



HAL
open science

ENVIRONNEMENTS, DYNAMIQUES ET TERRITOIRES DE LA MONTAGNE, Dix ans de recherches au laboratoire EDYTEM

Laurent Astrade, Jean-Jacques Delannoy

► **To cite this version:**

Laurent Astrade, Jean-Jacques Delannoy. ENVIRONNEMENTS, DYNAMIQUES ET TERRITOIRES DE LA MONTAGNE, Dix ans de recherches au laboratoire EDYTEM. Coordinateurs : L.Astrade ; J-J Delannoy Collection EDYTEM n°16, 163p., 2009. hal-01639020

HAL Id: hal-01639020

<https://hal.science/hal-01639020>

Submitted on 20 Nov 2017

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

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

Collection EDYTEM

Numéro 16 - Année 2014



*Coordination :
Laurent Astrade
Jean-Jacques Delannoy*

ENVIRONNEMENTS, DYNAMIQUES ET TERRITOIRES DE LA MONTAGNE

10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM



Numéro 16 - Année 2014

*Environnements, dynamiques
et territoires de la montagne*

*Dix ans de recherches
au laboratoire EDYTEM*

Coordination de l'ouvrage : Laurent Astrade, Jean-Jacques Delannoy

Photos de couverture :

- limite du parc national de la Vanoise, cirque de l'Arcellin, Pralognan-la-Vanoise (Lionel Laslaz)
- le val du Bourget (Antoine Berger, <http://www.alpesphoto.com/>) ;
- l'Aiguille du Midi (Stephan Gruber) ;
- source chaude, Ahmad Abad, province de Takab, Azerbaïdjan occidental (Magali Rossi) ;
- belvédère en balcon au-dessus des gorges de l'Ardèche (Mélanie Duval) ;
- l'aven d'Orgnac (Stéphane Jaillet).

Comité éditorial de la Collection EDYTEM : Fabien ARNAUD, Laurent ASTRADE (dir.), Xavier BODIN, Émilie CHALMIN, Jean-Jacques DELANNOY, Mélanie DUVAL, Christophe GAUCHON, André PAILLET, Jérôme POULENARD, Magali ROSSI.

Comité de rédaction du présent numéro : Laurent ASTRADE, Jean-Jacques DELANNOY.

Comité de lecture du présent numéro : Laurent ASTRADE, Alain CHEILLETZ (École nationale supérieure de géologie, Nancy), Étienne COSSART (UMR 8586 - PRODIG, Université Paris 1), Jean-Jacques DELANNOY, Christophe GAUCHON, Sylvain GUYOT (UMR GEOLAB, Limoges), Michel MAGNY (UMR 6249, Université de Franche-Comté), Jérôme POULENARD, Emmanuel REYNARD (Université de Lausanne, Suisse), Nathalie VANARA (UMR 8591, Université Paris 1), Franck VAUTIER (MSH, Clermont-Ferrand).

Mise en page : André PAILLET

Les personnes ci-dessus citées, sans indication de structure d'appartenance, sont membres du laboratoire EDYTEM.

NB : Les points de vue et conclusions développés dans les articles n'engagent que leurs auteurs.

Imprimé par : Imprimerie AB Numéric, 20-24 avenue René Cassin, BP 9164, 69263 LYON Cedex 9

Exemplaires disponibles au Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie, Campus scientifique,
73376 Le Bourget-du-Lac cedex, France, ou auprès de : sec-edytem@univ-savoie.fr

Site web du laboratoire : <http://edytem.univ-savoie.fr/>

On trouvera à la fin de cet ouvrage la présentation de l'ensemble des publications du Laboratoire EDYTEM

Dépôt légal : mai 2014

ISSN : 1762-4304 - ISBN : 978-2-918435-08-2 - EAN : 9782918435082

Introduction

2003-2013 : dix ans de vie du laboratoire EDYTEM

Ce numéro de la Collection EDYTEM est dédié à Françoise Allignol qui nous a quitté en mars 2014. Françoise a été de celles et ceux qui ont cru d'emblée à la dimension interdisciplinaire de notre laboratoire et à la richesse du partage et du croisement des regards disciplinaires. Merci Françoise.

Nous avons voulu par ce numéro de la Collection EDYTEM marquer les dix ans de notre laboratoire. Dix ans de vie d'une unité de recherche, c'est à la fois peu dans le paysage scientifique et beaucoup de l'intérieur car on y mesure le chemin parcouru depuis 2003.

Comme tout anniversaire, on se remémore inmanquablement la préparation de ce qu'on a souhaité créer, la naissance, les premiers instants d'existence et les différentes étapes qui ont construit ce que nous sommes devenus. Dans la vie d'un laboratoire, on a peu l'occasion de se remémorer ces différentes étapes car tout nous conduit à se projeter à n+3, n+5, n+10... afin de garder une place la plus visible possible dans un paysage institutionnel qui ne cesse de changer voire de se chercher. Porter à connaissance comment notre laboratoire s'est construit, d'où nous venons et qui nous sommes aujourd'hui nous paraît important, ne serait-ce que pour ne pas oublier celles et ceux qui nous ont aidé et qui ont participé à la création et à la construction du labo.

Le laboratoire EDYTEM, c'est aujourd'hui une soixantaine de membres (permanents et contractuels), plus de vingt doctorants, une unité reconnue pour sa démarche interdisciplinaire, ancrée dans de nombreux réseaux de recherche nationaux et internationaux et lisible aussi bien sur ses objets d'étude que pour ses développements méthodologiques. C'est cette lisibilité là que nous avons souhaité présenter dans ce numéro de la Collection EDYTEM autour des plateformes technologiques et des Objets Emblématiques du laboratoire. Ces objets ne couvrent pas l'ensemble des recherches menées au sein du laboratoire mais sont l'expression de la perception du laboratoire depuis l'extérieur (acteurs de la recherche, acteurs publics et acteurs socio-économiques). Cette perception résulte aussi bien de la production scientifique du laboratoire, des partenariats que nous avons construits avec d'autres unités de recherche, de l'implication du laboratoire dans des problématiques environnementales, socio-économiques et territoriales concrètes et de notre participation dans des comités stratégiques et conseils scientifiques. Il importe de préciser, afin de lever toute ambiguïté, que ce numéro des dix ans d'EDYTEM n'a pas la prétention de présenter toutes les recherches faites au sein du laboratoire. Les différents numéros de la Collection EDYTEM soulignent, si besoin est, la diversité de nos recherches qui dépassent les seuls objets emblématiques du laboratoire. Si nous avons souhaité marquer les dix ans du laboratoire via les objets emblématiques, c'est parce qu'ils sont à l'image de ce que nous avons souhaité construire dès 2003 : croiser les approches et les regards disciplinaires sur de mêmes objets de recherche. La plupart des objets emblématiques d'EDYTEM portent l'empreinte de cette volonté interdisciplinaire.

Un autre support porte cette volonté : il s'agit de la Collection EDYTEM, riche aujourd'hui de 16 numéros (cf. page 172). Nous avons souvent été interpellés sur ce support de diffusion de nos recherches et de communication. La Collection EDYTEM a été et est un support de valorisation et de communication des démarches et des recherches que nous avons développées au sein du laboratoire dans le cadre de programmes, de contrats, de réseaux de recherche (GDR(I), RTP, Ecole thématique...). Quand on n'existe pas dans un paysage scientifique et qu'il faut s'y faire une place, tous les moyens doivent être mobilisés et nous les avons mobilisés : en publiant dans nos revues respectives, en communiquant dans nos congrès, colloques et écoles respectives... ; mais rapidement ceux-ci ne constituaient pas les uniques supports pour faire connaître ce que nous faisons, ce que nous construisions au sein du laboratoire

notamment par le filtre de l'interdisciplinarité. Nous n'avons jamais considéré que ce fut de l'énergie perdue, que cela desservait notre citation index ; bien au contraire, la Collection Edytem a permis de rendre visible ce que nous sommes, de créer notre carte d'identité de laboratoire revendiquant l'interdisciplinarité comme moteur de recherche. La Collection Edytem constitue en quelque sorte des archives ouvertes de nos recherches et lorsqu'on se prend à parcourir les intitulés des différents numéros, on relève qu'ils ont tous l'empreinte de la transversalité et du croisement des regards et/ou des disciplines. Nous tenons ici à remercier toutes celles et ceux qui ont porté ces numéros et plus particulièrement leurs rédacteurs en chef (Xavier Bernier puis Laurent Astrade) et André Paillet cheville ouvrière de la mise en page et de la qualité de chacun de ces numéros (ainsi que Françoise Prud'homme pour le n° 5).

