui s'adapte au changement climatique, en particulier vis-à-vis de la ressource en eau.
- Identifier et encourager les pratiques qui permettent d'augmenter la productivité des habitats pour l'entomofaune et en particulier les lépidoptères et les tipules : la présence d'une mosaïque d'habitats diversifiés ainsi que la présence de zones humides en bon état de conservation semblent être de premières pistes.
- Localiser les futures zones favorables à l'espèce et mettre en œuvre une gestion favorable envers les trames vertes et bleues afin de permettre les migrations. La bonne gestion des ripisylves entre les massifs karstiques devra être une priorité en encourageant leur élargissement et la libre évolution.

Ces mesures sont déjà mises en œuvre mais pas toujours avec le changement climatique comme ligne directrice. Des programmes de subventionnement de pratiques écologiques vertueuses, pour leur maintien et leur amélioration, sont déjà déployés à l'échelle du territoire et en particulier par le Parc Naturel des Pyrénées Ariégeoises sur la base des sites Natura 2000.

La transition climatique est aussi amorcée au sein du monde agricole comme en témoigne l'existence de programmes tel que Clim'Agil. La gestion forestière, en particulier au sein de l'Office National des Forêts, intègre de plus en plus ces changements en cours. Les agriculteurs et les sylviculteurs ariégeois sont les premiers à faire face au changement climatique mais peu de réponses immédiates sont à leur portée.

Mais, souvent, le contexte économique et la lourdeur des tâches administratives pèsent sur les exploitations et l'intégration du changement climatique est souvent un problème moins « urgent » à gérer au quotidien. Le financement de pratiques compatibles avec le climat de demain doit être intégré dès la formation des agriculteurs ou des gestionnaires forestiers, jusqu'à l'attribution des aides pour que la transition devienne intuitive et attractive et non pas un fardeau supplémentaire.

Le travail prospectif d'aménagement du territoire en faveur du Rhinolophe euryale n'est pas engagé. Cela s'explique par le fait que rien n'est connu quant aux futures zones favorables à l'espèce, nécessitant la mise en place de travaux de recherche sur l'écologie de l'espèce et sur le déplacement de sa niche écologique à l'échelle spatiale.

Spéléologie et tourisme

L'Ariège est un territoire karstique réputé pour ses nombreuses grottes qui abritent aussi une faune extraordinaire, de nombreux vestiges archéologiques et des développements étendus et un potentiel de découverte toujours important. Forte de ces richesses, les grottes ariégeoises deviennent un élément d'attractivité pour le tourisme. De nombreuses grottes touristiques sont présentes sur le département et le nombre de professionnels proposant la découverte du monde souterrain est important. Cet atout touristique est important pour les élus de ce territoire qui a connu une fuite de sa population vers les villes à la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle et où la déprise agricole menace l'avenir des exploitations. La recherche de sources d'emplois dans un contexte rural qui tend à se repeupler est une préoccupation actuelle mais qui doit se faire de façon à ce que le développement du tourisme n'altère en rien le patrimoine.

Par ailleurs, le développement des réseaux sociaux et de l'accès à l'information en ligne favorisent certaines pratiques « individuelles » et, donc, non encadrée par les clubs spéléologiques qui participent à la sensibilisation de ses membres. Plusieurs activités incitent de plus en plus la pratique de la spéléologie dans un cadre non fédérale, comme le « geocaching » consistant à créer un parcours où chacun peut résoudre des énigmes afin d'accéder à une cache pouvant se situer dans une grotte ou la pratique d'exploration par certains influenceurs en recherche de sensations fortes par exemple.

Alors si certaines grottes ont vocation à être des atouts touristiques, il est important de mettre en balance les enjeux environnementaux afin de préserver le patrimoine qui, finalement, fait l'attractivité de ces sites. Peu de grottes abritent des enjeux majeurs pour les chiroptères alors plusieurs actions sont à mettre en œuvre :

- La mise sous protection forte des sites essentiels au maintien des populations de chiroptères troglodytes.
- Gérer l'accès aux informations concernant ces sites : concilier la valorisation du patrimoine avec sa sensibilité en régulant la fréquentation. Cela peut passer par de la signalétique, le floutage des localisations sur les cartes et sites internet, la mise en place de procédures d'accès intégrant la phénologie des espèces, leur sensibilité en lien avec la topographie du site et la sécurité.
- La sensibilisation du plus grand nombre mais aussi des socio-professionnels : clubs spéléologiques, professionnels du milieu souterrain, professionnels du tourisme, les agents des collectivités, les élus...

Ces points là devront être un axe de travail central de la future RNSA alors que la conciliation des enjeux spéléologiques, archéologiques et chiroptérologiques font toujours débat. Des actions sont déjà menées mais la fréquentation des sites souterrains étant déjà importante et accrue lors des épisodes de canicules, elles demandent que ces actions soient largement renforcées.

Figure 4 : *Rhinolophes euryale* juvéniles. Thomas Cuypers. Leur survie est en partie dépendante des conditions microclimatique du gîte où ils sont élevés.



Plan d'adaptation opérationnel – OLT1

Mesure de suivi de l'état de conservation

Enjeux / Objets	OLT	Paramètre	Résultats attendus	Indicateurs d'état de conservation	Métriques	Code	Opérations	
Lieux d'accueil de populations de chiroptères	Maintenir ou améliorer l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale	Structure et fonctionnement populationnel	Connaître la phénologie des espèces et estimer les tendances populationnelles	Population	Nb individus /espèce /saison	SE 1	Evaluer le rôle biologique et écologique du site pour les populations de chiroptères.	
			Connaître le rôle de la grotte à l'échelle méta-populationnelle	Méta-population	Nb cavités comptées simultanément Nb total d'individus comptés simultanément	SE 2	Estimer le nombre d'individus à l'échelle méta-populationnelle et suivre les tendances.	
		Intégrité des conditions abiotiques de l'habitat	Description et suivi de l'évolution de l'habitat	Température	Température	SE 3	Réaliser un suivi des conditions microclimatiques et du climat.	
				Humidité	Humidité			
				CO2	CO2			
				Particules fines	Particules fines			
				Abondance des proies	Biomasse entomo	SE 4		Suivi de la biomasse en lépidoptères et tipules sur sites de chasse
				Qualité de l'eau	Débit, T°, pH, IBGN, ...	SE 5		Suivi de la qualité des rivières et des ZH
		Connectivité paysage	Occ du sol et bonne connectivité	SE 6	Suivi de la matrice paysagère et de sa connectivité			
		Altération des habitats et des espèces	Pas de dérangement	Constat	Nb personnes	SE 7	Réaliser un suivi de la fréquentation humaine et ses effets sur les chiroptères.	
					Activité	SE 8	Réaliser un suivi automatique de l'activité acoustique.	
			Pas de dégradation	Constat	Nb dégradation	SE 9	Réaliser un suivi des dégradations d'origine anthropique.	

Mesures de gestion pour atteindre l'objectif à long terme

Lieux d'accueil de populations de chiroptères Maintenir ou améliorer l'état de conservation de la population de Rhinolophe euryale		Facteurs d'influence	Objectifs opérationnels	Résultats attendus	Indicateurs de pression	Métriques	Code	Opérations
		Evolution du climat : hausse de températures, sécheresse, etc.	Adopter une gestion du site et de la zone d'interdépendance favorable à l'espèce	Connaître les conditions abiotiques optimales et extrêmes au sein des gîtes	Conditions microclimatiques des gîtes	T°, H°, CO2, Particules fines, etc.	SE 10	Décrire la niche écologique de l'espèce en termes de sélection de gîtes
Identifier les futures zones favorables à l'espèce pour les différentes phases du cycle biologique	Zones karstiques climatiquement favorables			Nb cavités futurement favorables	SE 11	Modéliser la répartition des zones de gîtes favorables aux horizons 2050 et 2100		
Spatialiser les microhabitats, les microclimats et les enjeux	Topographie et modèle 3D			Nb topographies	SE 12	Réaliser des topographies et des modèles 3D pour les sites qui en sont dépourvus		
Usages en surface	Maintenir des milieux favorables à l'espèce	Connaître les zones de chasse des espèces	Habitats favorables	Surfaces et connectivité	SE 13	Identifier les terrains de chasse		
Tourisme	Veiller au maintien des habitats hypogés favorables à la faune cavernicole	La circulation des automobiles n'affecte pas l'état de santé des chauves-souris	Gaz d'échappements et pollutions associées	Particules fines ?	SE 14	Etudier les impacts potentiels du trafic automobile dans la Grotte du Mas d'Azil sur les chauves-souris		
		Les guides des grottes touristiques comme acteurs de la préservation	Guides formés à l'écologie et à la sensibilité des espèces	Nombre de guides formés	AD 1	Organiser des formations régulières auprès des guides touristiques confrontés à la présence de chauves-souris		
		Les activités de loisirs n'impactent pas les cavités sensibles au dérangement	Présence des cavités sur des parcours de randonnées et autres activités de loisir	Nb de signalements	AD 2	Organiser une veille Geocaching, Visorando, etc.		
Spéléologie	Les colonies de chiroptères ne sont pas dérangées par des visites de cavités.	Les colonies de chiroptères ne sont pas dérangées par des visites de cavités.	Visites des cavités en dehors des périodes établies par le plan de gestion	Nb de visiteurs	AD 3	Assurer une protection efficace du site.		
		Les spéléologues comme acteurs de la préservation.	Cavités disposant d'un plan de gestion	Nb de sites équipés	GC 1	Calendrier et zones de sensibilités sur topo		
			Cavités disposant d'une signalétique adaptée	Nb de sites équipés	IO 1	Mettre en place une signalétique pédagogique		
		Spéléologues formés et informés quant aux enjeux chiroptères	Nb formations, nb de spéléos sensibilisés		AD 4	Organiser des formations à destination des clubs		

OLT2 : Maintenir ou améliorer l'état de conservation du karst et des enjeux associés : invertébrés, géologie, archéologie

L'analyse des facteurs d'influence intervenant pour le maintien ou l'amélioration de l'état de conservation du karst et des enjeux associés, croisés aux trois types d'actions identifiées pour inclure l'enjeu climatique à la gestion des sites nous a permis d'identifier de mesures qui pourraient être mises en place (Tab 2).