En 2003, le laboratoire EDYTEM, c'était à peine une vingtaine de membres permanents et une dizaine de doctorants, tous appartenant à l'Université de Savoie. Au regard de ce que nous sommes aujourd'hui, on mesure la croissance du laboratoire ainsi que le développement de son assise qui s'appuie désormais sur trois tutelles : l'Université de Savoie, le CNRS et le Ministère de la Culture et de la Communication. Quand on se replonge dans ce qu'était le projet du laboratoire pour le contrat 2003-2006, il ressort clairement que nous avons osé ce qui aujourd'hui nous paraîtrait impossible : créer un nouveau laboratoire demandant d'emblée une association au CNRS alors que nous n'avions, de fait, aucun personnel et aucune lisibilité auprès de cet organisme. Notre avant-garde fut Yves Perrette qui, en candidatant sur un poste de chargé de recherche, a permis de faire connaître l'existence de recherches sur les interactions Hommes/Milieus à partir de l'étude à haute résolution des spéléothèmes. Une toute première pierre avait été posée dans le jardin de la section 31 du CNRS. D'autres viendront par la suite.

De nombreux facteurs ont joué dans la reconnaissance d'EDYTEM en tant qu'unité mixte de recherche (UdS/CNRS) et dans sa création officielle en 2003, mais il en est deux qui nous paraissent majeurs avec le recul. Le premier est celui d'avoir proposé un laboratoire portant l'interdisciplinarité comme une démarche résolument porteuse de nouvelles manières de construire et de faire de la recherche en adéquation avec les problématiques environnementales et les territoires. La seconde est notre conviction et notre enthousiasme à participer à cette création et de faire ensemble. EDYTEM n'est pas la juxtaposition de deux équipes d'accueil qu'étaient le LGUS (laboratoire de Géographie de l'Université de Savoie) et le LGHAM (Laboratoire de Géologie et d'Hydrogéologie des Aquifères de Montagne) mais bien la résultante de la construction d'un projet nouveau autour d'une thématique fédératrice (la montagne) et d'une approche commune : croiser nos méthodes, nos expériences, nos regards disciplinaires autour d'objets communs de recherche. C'est sur cette base que la structuration du laboratoire en trois équipes s'est constituée avec l'idée de créer un continuum permettant de traiter des évolutions et dynamiques passées et actuelles des systèmes montagnards, d'en évaluer les ressources et les vulnérabilités et de penser les modes de gestion durable et de valorisation patrimoniale. Il est intéressant de noter que cette volonté de construire ensemble reste forte et fédératrice au sein du laboratoire si on se réfère aux discussions actuelles pour faire évoluer celui-ci dans le cadre du prochain contrat 2016-2020. Il y a plus de dix ans de cela, nous avons travaillé durant deux ans (2000-2001) sur ce que nous voulions construire dans le respect des différents champs disciplinaires, de nos différences de culture et de productions scientifiques. Ce qui nous a d'emblée soudé, c'était l'approche terrain et la volonté de répondre au mieux aux enjeux environnementaux et territoriaux liés aux variations climatiques et à la gestion durable des ressources de montagne. Notre démarche a reçu un soutien fort de l'université et plus particulièrement de son vice-président recherche, Laurent Foulloy, et a été appuyée et conseillée par des collègues du CNRS investis dans des approches interdisciplinaires similaires entre les SHS et les géosciences ; nous pensons ici plus particulièrement à Tatiana Muxart, Sander Van der Leeuw, Jean-Jacques Hublin et Jean-Marie Hombert. Sans leur soutien et l'évaluation attentive et très positive de notre projet par la section 31 du CNRS, il se peut qu'EDYTEM n'ait pas vu le jour, du moins dans une association avec le CNRS. Aujourd'hui, nous savons que sans cette association le laboratoire ne serait pas ce qu'il est actuellement, ne serait-ce que par le soutien apporté par le CNRS en postes d'ingénieurs, techniciens et chercheurs et dans l'acquisition de grands équipements. Au delà de ces soutiens, la relecture du projet déposé en 2002 met en avant que nous étions déjà impliqués et porteurs sur des démarches innovantes et des objets emblématiques forts : l'étude à haute résolution des archives sédimentaires et de spéléothèmes, la modélisation des aquifères hydrothermaux de montagne, l'étude morphodynamique de la haute montagne, l'approche globale des systèmes karstiques et l'implication dans ce qui venait juste d'émerger dans le paysage scientifique : la grotte Chauvet. C'est tout cela qui fait qu'en 2002, notre laboratoire (autour de son projet et de sa démarche interdisciplinaire) a fait sens et a permis de signer son acte de naissance : le 1^{er} janvier 2003. Ce n'était pas pour autant complètement gagné car nous devons faire la démonstration que notre projet était viable... Dix ans après cet acte fondateur, on peut, sans prétention, affirmer que notre projet a été attractif et visionnaire. Visionnaire dans le sens où nous avons posé les bases (i) de la retro-observation et du croisement multi-archives pour mieux appréhender la part du climat et de l'anthropisation dans les réponses environnementales ; (ii) de l'analyse des flux thermiques dans la dynamique des versants de haute montagne en mettant, en outre, l'accent sur le changement climatique actuel ; et (iii) de l'évaluation des ressources et des patrimoines de montagne et du karst en tant que support de développement et de valorisation. Différentes entrées

qui restent pleinement d'actualité si on les met en miroir avec l'Equipex CLIMCOR, les actions conduites au sein du DIPEE Chambéry-Grenoble, de la Zone Atelier Alpes et du labex ITEM, les recherches actuellement développées sur les espaces naturels, les géopatrimoines et les patrimoines karstiques et palafittes.

Le développement et la lisibilité du laboratoire doivent beaucoup à celles et ceux qui ont pris la décision de nous rejoindre, que ce soit en mutation ou sur les postes redistribués et créés par nos tutelles. Ce soutien sans faille des tutelles a contribué à la croissance du laboratoire mais aussi à un fort renouvellement de ses membres. Aujourd'hui, seule une dizaine de membres (18%) a connu le début du laboratoire et cependant la cohésion des recherches impulsées il y a dix ans reste forte, même si, et c'est normal, les apports des uns et des autres font que les contours et objectifs des équipes ont évolué lors des deux derniers contrats du laboratoire (2007-2010/2011-2015).

Si l'on compare le laboratoire il y a 10 ans et aujourd'hui, hormis sa croissance et le déménagement dans le nouveau bâtiment Pôle Montagne en octobre 2008, on relève deux événements majeurs dans la structuration du laboratoire : la mise en place des plateformes technologiques et celle des axes transversaux.