Tableau 2 : Mesures d'atténuation des d'aptation en faveur de l'objectif à long terme (OLT) 2 en faveur du karst, des invertébrés troglobies et des vestiges archéologiques

Enjeux/ Objets	OLT	Facteur d'influence	Vulnérabilité	Réduire l'exposition au CC	Réduire la sensibilité au CC	Favoriser l'adaptation
Invertébrés cavernicoles, concrétions remarquables et vestiges archéologiques	Maintenir ou améliorer l'état de conservation du karst et des enjeux associés : invertébrés, géologie, archéologie	Conditions microclimatiques des réseaux karstiques	Forte	Adopter une gestion adaptée des milieux de surface. La compréhension des processus est un préalable nécessaire et les résultats pas garantis.	Réduire les pressions anthropiques qui pèsent déjà fortement sur les éléments figés (archéologie, géologie), notamment par régulation des sources de pollution (automobiles) ou dégradation (fréquentation).	Peu de prises pour l'adaptation si ce n'est la "laisser faire" et documenter. Documenter l'évolution des enjeux comme faisant aussi partie des processus naturels (spéciation/ extinction des espèces). Documenter le patrimoine archéologique menacé avec reproductions, photographie, vues d'artistes, etc. Explorer les opportunités de découvertes dans de nouveaux sites. Etendre l'AP sur le massif karstique.
		Usages en surface	Moyenne	Encourager le maintien d'une agriculture extensive respectueuse de la ressource en eau et des paysages. Prévenir les incendies. Agir pour réguler la production d'écobuages.	Accompagner la transition des pratiques agricoles et forestières en lien avec le climat de demain pour un partage optimal de l'eau et un accès local aux ressources alimentaires et énergétiques.	Adopter des pratiques moins gourmandes en eau (essences, races...) et adapter la gestion en surface aux enjeux souterrains. La capacité des enjeux à s'adapter à l'évolution des milieux de surface est probablement faible.
		Spéléologie et tourisme	Moyenne	Orienter tourisme spéléo vers grottes non sensibles. Régulation sur-fréquentation sur sites sensibles et du trafic automobile dans la Grotte du Mas d'Azil. Sensibilisation. Actions de conservation envers les "grottes d'avenir" pour y favoriser leur quiétude.	Proposer des jauges de fréquentation adaptée à la capacité de résilience des microclimats. Cadrer les pratiques souterraines avec des calendriers, des parcours et des chartes déontologiques.	Disposer d'une réglementation forte et intégrative permettant d'adapter la pratique de la découverte des milieux souterrains en fonction de l'évolution des enjeux environnementaux. Cela serait à mettre en place sur des sites déjà occupés ou qui pourraient le devenir.

Conditions microclimatiques des gîtes

L'évolution des conditions microclimatiques des gîtes est principalement lié aux activités anthropiques globales d'un point de vue international. Du fait de l'émission des gaz à effet de serre, les taux de CO₂ ou encore la température vont augmenter. Il est cependant possible de compenser légèrement ces variations au sein des cavités en intervenant sur l'occupation du sol par exemple. Mais, sans comprendre les interactions complexes en place sur un site et particulièrement le fonctionnement hydrologique, il s'avère impossible d'opérer des actions de gestion sur l'occupation du sol en sachant les repercussions sur les milieux souterrains.

Il est donc nécessaire d'étudier le fonctionnement microclimatique des grottes avant toute intervention de gestion sur les milieux épigés. Pour cela, plusieurs suivis sont à mettre en oeuvre:

- Maintenir et perfectionner les suivis des enjeux patrimoniaux que sont les invertébrés, le patrimoine archéologique ou les formations géologiques.
- Instrumenter les cavités pour des suivis à long terme sur les variables suivantes, par ordre de priorité (variable selon les sites) : température (air et sol), humidité (air et sol), pH (eau et sol), CO₂, particules fines, débitmètre, pression atmosphérique. Il convient de choisir le matériel de mesure adapter à la précision souhaitée et d'assurer un entretien du matériel.
- Modéliser les niches écologiques des espèces d'invertébrés patrimoniaux afin de définir les habitats optimums et les valeurs extrêmes pour lesquelles les espèces occupent les cavités.
- Détenir des topographie précises et, dans la mesure du possible, des modèles 3D où seront reportées les mesures abiotiques réalisées et y modéliser les variations.
- Analyser l'origine des processus observés et mesurés et adapter la gestion du milieu en faveur des exigences des enjeux.

Ces actions reprennent le schéma proposé pour l'OLT1 en réponse à la même pression. Ces actions ne sont pas antagonistes, au contraire, elles peuvent permettre des économies de moyens si leur mise en place est anticipée avec l'aide des experts des différents domaines.

Si les enjeux le permettent et si l'aire protégée ne couvre pas déjà l'entièreté de leur superficie, l'extension de l'aire protégée pour englober la totalité de cet enjeu peut permettre de déployer les actions de gestion sur une surface plus importante. Par exemple, si une pratique sylvicole est favorable à une espèce d'invertébré dans le contexte de changement climatique, elle pourrait être étendue à la totalité du ou des massifs karstiques occupés par l'espèce.

Figure 5 : *Geotrechus vulcanus*, photographie P. Zigatti. Cette espèce endémique de la zone centrale du Plantaurel ariégeois chasse dans les galeries de vers de terre et est donc dépendante de l'hygrométrie du substrat.