Au terme du premier contrat, il était rapidement apparu que nombre des recherches menées dans chacune des équipes concernait des terrains et objets d'étude communs et que la dynamique interdisciplinaire transcendait les équipes. C'est sur ce constat que trois axes transversaux de recherche ont été formalisés dans le projet 2007-2010 : Haute Montagne, Hydrothermalisme de Montagne et Karst. Ces trois axes répondaient à un double objectif : valoriser et rendre encore plus visible notre démarche interdisciplinaire et mettre en avant les points forts de recherche du laboratoire. Bien que tous les membres d'EDYTEM n'étaient pas forcément concernés par les travaux menés au sein des axes (comme aujourd'hui pour les objets emblématiques), cet affichage était jugé important dans la genèse du laboratoire et son positionnement dans le paysage scientifique national et international. Compte tenu de la croissance du laboratoire, de la diversité des parcours des membres qui nous ont rejoint, de l'affirmation de certains champs de recherche au sein de l'unité et de la formalisation de nouvelles problématiques de recherche (et/ou de structuration de la recherche : fédération FLAME, DIPEE, Zone Atelier...), d'autres terrains et objets de recherche communs et trans-équipes ont émergé. C'est sur cette dynamique que se sont construits les Objets Emblématiques présentés dans ce numéro de la Collection EDYTEM. Les trois premiers (Haute Montagne, Systèmes hydrothermaux, Karst) sont dans le prolongement des axes transversaux du laboratoire et constituent, du fait de leur épaisseur temporelle, un miroir de la construction du laboratoire durant ces dernières années. Les trois autres (Espaces Protégés, Lacs de montagne, Géopatrimoines) sont l'expression d'une affirmation plus récente des recherches au sein du laboratoire en tant qu'objet fédérateur de l'intérieur et lisible de l'extérieur. Chacun de ces six objets emblématiques est présenté de manière différente sur la forme (expression de la diversité des approches), tout en ayant pour point commun de relever la légitimité de nos travaux sur ces terrains et thèmes de recherche. Ils sont aussi l'occasion de resituer dans leur contexte les programmes, les publications majeures et les recherches doctorales menés au sein du laboratoire.

Les besoins d'analyse à haute résolution des archives naturelles étudiées par le laboratoire (spéléothèmes, sédiments lacustres, puis les cernes d'arbre), les nécessités de suivis métrologiques continus pour appréhender finement le fonctionnement des systèmes hydrogéologiques et hydrothermaux de montagne et la volonté de mesurer les effets du changement climatique sur les systèmes géomorphologiques et nivo-glaciaires de haute montagne ont été les vecteurs structurants de la création de quatre plateformes technologiques (cf. projet 2007-2010) : (i) Caractérisation des géomatériaux, (ii) Métrologie environnementale, (iii) Cartographie à très haute résolution et (iv) Base de données. Le développement de ces plateformes repose ici aussi sur le soutien des tutelles tant dans leur équipement que dans l'affectation de personnels d'accompagnement à la recherche : ce n'est pas moins de neuf ingénieurs-techniciens (dont deux en CLD), pour l'essentiel CNRS, qui ont rejoint notre laboratoire et permis de donner sens à la structuration des forces autour de ces plateformes. Celles-ci avaient (et ont toujours) une double fonction : (i) développer la mutualisation des moyens au sein du laboratoire en apportant un fort soutien aux recherches des trois équipes et (ii) mettre en avant les savoir faire et les compétences méthodologiques du laboratoire. Ici également, la croissance du laboratoire et l'arrivée de nouvelles compétences et problématiques de recherche ont fait évoluer les contours et les objectifs des plateformes qui, de quatre, sont passées à trois, auxquelles il faut adjoindre le *Centre de documentation sur le karst - Fonds Jacques Choppy* propriété du laboratoire qui en assure l'animation scientifique. Ce numéro présente ainsi les plateformes actuelles GéMO, CTI3D, BDD, le *Fonds Jacques Choppy* et les actions de communication vers l'extérieur mises en place au sein du laboratoire.

Ce numéro de la Collection EDYTEM est l'occasion de remercier toutes celles et ceux qui ont permis que notre laboratoire soit ce qu'il est aujourd'hui : une unité dynamique, en croissance continue, ayant le sens du collectif et voulant porter le message de la force que représente l'interdisciplinarité. Il faut ici remercier les chercheurs qui nous ont rejoints au moment où nous devons faire la démonstration de notre attractivité, les chercheurs qui ont candidaté sur les concours CNRS en spécifiant leur rattachement à EDYTEM, les enseignants-chercheurs qui ont fait le choix de candidater dans une université de taille moyenne convaincus de ce que nous pouvions construire au sein du laboratoire, les ingénieurs, techniciens et administratifs qui ont demandé leur mutation ou candidaté sur les postes

ouverts et/ou créés par nos tutelles, les doctorants qui ont fait le choix de faire leur thèse dans notre laboratoire malgré les écueils que peut poser en début de carrière de sortir d'un laboratoire non disciplinaire ; remercier les collègues impliqués dans d'autres structures et institutions d'avoir souhaité appartenir au laboratoire en tant que membres associés – leur appartenance à EDYTEM au travers de ce statut particulier a été particulièrement importante dans les premiers temps du laboratoire où nous devions nous créer une place dans le paysage scientifique ; enfin remercier celles et ceux qui se sont impliqués au fil des années et des contrats dans le management du laboratoire, que ce soit au niveau des équipes, des plateformes et dans la gestion quotidienne du laboratoire.

Ce numéro de la Collection Edytem est également l'occasion de se souvenir de nos ami(e)s et collègues qui ont disparu et sans qui le laboratoire ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui. Nous pensons ainsi à Laurent Serrurier, Pierre-Louis Guillot, Jean-Paul Rampoux et Françoise Allignol.

Durant ces dix ans et les trois contrats qui nous conduisent jusqu'en 2015, le laboratoire a su créer sa place dans le paysage scientifique national et international. Cette place, il a fallu la construire en bousculant l'ordre et la répartition jusque-là établis, en revendiquant que nous faisons aussi cette recherche là. Il a fallu aussi créer une lisibilité du laboratoire dans une structuration de la recherche qui, tout en prônant les vertus de l'interdisciplinarité, ne nous permettait pas d'être rattaché à différents départements, instituts ou pôles. Les choix d'un rattachement n'ont pas été aisés et ne le restent toujours pas, car, de fait, une part du laboratoire n'est pas pleinement représentée. Nous souhaitons saluer ici la confiance des collègues dans les choix qui ont été fait d'appartenir successivement au département des Sciences Humaines et Sociales (2003-2006), puis au département Environnement et Développement Durable (2007-2010) avant de rejoindre l'Institut Ecologie et Environnement du CNRS alors qu'une part des membres a pleinement sa place dans l'INSU ou l'INSHS. La construction des nouveaux pôles et communautés universitaires oblige de nouveau à des choix qui sont plus d'ordre disciplinaire que d'ouverture. Quels que soient les choix à venir à faire, l'important est et doit rester nos recherches et l'esprit dans lequel EDYTEM a voulu les inscrire, les porter et les revendiquer. Esprit d'ouverture, de respect et de croisement des approches et des regards. Cela a été la marque de fabrique d'EDYTEM durant ces dix dernières années, et nous continuerons, tous ensemble, à œuvrer pour qu'elle le reste dans les années à venir.

*Jean-Jacques DELANNOY (Directeur du laboratoire EDYTEM)
et MM. Serge FUDRAL, Dominique GASQUET et Fabien ARNAUD
(Directeurs adjoints successifs du laboratoire EDYTEM)*

Sommaire

Introduction.

Par JEAN-JACQUES DELANNOY, SERGE FUDRAL, DOMINIQUE GASQUET, FABIEN ARNAUD 2

L'objet emblématique Haute Montagne.

Des parois alpines aux glaciers rocheux andins, une décennie à arpenter les versants et à remonter le temps.