Loubens (09) Grotte du Portel, 6-VIII-2013, H. Brustel leg.

Usages en surface

Les enjeux patrimoniaux des milieux souterrains sont étroitement reliés au karst. Il en est souvent le support et son fonctionnement influence directement l'état de conservation de objets patrimoniaux. Le karst étant issu de la dissolution des roches carbonatés par les eaux d'infiltration, les usages en surface jouent un rôle majeur sur les écoulements et, donc, sur le patrimoine souterrain.

En plus de jouer un rôle important sur le cycle de l'eau, les usages en surface interviennent sur la nature des sols qui sont à l'interface avec le karst. En effet, les usages en surface influencent l'accumulation de la matière organique et des sédiments dans le sol en l'enrichissant ou l'appauvrissant. L'activité biologique dans le sol va permettre la dégradation de la matière organique et produire du dioxyde de carbone et d'autres composés qui vont pour directement sur le karst.

La gestion des usages et de l'occupation du sol en surface représente donc une dualité entre ressource en eau et production de CO₂. En réalité, le fonctionnement est bien plus complexe mais ces deux processus ont un effet majeur sur les enjeux patrimoniaux que nous étudions.

L'intégration de cette pression nécessite donc :

- D'encourager le maintien des pratiques extensives dans un paysage qui a peu évolué depuis le néolithique.
- Prévenir les incendies et les grands écobuages qui libèrent d'importantes quantités de carbone stockés dans le sol dans l'air mais aussi dans les réseaux karstiques.
- Accompagner la transition des pratiques agricoles et forestières en lien avec le climat de demain pour un partage optimal de l'eau et un accès local aux ressources alimentaires et énergétiques.
- Etudier les effets de la colonisation de la forêt sur les interactions humus/sol/karst et le lien entre les essences et les processus de dissolution du karst pour en tirer de nouvelles pratiques de gestion. Adopter des pratiques moins gourmandes en eau (essences, races...) et adapter la gestion en surface aux enjeux souterrains.

Spéléologie et tourisme

La spéléologie au sens large du terme (comprendre la fréquentation des milieux souterrains au delà du cadre fédéral en y incluant la découverte jusqu'à la recherche) mais aussi le tourisme lié aux grottes aménagées pour le grand public ou l'activité professionnelle d'encadrement spéléologique ne sont pas les principales menaces pour les enjeux liés au karst. Au contraire, ces acteurs participent à la découverte et à la mise en lumière de ce patrimoine méconnu. Même si des menaces existent, en lien avec la sur-fréquentation de sites sensibles par exemple, les conditions climatiques globales en extérieur représentent la principale menace pour les objets patrimoniaux liés au karst que sont les invertébrés, les vestiges archéologiques ou encore les concrétionnements et autres objets géologiques patrimoniaux.

Cependant, les acteurs du monde souterrain, en gardiens de ce patrimoine, ont un rôle d'exemplarité à remplir et peuvent participer aux mesures de gestion compatibles avec les changements climatiques en cours. Nombre de ces actions sont déjà effectués mais certaines d'entre elles pourraient être re-priorisées au regard de l'enjeu climatique :

- Accentuer l'effort d'animation et sensibilisation à propos de la fragilité du patrimoine souterrain en s'appuyant sur les sites aménagés et les grottes non sensibles en priorité.
- Etudier les effets et gérer en réponse la menace du trafic automobile dans la Grotte du Mas d'Azil.

- Etudier la résilience des réseaux visitables au regard de la fréquentation en instaurant des jauges adaptées.
- Cadrer la progression de réseaux majeurs par des calendriers, des parcours ou des chartes déontologiques par exemple.
- Adapter la réglementation afin qu'elle soit forte mais aussi adaptable à l'évolution des enjeux environnementaux en lien avec la progression souterraine.

Plan d'adaptation opérationnel – OLT 2

Mesures de suivi de l'état de conservation

Enjeux/ Objets	OLT	Paramètre	Résultats attendus	Indicateurs d'état de conservation	Métriques	Code	Opérations
Invertébrés cavernicoles, concrétions remarquables et vestiges archéologiques	Maintenir ou améliorer l'état de conservation du karst et des enjeux associés : invertébrés, géologie,	Structure et fonctionnement populationnel	Connaître la phénologie des espèces et estimer les tendances populationnelles	Population	Nb individus /espèce /saison	SE 15	Réaliser un suivi des populations d'invertébrés troglobies et stygobies.
			Connaître l'écologie et la répartition des espèces	Espèces et sous-espèces	Surface de répartition Typologie des habitats d'espèce	SE 16	Décrire la répartition des espèces à l'échelle intrasite, intersite et dans la matrice paysagère.
		Intégrité des conditions abiotiques de l'habitat	Description et suivi de l'évolution de l'habitat	Température	Température	SE 3	Réaliser un suivi des conditions microclimatiques et du climat.
				Humidité	Humidité		
				Acidité du sol	pH		
				CO2	CO2		
				Particules fines	Particules fines		
		Qualité de l'eau	Débit, T°, pH, IBGN, ...	SE 5	Suivi de la qualité des rivières et des ZH		
		Altération des habitats et des espèces	Pas de dégradation	Capacité de résilience climatique	Personnes /minute, T°	SE 7	Réaliser un suivi de la fréquentation humaine et ses effets sur l'habitat.
				Nb personnes	Nb personnes		
Constat	Nb dégradation			SE 9	Réaliser un suivi des dégradations d'origine anthropique.		

Mesures de gestion pour atteindre l'objectif à long terme

Invertébrés cavernicoles, concrétions remarquables et vestiges archéologiques	Maintenir ou améliorer l'état de conservation du karst et des enjeux associés : invertébrés, géologie, archéologie	Facteurs d'influence	Objectifs opérationnels	Résultats attendus	Indicateurs de pression	Métriques	Code	Opérations
		Evolution du climat : hausse de températures, sécheresse, etc.	Adopter une gestion du site et de la zone d'interdépendance favorable à l'espèces	Connaitre les conditions abiotiques optimales et extrêmes au sein des gîtes	Conditions microclimatiques des gîtes	T°, H°, CO2, Particules fines, etc.	SE 10	Décrire la niche écologique des espèces en termes de sélection d'habitats
				Identifier les futures zones favorables à l'espèce pour les différentes phases du cycle biologique	Zones karstiques climatiquement favorables	Nb cavités futurément favorables	SE 11	Modéliser la répartition des zones d'habitats favorables aux horizons 2050 et 2100
				Spatialiser les microhabitats, les microclimats et les enjeux	Topographie et modèle 3D	Nb topographies	SE 12	Réaliser des topographies et des modèles 3D pour les sites qui en sont dépourvus
		Usages en surface	Maintenir des milieux favorables au karst et enjeux associés	Connaitre le lien entre les usages en surface, le karst, les espèces et les vestiges archéologiques	Etudes scientifiques	Nb d'études	SE 17	Explorer les liens entre les habitats de surface et les pratiques associées sur les processus de karstification et les conditions du milieu
		Tourisme	Veiller au maintien des habitats hypogés favorables à la faune cavernicole	La circulation des automobiles n'affecte pas l'état de conservation du karst et des enjeux associés	Gaz d'échappements et pollutions associées	Particules fines ?	SE 14	Etudier les impacts potentiels du trafic automobile dans la Grotte du Mas d'Azil sur le karst
				Les guides des grottes touristiques comme acteurs de la préservation	Guides formés à l'écologie et à la sensibilité des objets patrimoniaux	Nombre de guides formés	AD 1	Organiser des formations régulières auprès des guides touristiques
				Les activités de loisirs n'impactent pas les cavités sensibles à la fréquentation	Présence des cavités sur des parcours de randonnées et autres activités de loisir	Nb de signalements	AD 2	Organiser une veille Geocaching, Visorando, etc.
				Les sites ne sont pas altérés par des visites de cavités.	Visites des cavités en dehors des périodes établies par le PDG	Nb de visiteurs	AD 3	Assurer une protection efficace du site.
		Spéléologie	Les spéléologues comme acteurs de la préservation.	Cavités disposant d'un plan de gestion	Nb de sites équipés	GC 1	Calendrier et zones de sensibilités sur topo	
Cavités disposant d'une signalétique adaptée	Nb de sites équipés			IO 1	Mettre en place une signalétique pédagogique			
Spéléologues formés et informés quant aux enjeux	Nb formations, nb spéléos sensibilisés			AD 4	Organiser des formations à destination des clubs			

MISE EN ŒUVRE ET SUIVI-ÉVALUATION DU PLAN D'ADAPTATION

Intégration du plan d'adaptation au sein des documents de gestion

Sites de l'ANA-CEN Ariège

L'intégration du plan d'adaptation en faveur des sites à enjeux cavernicoles de l'ANA-CEN09 se fera directement au sein des plans de gestion. Un unique site est à ce jour pourvu d'un document de gestion (n'intégrant pas le changement climatique), la Grotte de Mérigon, mais un document de gestion multi-sites doit voir le jour et intégrera le plan d'adaptation opérationnel au sein de son plan de gestion « grottes ». Son intégration sera facilitée du fait que le plan d'adaptation opérationnel suit la méthode CT88 de rédaction des plans de gestion.

Afin que le travail de bibliographie sur l'évolution des paramètres climatiques soit optimisé en raison du temps qu'il demande, une approche par zone biogéographique sera privilégiée avec des zooms par enjeux. Pour les sites souterrains, le traitement des paramètres température et pluviométrie seraient à analyser par grands massifs karstiques afin qu'il bénéficie à de nouvelles cavités qui pourraient être sous gestion dans l'avenir.

Les diagnostics patrimoniaux des sites pourraient faire référence de façon simplifiée à ces travaux afin de ne pas trop alourdir les documents de gestion souvent de taille déjà conséquente.

L'évaluation des actions d'adaptation serait effectuée avec les autres actions selon la méthode CT88. Le travail présenté dans ce plan d'adaptation doit donc être poursuivi afin d'identifier les critères de réalisation et d'état de conservation afin d'évaluer l'efficacité des actions proposées.