Par PHILIP DELINE, XAVIER BODIN, SYLVAIN COUTTERAND, MARIE GARDENT, SYLVAIN JOBARD,
MELAINE LE ROY, FLORENCE MAGNIN, LUC MOREAU, LUDOVIC RAVANEL 9

L'objet emblématique Systèmes Hydrothermaux.

De l'hydrothermalisme profond aux eaux thermales, une décennie de convergence scientifique.

Par MAGALI ROSSI, CAMILLE DOUBLET, MARC DZIKOWSKI, DOMINIQUE GASQUET,
JEAN-YVES JOSNIN, GILLES MÉNARD, GRÉGOIRE MOMMESSIN, LEÏLA TARRIEU31

L'objet emblématique Karst.

Paysages, mémoires de l'environnement et des hommes, dix années de recherches au laboratoire EDYTEM.

Par JEAN-JACQUES DELANNOY, ÉLISA BOCHE, DIDIER CAILHOL, ISABELLE COUCHOUD,
ÉMILIE CHALMIN, RUSSELL DRYSDALE, MÉLANIE DUVAL, MARC DZIKOWSKI,
CHRISTOPHE GAUCHON, FABIEN HOBLÉA, STÉPHANE JAILLET, VINCENT LIGNIER,
CHARLOTTE MALGAT, CAROLE NEHMÉ, YVES PERRETTE, JÉRÔME POULENARD,
MARINE QUIERS, BENJAMIN SADIÉ51

L'objet emblématique Espaces Protégés.

Jalons d'une réflexion collective sur les choix politiques de naturalité.

Par LIONEL LASLAZ, MÉLANIE DUVAL, CHRISTOPHE GAUCHON, STÉPHANE HERITIER,
LAINE CHANTELOUP, CLÉMENCE PERRIN-MALTERRE, CLAIRE TOLLIS, CAMILLE GIRAULT 85

L'objet emblématique Lacs de Montagne.

L'étude des sédiments lacustres au laboratoire EDYTEM.

Par FABIEN ARNAUD, CHARLINE GIGUET-COVEX, BRUNO WILHELM, JEAN-PHILIPPE JENNY,
PIERRE SABATIER, JÉRÔME POULENARD, MARC DESMET, DIRK ENTERS, SIDONIE RÉVILLON,
LAURENT MILLET, MAXIME DEBRET, CÉCILE PIGNOL, EMMANUEL MALET, BERNARD FANGET107

L'objet emblématique Géopatrimoines.

Évaluer, protéger, valoriser : affirmation d'un champ de recherche transversal et collaboratif.

Par FABIEN HOBLÉA, NATHALIE CAYLA, JOHAN BERTHET, YVES BILLAUD, VINCENT BIOT,
SYLVAIN COUTTERAND, JEAN-JACQUES DELANNOY, DOMINIQUE GASQUET, ANNE GUYOMARD,
LUC MOREAU, VÉRONIQUE PEYRACHE-GADEAU, AMANDINE PERRET, FRANÇOISE PRUD'HOMME,
LUDOVIC RAVANEL, PIERRE RENAU, JOËLLE ROCHAS, BENJAMIN SADIÉ 119

La plateforme CTI3D.

10 années entre cartographie et recherche de la troisième dimension...

Par STÉPHANE JAILLET, ESTELLE PLOYON 143

La plateforme GéMo.

Monitoring, échantillonnage et caractérisation des Géomatériaux.

Par BERNARD FANGET, EMMANUEL MALET, CÉCILE PIGNOL, FAYÇAL SOUFI,
VINCENT BLANC, ANNE-LISE DEVELLE153

Les Bases de Données.

Données géographiques acquises et données produites.

Par ESTELLE PLOYON, CÉCILE PIGNOL, BRUNO GALABERTIER163

L'OBJET EMBLÉMATIQUE HAUTE MONTAGNE

DES PAROIS ALPINES AUX GLACIERS ROCHEUX ANDINS, UNE DÉCENNIE À ARPENTER LES VERSANTS ET À REMONTER LE TEMPS

PHILIP DELINE, XAVIER BODIN, SYLVAIN COUTTERAND, MARIE GARDENT, SYLVAIN JOBARD,
MELAINE LE ROY, FLORENCE MAGNIN, LUC MOREAU, LUDOVIC RAVANEL

Contact : philip.deline@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

La haute montagne associe généralement dans l'imaginaire collectif hauts sommets, versants raides et englacement. Elle est le lieu de l'alpinisme, le territoire du guide "de haute montagne", un espace amplement popularisé par les récits depuis le 18^e siècle, par la photographie dès le milieu du 19^e siècle, et enfin par le cinéma et les grands médias de masse dans la période plus récente. Elle demeure un espace exotique pour l'immense majorité des gens, même si beaucoup parviennent désormais à s'en approcher brièvement, grâce aux téléphériques par exemple, ou plus longuement par la pratique d'activités de loisir. Du point de vue des géosciences, la haute montagne peut probablement être définie par la place qu'y occupe la cryosphère : neige, glace et permafrost (des formations superficielles et des parois rocheuses) y sont non seulement généralement pérennes mais ils conditionnent très largement la dynamique des versants jusque très à l'aval de la "haute montagne".

En tant qu'objet de recherche, la haute montagne ne se limite toutefois pas au système naturel brièvement défini supra. Des approches transversales visent à la comprendre dans sa globalité physique, biotique et anthropique. La haute montagne est en effet un espace qui, de longue date, a fait l'objet de pratiques agropastorales parfois très intensives, et a fourni les ressources hydriques nécessaires aux sociétés montagnardes. De nos jours, la haute montagne se caractérise par une dichotomie en termes de développement, avec d'une part une mise en tourisme localement lourde liée à la forte attractivité des paysages, et d'autre part une exposition élevée aux risques d'origine naturelle. C'est d'ailleurs sur ce couplage naturel/anthropique qu'a commencé à être conçu à partir de 2005 l'un des trois axes trans-

versaux du laboratoire, celui des Systèmes Nivo-Glaciaires (Axe SNG).

Cependant, pour définir la haute montagne comme l'un des objets emblématiques d'EDYTEM, nous retiendrons à ce stade sa seule acception géomorphologique : elle est le géosystème montagnard dont la morphodynamique est principalement contrôlée par la cryosphère et ses dynamiques, dont l'analyse doit combiner des échelles spatiales et temporelles adaptées. Cette définition induit que peuvent être inclus dans la haute montagne les bas de versant – voire les fonds de vallée – lorsqu'ils sont soumis à la dominance géomorphologique de processus caractéristiques de la cryosphère : les vallées bordières du massif du Mont Blanc, dont le fond est par exemple fortement exposé aux avalanches de neige ou de glace, illustrent cette approche.

Dans le contexte actuel du changement climatique planétaire accéléré, qui affecte tout particulièrement les milieux de montagne – et davantage encore la haute montagne –, les efforts du laboratoire EDYTEM pour comprendre la morphodynamique actuelle et passée de la haute montagne participent d'une réponse scientifique à des questionnements et une demande sociétale qui vont croissants et se déclinent en multiples volets : ressources, aménagement, risques, accessibilité, connaissance, protection, mise en valeur...

Ce chapitre se propose de revenir sur les étapes de construction de l'objet de recherche, tant au travers des projets conduits que des membres du laboratoire qui les ont menés. Puis il présentera un panorama succinct mais exhaustif des résultats scientifiques obtenus pendant ces dix dernières années, avant de revisiter l'objet emblématique Haute Montagne à partir des pistes de transversalité possibles.