Sites Natura 2000

Deux sites Natura 2000 sont concernés par ce plan d'adaptation, à savoir la Grotte du Mas d'Azil et la Grotte de Tourtouse. La première vient de faire l'objet d'une réactualisation du document d'objectifs (DOCOB) où la menace du changement climatique n'est pas approfondie au sein du diagnostic (Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises, 2021a) mais est identifiée comme menace et au sein de certaines actions de la stratégie d'action (Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises, 2021b). Sur la base du diagnostic de vulnérabilité et d'opportunité du site, de premières actions basées sur l'acquisition de connaissance sur le fonctionnement des milieux karstiques du site pourront déjà être déployées, en accord avec certaines actions du DOCOB sur les chiroptères et avec l'appui des équipes de recherche déjà actives sur site.

La Grotte de Tourtouse, elle, fait l'objet d'un projet d'extension de son périmètre. Cette extension pourrait donner lieu à la réactualisation du DOCOB auquel cas l'intégration du plan d'adaptation sera plus logique

en son sein. La gestion de ce site et la mise en œuvre de son plan de gestion pourraient être facilitées d'une part par le projet d'acquisition du site par l'ANA-CEN09 et d'autre part par le projet de RNNSA.

Apports au projet de Réserve Naturelle Nationale Souterraine de l'Ariège

Ces travaux menés dans le cadre du Life Natur'Adapt fourniront, nous l'espérons, un apport conséquent au traitement des enjeux du changement climatique au sein de la gestion de la Réserve. Cet exercice devra être poussé et déployé sur l'ensemble des massifs karstiques concernés par le projet. La gestion cohérente de ces sites karstiques majeurs permettra d'harmoniser les travaux menés à différentes échelles de gestion comme aujourd'hui avec les sites Natura 2000 et les sites de l'ANA-CEN09 par exemple. En somme, la RNNSA devra être pilote de cette thématique par ses moyens de gestion, d'ancrage territorial et de son conseil scientifique.

CONCLUSION : BILAN DE LA DÉMARCHE ET PERSPECTIVES

Synthèses des actions d'adaptation

Comprendre le fonctionnement des habitats karstiques

Un des objectifs majeurs du plan d'adaptation est d'acquérir de la connaissance sur le karst, les espèces et les vestiges archéologiques. Afin d'optimiser la gestion des grottes en réponse aux changements climatiques, il convient d'agréger de toute urgence de solides jeux de données qui permettront de mieux comprendre le fonctionnement des sites au sein de leur zone d'intérodépendance ainsi que des objets patrimoniaux qu'ils abritent.

Pour cela, nous identifions 3 pré-requis que sont (1) la maîtrise foncière de sites où ces suivis pourront être menés efficacement au long terme et où la fréquentation humaine ne constitue pas un risque pour le matériel, (2) la constitution d'un comité scientifique qui accompagne la mise en place de suivis et exploite efficacement les données recueillies au sein de leurs travaux de recherche et (3) l'acquisition du matériel adéquat, son installation et sa maintenance régulière au long terme (étalonnage, stockage des données, absence de trous dans les séries de données).

Une approche observatoire semble pertinente pour identifier des tendances à l'échelle biogéographique, des référentiels pour comparer la situation d'un site par rapport à d'autres mais aussi pour agréger les efforts de nombreux acteurs et faire des économies d'échelle pour les analyses et les outils.

Différents paramètres biotiques et abiotiques peuvent être relevés en fonction des enjeux et des moyens sur un site mais des efforts minimums doivent être menés pour les analyses les plus simples : la **température** et l'**humidité** sont des paramètres abiotiques simples à relever et des indicateurs importants du fonctionnement des cavités. Des relevés par transects horizontaux et verticaux

Connaitre les niches écologiques et les limites climatiques des enjeux patrimoniaux

Nous l'avons décrit dans le diagnostic de vulnérabilité et d'opportunités, les niches écologiques des espèces troglaphiles/troglobies sont trop méconnues pour définir leur vulnérabilité quant au changement climatique de manière certaine. Quelques éléments descriptifs sont néanmoins à notre disposition : conditions microclimatiques ponctuelles en lien avec l'occurrence ou des effectifs de certaines espèces (Roué et al., 2020), capacité de certains invertébrés à résister à des variations de température en conditions expérimentales (Colado et al., 2022). Mais les données sont trop lacunaires pour attester quelles sont les conditions idéales et extrêmes favorables aux espèces d'intérêt patrimonial en fonction des différentes phases de leur cycle biologique. Le plan d'adaptation vise à combler ce manque grâce à l'acquisition des données abiotiques et le concours des partenaires universitaires.

Adapter la gestion aux exigences des enjeux et des habitats

Les habitats souterrains et leur fonctionnement sont influencés, plus ou moins selon les configurations, par les habitats de surface et à différentes échelles. La formation des milieux karstiques est fortement influencée par les écoulements d'eau, son agressivité et la capacité des sols à retenir cette eau va influencer sur les phénomènes de karstification. Les habitats de surface vont aussi influencer sur l'humus, différemment selon les contextes climatiques, topographiques, etc. Par exemple, le développement d'une forêt va favoriser une large couche d'humus alors qu'une pelouse soumise à une pression de pâturage va, elle, produire peu de « sol ». L'activité biologique s'opérant dans ce sol va induire différentes productions de dioxyde de carbone du fait de la respiration et accumulation de carbone dans la litière. Avec l'infiltration de l'eau, ces éléments vont pénétrer dans le karst et venir influencer sur la karstification. Le couvert végétal va aussi influencer directement la température des cavités : le couvert forestier peut permettre d'abaisser la température d'une cavité (Domínguez-Villar et al., 2013). L'influence du couvert végétal sur la température devrait être moindre à mesure que l'épaisseur de la roche entre la cavité et la surface est importante.

Ces différents éléments théoriques constituent une base sur laquelle le gestionnaire peut s'appuyer pour la gestion de ses sites. Les pratiques pastorales, la gestion forestière, les feux et le fonctionnement du bassin versant amont sont autant de paramètres qui peuvent être pris en compte pour atténuer les effets du changement climatique.

Même si plusieurs études exposent des situations locales, la complexité qu'imposent la diversité des contextes karstiques, les nombreux enjeux et les processus opérants forcent à devoir s'intéresser au fonctionnement de chaque site afin d'espérer pouvoir apporter des méthodes de gestion bénéfiques aux objets patrimoniaux qu'elles protègent. **Actuellement, l'état des connaissances sur les grottes du Mas d'Azil, de Méridon, de Tourtouse et d'Unjat est encore trop lacunaire pour espérer pouvoir opérer une gestion cohérente des habitats de surface pour les milieux karstiques.** Les travaux menés sur le Mas d'Azil depuis dix ans vont dans le sens d'une meilleure compréhension du fonctionnement du site mais les équipes de recherche commencent à peine à appréhender ce fonctionnement (Jarry, comm. Pers), ce qui révèle l'importance d'initier des travaux de recherche rapidement afin de pouvoir agir au plus vite.

Cependant, l'objectif de conservation des chiroptères permet de « sortir des grottes » et de s'intéresser à une échelle plus « paysagère ». Les exigences des espèces sont mieux connues en termes de corridors ou de ressources alimentaires par exemple. De même que les impacts directs que peut avoir la fréquentation humaine dans les sites hypogés à chiroptères. Cela veut dire que de nombreuses actions peuvent d'ores-et-déjà être menées, tant sur la gestion/protection des sites que sur la sensibilisation des différents usagers. Les activités humaines souterraines sont le facteur d'influence le plus fort identifié pour l'enjeu chiroptères et sont renforcées par l'action du changement climatique : hausse de fréquentation des cavités touristiques en période de canicule, hausse de l'attractivité des sites pour la découverte (hors activité spéléologique fédérale) et accroissement de la visibilité des sites via les réseaux sociaux et plus globalement Internet.

La poursuite du plan d'adaptation

Face à la diversité et la complexité des enjeux souterrains, le travail ainsi mené ne constitue qu'une première pierre par rapport à l'effort nécessaire pour inclure au mieux les objets patrimoniaux que ces cavités abritent. Il convient d'approfondir le sujet pour les enjeux les moins considérés (géologiques, vestiges archéologiques, culturels) et ceux oubliés comme les aquifères du karst qui constituent pourtant une part importante du fonctionnement des paysages karstiques et qui jouent un rôle majeur pour les populations humaines locales ou encore l'ancrage territorial qui est un facteur clé de réussite dans la gestion des aires protégées.

Un travail important pour la mise en place des études serait la rédaction des fiches actions et des indicateurs. Le dimensionnement et la budgétisation des actions est une étape importante pour démarcher les financeurs et démarrer les études mais peut prendre du temps. Il est possible que la rédaction de ces fiches actions soit prise en charge au sein de la gestion des différents sites.

Par la même occasion, l'approfondissement de ce travail nécessiterait un temps plus long afin d'y inclure un nombre plus important d'acteur et croiser les regards afin de mieux établir les priorités. Ici encore, le projet de RNNSA constitue une réelle opportunité en imaginant que l'enjeu climatique soit placé au centre du plan de gestion et les experts nécessaires à son étude présents au sein du conseil scientifique.

Apports de la démarche

L'exercice mené grâce à Natur'Adapt a permis d'une part de mieux axer la gestion autour de la fonctionnalité des habitats plutôt qu'une approche purement patrimoniale mais aussi d'identifier les menaces et opportunités liées au changement climatique et les interactions possibles avec les activités humaines. Bien qu'identifiées dans les documents de gestion comme une menace, les menaces n'étaient pas formellement formulées. Maintenant, les actions de gestion peuvent être re-priorisées au regard du changement climatique.

La réalisation de ce travail a aussi été une réelle opportunité pour améliorer nos connaissances sur les environnements karstiques et les acteurs associés. De nombreux partenariats sont déjà initiés pour la mise en œuvre de ce plan d'adaptation et nous nous en réjouissons.

Enfin, la qualité de la gestion du LIFE Natur'Adapt et de la démarche de test de la méthodologie est à saluer puisqu'elle contribue largement à la bonne réalisation de ce travail (Fig 6)! Nous aurons aussi appris en termes de gestion de projet.