I - COMMENT LA HAUTE MONTAGNE EST DEVENUE UN OBJET EMBLÉMATIQUE D'EDYTEM ? RETOUR SUR 10 ANS DE CONSTRUCTION (Figure 1)

1 - 2003-2005 : les balbutiements

Le laboratoire EDYTEM n'est évidemment pas parti de rien ! Les travaux d'Alain Marnezy, le Projet Combal relatif aux Paléoenvironnements glaciaires récents, risques associés et évolution du paysage dans le massif du Mont Blanc (programme INTERREG II Alcotra France-Italie) en 1998-2003, la thèse de Philip Deline et sa cooptation au Comitato Glaciologico Italiano en 2002, plusieurs mémoires de master – comme ceux de Caroline Grauer, Morgane Le Darz ou Elsa Scheeck – indiquaient l'intérêt de la petite équipe du LGUS (Laboratoire de Géographie de l'Université de Savoie) pour la haute montagne.

Cette période 2003-2005 est celle d'une accumulation progressive de forces, avec en particulier l'entrée en jeu de nouveaux collègues, étudiants et doctorants. Le recrutement en 2004 de Jean-Pierre Dedieu, CR CNRS spécialiste du suivi des couvertures nivale et glaciaire par imagerie aérienne et satellitaire, et de Stéphane Jaillot, IR CNRS qui, outre ses compétences quant à l'acquisition des données topographiques et cartographiques, s'est rapidement spécialisé dans l'imagerie et les modèles 3D, ont ainsi notablement changé la donne ! Dans le même temps, Sylvain Jobard réalise sa thèse sur Les glaciers du Haut Arc (Savoie) : caractérisation et impacts de la décrue post-Petit Âge Glaciaire (soutenue en 2005), avec la mise en place de l'instrumentation glacio-hydrologique au Baounet (Haute Maurienne), tandis que Christophe Chaix commence la sienne sur la climatologie des versants enneigés. Le master de Marion Guisnet sur les glaciers noirs et les écroulements sur glacier en Vanoise, puis celui de Ludovic Ravanel sur l'écroulement des Drus de juin 2005 dans le massif du Mont Blanc témoignent de l'extension du champ de recherche, tout comme l'accueil en post-doctorat pendant un an de Stephan Gruber, spécialiste du permafrost de montagne (Universität Zürich).

Ces moyens humains ont pu s'appuyer sur l'acquisition de nouveaux instruments de mesure. Après de premières campagnes de mesures au lac du Miage en 2003 et 2004 avec Andrea Tamburini (ENEL Hydro), notre laboratoire a été le premier en France à se doter en 2005 d'un LiDAR terrestre longue portée, ce qui lui a ouvert des horizons de travail remarquables – et pas uniquement en haute montagne. Une plate-forme photogrammétrique destinée à la mesure des dynamiques gravitaire et nivo-glaciaire en montagne est acquise la même année via le BQR Uds/APS (projet PHOTOgraMONT), tandis que l'achat des premiers GPS différentiels en 2004 et d'une sonde à vapeur Heuck en 2005 permet le démarrage de l'étude de la dynamique de la couverture supraglaciaire du gla-

cier d'Estelette (massif du Mont Blanc) avec Martin Kirkbride (University of Dundee). Enfin, l'installation par S. Gruber des 4 premiers capteurs de température de surface sur les parois de l'Aiguille du Midi en novembre 2005 inaugure un site qui deviendra majeur pour l'étude du permafrost alpin.

Dès cette époque, EDYTEM vient également appuyer les travaux de recherche sur la haute montagne d'autres laboratoires : ainsi, la thèse de Xavier Bodin (U. Paris-Diderot Paris 7) sur la dynamique des glaciers rocheux dans le massif du Combeynot (Hautes Alpes) bénéficie des compétences de chercheurs du laboratoire et de celles de la plate-forme technologique (S. Jaillot et Estelle Ployon) pour la cartographie et les levés 3D (dGPS, LiDAR).

Ces premières années permettent également d'établir des collaborations internationales formalisées de 2003 à 2005 dans le projet RockSliDetec – Développement d'outils méthodologiques pour la détection et sur la propagation des grands écroulements rocheux, (programme INTERREG III France-Italie.). P. Deline et Philippe Schoeneich contribuent à la constitution d'un catalogue des principales avalanches rocheuses ayant affecté les Alpes durant les derniers siècles, tandis que François Amelot étudie à l'occasion de sa thèse les grands écroulements rocheux qui ont affecté les massifs calcaires subalpins. C'est aussi à partir de 2004 – suite aux nombreux écroulements en haute montagne pendant l'été caniculaire de 2003 – qu'est préparé le projet PERMAdataROC – Elaboration d'une base de données et expérimentation de méthodes de mesure des mouvements gravitaires et des régimes thermiques des parois rocheuses de haute montagne caractérisées par le permafrost (programme INTERREG III France-Italie) qui associe à EDYTEM la Fondation Montagne Sûre (FMS), l'ARPA Vallée d'Aoste et le CNR-IRPI.

En marge des activités de recherche alpines, S. Jobard et X. Bodin participent à la campagne 2003 de la Section Alpes Occidentales de l'International Glaciological Society, menée en Alaska et au Yukon par F. Valla, G. Bocquet et D. Fabre. Cette excursion permet à ces deux doctorants de parfaire leur expérience sur des terrains impressionnants, autant par l'ampleur des glaciers et des glaciers rocheux rencontrés que par les contrastes entre versants maritimes et continentaux.

Ce dynamisme explique qu'en 2005, dans la perspective du Quadriennal 2007-2010, est lancée une réflexion sur la création au sein du labo d'un axe transversal, dénommé Systèmes Nivo-Glaciaires, qui permet aux membres du laboratoire travaillant sur cette thématique d'échanger afin de favoriser de nouveaux projets de recherche. Elle permet également l'organisation en juin 2005 de l'excursion annuelle