Figure 6 : *La communauté Natur'Adapt lors du séminaire de validation.*

LISTE DES ACRONYMES

ANA-CEN09 : ANA – Conservatoire d’Espaces Naturels d’Ariège

CO₂ : Dioxyde de Carbone

PNR : Parc Naturel Régional

RNNSA : Réserve Naturelle Nationale Souterraine d’Ariège

SESTA : Service d’Exploitation de Sites Touristiques d’Ariège

BIBLIOGRAPHIE

- Brad, T., Bizic, M., Ionescu, D., Chiriac, C. M., Kenesz, M., Roba, C., Ionescu, A., Fekete, A., Mirea, I. C., & Moldovan, O. T. (2022). Potential for Natural Attenuation of Domestic and Agricultural Pollution in Karst Groundwater Environments. *Water*, *14*(10), Art. 10. <https://doi.org/10.3390/w14101597>
- Cabrol, P., Grassaud, M., Bertrand, A., Bréhier, F., Dumas, P., Juberthie, C., & Mangin, A. (2002). *Projet de Réserve Naturelle Souterrain de l'Ariège* (p. 286). Direction régionale de l'environnement Midi-Pyrénées.
- Cieslak, A., Fresneda, J., & Ribera, I. (2014). Life-history specialization was not an evolutionary dead-end in Pyrenean cave beetles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *281*(1781), 20132978. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2978>
- Cleveland, C. J., Betke, M., Federico, P., Frank, J. D., Hallam, T. G., Horn, J., López Jr, J. D., McCracken, G. F., Medellín, R. A., Moreno-Valdez, A., Sansone, C. G., Westbrook, J. K., & Kunz, T. H. (2006). Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *4*(5), 238-243. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0238:EVOTPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0238:EVOTPC]2.0.CO;2)
- Colado, R., Pallarés, S., Fresneda, J., Mammola, S., Rizzo, V., & Sánchez-Fernández, D. (2022). Climatic stability, not average habitat temperature, determines thermal tolerance of subterranean beetles. *Ecology*. <https://doi.org/10.1002/ecy.3629>
- Crane, R., & Fletcher, L. (2015). *Cave : Nature and Culture*. Reaktion Books.
- Domínguez-Villar, D., Fairchild, I. J., Baker, A., Carrasco, R. M., & Pedraza, J. (2013). Reconstruction of cave air temperature based on surface atmosphere temperature and vegetation changes : Implications for speleothem palaeoclimate records. *Earth and Planetary Science Letters*, *369-370*, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.03.017>
- Mammola, S., & Leroy, B. (2018). Applying species distribution models to caves and other subterranean habitats. *Ecography*, *41*(7), 1194-1208. <https://doi.org/10.1111/ecog.03464>

- Măntoiu, D. Ștefan, Mirea, I., Sandric, I., Cișlariu, A., Gherghel, I., Constantin, S., & Moldovan, O. T. (2022). Bat dynamics modelling as a tool for conservation management in subterranean environments. *PLOS ONE*, 17, e0275984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275984>
- OPCC-CTP. (2018). *Le changement climatique dans les Pyrénées : Impacts, vulnérabilités et adaptation. Base de connaissances pour la future stratégie d'adaptation au changement climatique dans les Pyrénées* (p. 150).
- Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. (2021a). *Document d'objectifs de la zone spéciale de conservation Quiers du Mas d'Azil et de Camarade, grottes du Mas d'Azil et de la carrière de Sabarat. FR 7300841. Département de l'Ariège. Tome 1—Diagnostic du site.* (p. 96). Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. https://www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/wp-content/uploads/2021/02/200301_Docob-Mas-Azil_Tome1.pdf
- Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. (2021b). *Document d'objectifs de la zone spéciale de conservation Quiers du Mas d'Azil et de Camarade, grottes du Mas d'Azil et de la carrière de Sabarat. FR 7300841. Département de l'Ariège. Tome 2—Stratégie d'action.* (p. 94). Parc Naturel Régional des Pyrénées Ariégeoises. https://www.parc-pyrenees-ariegeoises.fr/wp-content/uploads/2021/03/200301_Docob-Mas-Azil_Tome2.pdf
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications : An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Roué, S., Cuypers, T., Baillat, B., Faucher, E., & Bru, E. (2020). *Etude écologique au sein de la Grotte d'Aldène (Cesseras, 34) située dans le site N2000 « Les Causses du Minervois »* (p. 68). Ecosphère - Chirop'Terra - ANA.



naturadapt.com

Le projet LIFE Natur'Adapt vise à intégrer les enjeux du changement climatique dans la gestion des espaces naturels protégés européens. Coordonné par Réserves Naturelles de France, il s'appuie sur un processus d'apprentissage collectif sur 5 ans (2018-2023), autour de trois axes :

- L'élaboration d'outils et de méthodes opérationnels à destination des gestionnaires d'espaces naturels, notamment pour élaborer un diagnostic de vulnérabilité au changement climatique et un plan d'adaptation ;
- Le développement et l'animation d'une communauté transdisciplinaire autour des espaces naturels et du changement climatique ;
- L'activation de tous les leviers (institutionnels, financiers, sensibilisation...) nécessaires pour la mise en œuvre concrète de l'adaptation.

Les différents outils et méthodes ont été expérimentés sur six réserves partenaires du projet, puis revus et testés sur 15 autres sites, avant la dernière phase de déploiement aux échelles nationale et européenne.

Coordinateur du projet



Grâce au soutien financier de



Contact : naturadapt@rnfrance.org / 03.80.48.91.00

Partenaires engagés dans le projet



Financeurs du projet



The Natur'Adapt project has received funding from the LIFE Programme of the European Union

LIFE17 CCA/FR/000089 - LIFE #CC #NATURADAPT

Novembre 2022