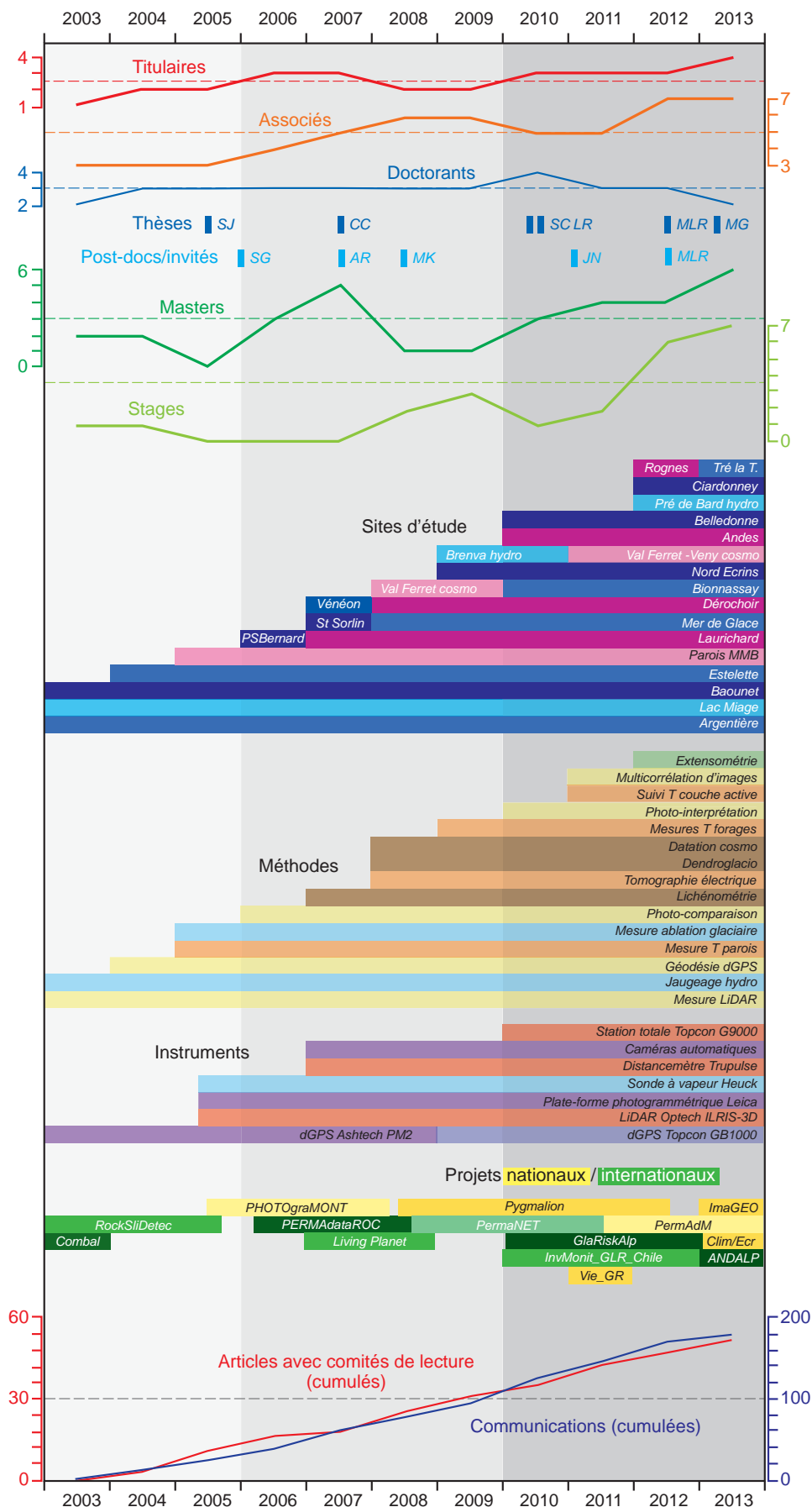


Figure 1 - Courbes de la progression de différents indicateurs concernant l'objet emblématique Haute Montagne du laboratoire EDYTEM.

de l'AFEQ (Association Française pour l'Etude du Quaternaire), en collaboration avec le Dipartimento Scienze della Terra de l'Università di Torino (Marco Giardino) ; pendant trois jours, 75 collègues français et italiens parcourent le thème du *Quaternaire des vallées alpines - Fronts glaciaires, mouvements de versant et comblements alluviaux dans les vallées de l'Arve, d'Aoste et de Suse*, avec le n° 3 de la Collection EDYTEM pour livret-guide.

2 - 2006-2009 : la consolidation

Cette seconde période s'est ouverte avec le recrutement de Françoise Allignol, CR CNRS qui travaille sur l'évolution des risques et des paysages de montagne. Presque immédiatement, elle coordonnera une étude intégrée et pluridisciplinaire du bassin versant du Vorz (Belledonne) suite à une crue catastrophique survenue en 2005.

Fondée principalement sur des campagnes annuelles de mesures LiDAR et la mise en place d'un réseau d'observateurs des écroulements dans le massif du Mont Blanc, la participation d'EDYTEM à PERMAdataROC (2006-2008) bénéficie du post-doctorat d'Antoine Rabatel (2007) et du travail de master 2 de L. Ravanel sur l'analyse multi-méthodes des écroulements rocheux (2006-2007). D'autres travaux de master sont réalisés pendant ces années (N. Constantini, S. Quenard, X. Fossorier, P. Pillon, R. Mazué, H. Faup), en particulier ceux de Melaine Le Roy sur les fluctuations de glaciers du Vénéon (Oisans) depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (2005-2007) et de Marie Gardent sur la couverture détritique de deux glaciers des Écrins (2008-2009). Le nombre de stages d'étudiants généralement extérieurs à l'UdS s'accroît également (M. Plane, Y. Eglin, C. Amory, L. Decaux, H. Sevestre), avec en particulier ceux de Velio Coviello sur la modélisation topographique 3D de l'Aiguille du Midi (2008) et d'Audrey Hartbrot sur les données météorologiques dans le massif du Mont Blanc (2008).

Outre la soutenance de la thèse de C. Chaix *Climatologie hivernale des versants alpins (Savoie) : types de temps, températures et vents. Analyse des données météorologiques des domaines skiable (novembre 2007)* – X. Bodin soutenant la sienne en décembre 2007 (Paris 7 / IGA) *Géodynamique du pergélisol de montagne : fonctionnement, distribution et évolution récente, l'exemple du massif du Combeynot (Hautes Alpes)* – trois doctorants débutent leur thèse pendant cette période : Sylvain Coutterand en 2006, L. Ravanel en 2007 et de M. Le Roy en 2008. Enfin, M. Kirkbride est chercheur invité de l'UdS pendant trois mois en 2008 afin de développer la collaboration et les travaux de recherche sur le glacier d'Estelette.

A cette époque, l'instrumentation de l'Aiguille du Midi prend son envol avec PERMAdataROC puis PermaNET (programme de Coopération Territoriale

Européenne Espace Alpin) qui, associant 14 partenaires autrichiens, italiens, suisses, allemands et français, débute en 2008 : levé topographique du site avec le LiDAR terrestre, capteurs de température de surface complémentaires et stations météorologiques automatiques en 2006, tomographique électrique annuelle à partir de 2008 en collaboration avec Michael Krautblatter (Universität Bonn), mise en place de chaînes de thermistors dans trois forages de 10 m à l'Aiguille du Midi en collaboration avec Jeannette Noetzi et S. Gruber (Universität Zurich) (Figure 2). Ainsi, outre le fait qu'elle a permis d'avancer sur l'étude géomorphologique des écroulements en parois rocheuses d'altitude, la combinaison de collaborations nouées dans ces projets de recherche, de nouveaux instruments et de jeunes chercheurs permet d'envisager une nouvelle étape pour le laboratoire, celle de l'étude du permafrost de paroi lui-même. Cette époque est d'ailleurs celle de l'émergence de PermaFrance, réseau d'observation et de suivi du permafrost de montagne français, des phénomènes liés au gel et des processus périglaciaires associés. S'inspirant du réseau suisse PERMOS, PermaFrance vise à fédérer, au sein d'une structure de type SO (Système d'Observation ; son dépôt à l'ANR en 2006 puis 2007, et en dossier SOERE en 2011 n'ayant pas abouti) les observations et suivis menés à EDYTEM avec ceux conduits par d'autres laboratoires, en particulier à l'Institut de Géographie Alpine (UJF, Grenoble) et au laboratoire PRODIG (U. Denis-Diderot Paris 7) sur les glaciers rocheux.

En 2007 est créé l'axe transversal SNG, avec deux objectifs principaux : (i) stimuler les échanges et collaborations entre les membres des trois équipes du laboratoire qui travaillent sur la haute montagne et la neige ; (ii) accroître la visibilité du laboratoire auprès de la communauté scientifique française et étrangère, des décideurs et du grand public. Cet axe trouve son expression dans la publication en juin 2009 du n° 8 de la Collection EDYTEM, *Neige et glace de montagne - Reconstitution, dynamique, pratiques*, qui comprend 21 contributions (et près de 250 pages !), à l'occasion de l'assemblée générale du laboratoire hors les murs organisée au même moment à Chamonix.

3 - 2010-2013 : la montée en puissance

a - Renforcement du groupe HM

Du point de vue de l'objet emblématique Haute Montagne, cette dernière période est bornée par le recrutement de deux CR CNRS : X. Bodin en 2010, spécialiste de la dynamique du permafrost des formations superficielles et en particulier des glaciers rocheux, puis L. Ravanel en 2013, qui étudie les instabilités liées à la dégradation du permafrost de paroi.

Entre 2010 et 2013, quatre thèses ont été soutenues : celles de S. Coutterand en juin 2010, *Étude*



Figure 2 - L'Aiguille du Midi (3842 m) vue depuis l'est. L'un des forages pour le suivi de la température de la roche est situé en contrebas de la passerelle de gauche (photo S. Gruber).

géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation (Prix d'Innovation de thèse 2012, de la Société de Géographie) ; de L. Ravelin en décembre 2010, *Caractérisation, facteurs et dynamiques des écoulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc* (Prix de thèse 2011 du Comité National Français de Géographie, Prix des Géosciences 2012 de la Fédération Française des Géosciences), de Thierry Barth en mars 2012, *Modélisation et instrumentation des processus hydrométéorologiques sur les bassins versants de montagne - Application au bassin versant du Vorz*, et de M. Le Roy en mai 2012, *Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes occidentales - Apports de la dendrochronologie et des datations par isotopes cosmogéniques produits in situ*.

Deux thèses ont également débuté pendant cette période :

- celle de M. Gardent sur l'inventaire des extensions post-Petit Âge Glaciaire des glaciers français s'inscrit dans le projet GlaRiskAlp – Risques gla-

ciaires dans les Alpes occidentales (programme ALCOTRA France-Italie) qui associe à EDYTEM le LGGE, GIPSA Lab et le LISTIC d'une part, la FMS, l'ARPA VdA et le CNRS-IRPI d'autre part ;
 – poursuivant les travaux réalisés lors de son master (2009-2011), la thèse de Florence Magnin, financée par la région Rhône-Alpes (CIBLE PermAdM, 2011-2014), s'emploie à mesurer et modéliser le permafrost dans les parois rocheuses du massif du Mont Blanc. Elle s'appuie sur les données de l'Aiguille du Midi tout en bénéficiant de nombreuses collaborations, en particulier celle de J. Noetzli (Universität Zurich), chercheuse invitée CNRS pendant trois mois au labo en 2010-2011.

D'autres travaux de master sont réalisés pendant cette période (J. Bret, B. Martin, M. Fourquet, G. Davesne, J. Duroule, N. Perrel, P.-A. Duvillard, M.-L. Rosner, C. Barachet, S. Schiavone, G. Anetas), auxquels s'ajoutent ceux de nombreux stagiaires (T. Ruhl, R. Renou, S. Barth, L. Decaux, R. Bernard, M. Malhière, F. David, T. Arfi, A. Long, J. Magnin, J. Paget, C. Meyer, S. Hanoux), comme en particulier C. Grange et B. Deroux dont les Projets de fin d'études d'ingénieur portent sur l'utilisation de la lasergram-

métrie terrestre pour l'étude, respectivement, de l'évolution de la falaise de glace du lac du Miage dans le massif du Mont Blanc (2011) et des champs de déplacement du glacier rocheux du Laurichard dans les Hautes-Alpes (2012).

b - « Extension du domaine de la lutte [scientifique] »

En parallèle au renforcement de l'équipe, le champ de recherche concernant la haute montagne s'est étendu à plusieurs thématiques nouvelles au cours de ces dernières années :

- la compréhension du contrôle glaciaire de l'hydrologie et du bilan sédimentaire du glacier de Pré de Bard (Val Ferret), préparée par l'installation en 2012 d'une station de jaugeage sur l'émissaire ;
- la quantification des champs de déformation des glaciers rocheux, à haute résolution spatiale et

temporelle, en cours grâce à l'emploi de l'imagerie terrestre automatique sur le site de Laurichard (Hautes Alpes) en collaboration avec le LISTIC, couplée avec les dispositifs déjà en place de suivi par GPS permanent (parc INSU) ;

- la compréhension du fonctionnement géomorphologique des déstabilisations de glaciers rocheux, en lien avec leurs causes climatiques, géologiques ou hydro-nivo-météorologiques, en particulier au travers de collaborations à l'étranger (Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, University of Waterloo au Canada, IRD en Bolivie, et Pontificia Universidad Católica de Chile) ;
- l'inventaire et la cartographie des glaciers rocheux, à la fois dans les Alpes françaises (collaboration avec P. Schoeneich et les services RTM) et dans les Andes (Altiplano bolivien, Andes centrales du Chili), qui visent à aborder un aspect peu

LA HAUTE MONTAGNE VULGARISÉE

Depuis 10 ans, les chercheurs du laboratoire EDYTEM découvrent et tentent d'expliquer nombre de facettes de la haute montagne. Certains d'entre eux ont particulièrement à cœur la diffusion pédagogique des connaissances, afin d'accompagner l'attrait qu'exercent les paysages de haute montagne sur un public toujours plus nombreux depuis la seconde moitié du 18^e siècle.

Les glaciers étant le symbole par excellence de la haute montagne alpine, c'est tout naturellement que ces objets ont eu et continuent à avoir la faveur du grand public. Actuellement soumis à un fort retrait, ils sont expliqués par les chercheurs lors de nombreuses conférences, de séminaires d'entreprise, d'événements (Figure a). L'évolution de certains hauts lieux du « tourisme glaciaire » a même conduit leurs gestionnaires à employer des scientifiques pour expliquer aux visiteurs les raisons, les processus et les enjeux de ce retrait. C'est le cas dans le massif du Mont Blanc par exemple. Au Montenvers/Mer de Glace depuis 2009, à l'Aiguille du Midi ou au glacier des Bossons, des *edytémien*s accompagnent régulièrement scolaires et groupes à la découverte des glaciers et des parois rocheuses. D'autres chercheurs du laboratoire en font de même dans d'autres massifs et vallées sur d'autres thématiques.

Les chercheurs haute montagne du laboratoire sont régulièrement accueillis dans les journaux télévisés de 20 h, quotidiens nationaux et régionaux, presse de montagne ou émissions de radio, où ils diffusent plus largement certains de leurs résultats. Des



Figure a - Conférence en plein air sur la terrasse du Montenvers, devant la Mer de Glace.

reportages complets leur sont parfois consacrés (*Ça chauffe sur les Alpes* sur France 3, *Les moulins de la Mer de Glace* sur ARTE, *Les Alpes* sur France 5...).

Complétant cette présence dans les médias, des expositions publiques ont été montées. À Chamonix, Luc Moreau et Sylvain Coutterand ont été les conseillers scientifiques de l'exposition *Des glaciers et des hommes* (Figure b) installée au cœur de la ville en 2007 et dont le succès a entraîné son prolongement jusqu'en 2011. L. Moreau est également le référent scientifique du *Glaciorium* établi au Montenvers depuis 2012 (Figure c) et l'un des membres du comité scientifique de l'exposition *Glacialis* à Champagny-en-Vanoise. Amandine Perret, Anne Guyomard et Sylvain Coutterand ont réalisé dans le cadre du Geopark Chablais l'exposition itinérante *Patrimoine glaciaire des 3 Chablais*, présentée de 2012 à 2014 (Figure d).

Enfin, plusieurs ouvrages ont été publiés sous la direction ou avec la contribution de membres « haute montagne » du laboratoire : *Dans le secret des glaciers du Mont-Blanc* (Glénat, 2000), *Voyage dans les glaces* (La Martinière, 2002), *Pralognan, capitale de la Vanoise* (L'Édélweiss, 2007), *Les plus beaux paysages du Pays du Mont-Blanc* (MRSN Saint-Pierre/CNM Sallanches, 2008), *Glaciers, mémoire de la planète* (Hoëbeke, 2009), *Mer de Glace - Art et Science* (Esopé, 2012).

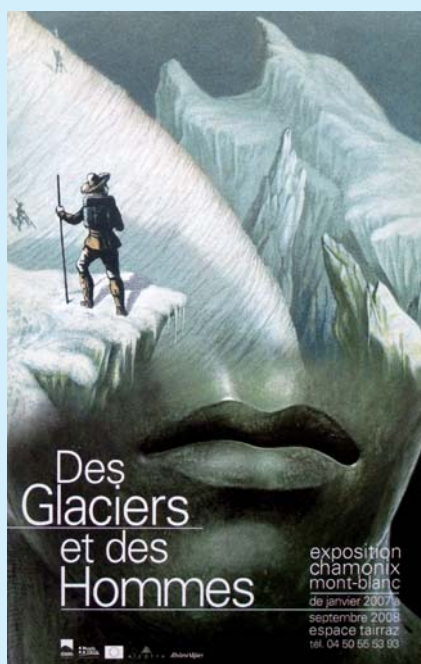


Figure b - Affiche de l'exposition présentée à Baie Comeau (Québec) en 2013.

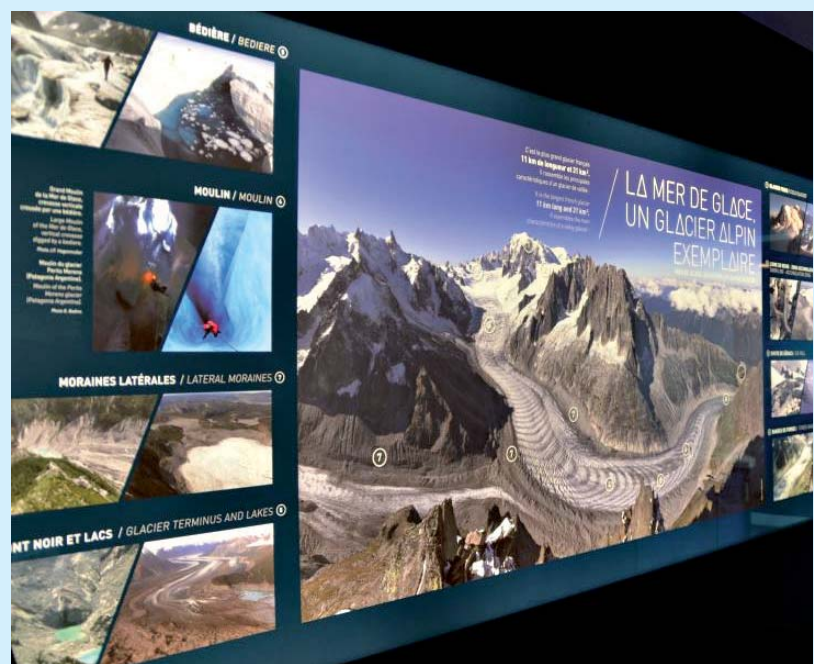


Figure c - Un panneau du Glaciorium, espace de découverte des glaciers au Montenvers.



Figure d - Exposition itinérante Patrimoine glaciaire des 3 Chablais, installée au Musée Historique du Chablais à Vouvry (Suisse) en 2012.

connu de la cryosphère : la distribution et le fonctionnement du permafrost des hautes montagnes sous différents types de climats ;

- afin d'estimer la fréquence et l'intensité des écroulements en haute montagne pendant la période post-glaciaire, des campagnes de datation par isotopes cosmogéniques sont conduites dans le massif du Mont Blanc, sur des dépôts d'écroulements majeurs d'une part (collaboration avec l'Université de Berne et l'ETH Zürich), sur les niches d'arrachement de plusieurs parois d'altitude d'autre part (collaboration avec l'Universität Zürich) ;
- plusieurs campagnes de tomographie électrique ont été réalisées en 2012 dans le massif du Mont Blanc, dans des marges proglaciaires et sur glacier rocheux en collaboration avec l'UNIL et l'IGA (Rognes/Pierre Ronde/Dérochoir) comme sur plusieurs parois rocheuses subverticales ;
- des extensomètres à transmission automatique GSM installés en 2012 en collaboration avec l'ETH Zürich ont complété l'instrumentation de l'Aiguille du Midi ;
- fondée sur la collecte d'une grande masse de données pendant près de dix ans, l'étude de la dynamique de la couverture détritico-supraglaciaire d'Estelette porte ses premiers fruits ;
- enfin, la réalisation de l'inventaire exhaustif et à haute résolution de l'extension actuelle des glaciers des Alpes françaises a été l'occasion d'amorcer la réflexion sur la reconnaissance des aléas d'origine glaciaire susceptibles de se produire dans le contexte d'un retrait glaciaire qui va s'accéléralant.

Les activités du laboratoire en termes d'observation de la cryosphère se sont traduites, depuis 2010, par son implication dans plusieurs demandes de labellisation du réseau *PermaFrance* auprès du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche puis d'ALLENVI en tant que SOERE puis SO. Si ces demandes n'ont pas encore été couronnées de succès, la participation du laboratoire au GTN-P (*Global Terrestrial Network for Permafrost*) assure une diffusion et visibilité internationales de nos données collectées sur le permafrost dans les parois d'altitude et le substratum profond et sur les glaciers rocheux.

La reconnaissance des compétences du laboratoire sur la dynamique de la cryosphère de montagne s'exprime en outre par exemple dans l'invitation à participer en 2012 au séminaire MEDDTL/PARN sur la gestion des risques d'origine glaciaire et périglaciaire visant à établir un programme d'actions à conduire pour l'amélioration de la gestion de ces risques, ou – à un autre niveau – dans la co-organisation en 2010 d'un atelier de la plate-forme de recherche VOR

(Vulnérabilité des Ouvrages aux Risques) sur les risques naturels dans le massif du Mont Blanc.

Les collaborations prennent des formes inédites : fort de son expérience au Baounet, S. Jobard prête assistance à la SMI (*Società Meteorologica Italiana*) pour l'instrumentation du glacier du Ciardonney (massif du Grand Paradis), tandis qu'un projet d'ouvrage sur la Mer de Glace entrepris depuis plusieurs années avec des collègues de l'Université de Berne et du LGGE a trouvé son aboutissement en décembre 2012 avec la publication de *Mer de Glace - Art et science* (Éditions Ésope). De même, la nomination de X. Bodin comme secrétaire de l'AFDP (Association Française du Périglaciaire) en 2012 a transféré au laboratoire la responsabilité de la revue annuelle *Environnements périglaciaires* (sa mise en page étant assurée par André Paillet, ingénieur d'étude au laboratoire), par laquelle cette vénérable institution de la recherche française sur les milieux froids diffuse des travaux scientifiques – en particulier d'étudiants de master et de doctorat.

4 - Petit bilan transitoire...

Ainsi, à travers les glaciers rocheux et les parois d'altitude, le laboratoire étudie désormais les deux principales formes du permafrost de haute montagne et leur dynamique. Dans le contexte du changement climatique actuel, celle-ci se traduit de manière croissante par des déstabilisations dont les conséquences en termes de risques restent généralement insuffisamment prises en compte. Par ailleurs, au-delà de la reconstitution des fluctuations glaciaires depuis le Dernier Maximum Glaciaire (Würm) et de l'inventaire de l'extension actuelle des glaciers français, la question des aléas d'origine glaciaire a commencé d'être prise en compte, tant au sein d'EDYTEM qu'auprès des gestionnaires du territoire.

Le bilan général de l'activité déployée au sein du laboratoire autour de l'OE Haute Montagne depuis 2003 est donc très positif : consolidation de recherches (e.g. reconstitution des fluctuations glaciaires), ouverture de nouveaux champs (e.g. permafrost), introduction de nouvelles méthodes (e.g. dendroglaciologie), prise de risque pour l'instrumentation de sites à fortes contraintes environnementales et logistiques, développement de collaborations nationales et internationales, participation à projets, approfondissement du couplage entre travail de terrain et élaboration théorique, ouverture sur la société, le tout permis par un accroissement très sensible des moyens humains et matériels qui ressort largement de l'attractivité du laboratoire en général et de l'OE Haute Montagne en particulier.

II - COMPRENDRE LA HAUTE MONTAGNE À EDYTEM : 10 ANS DE RECHERCHE ET DE RÉSULTATS

Notre logique de présentation des différents champs de recherche couverts par l'OE Haute Montagne sera dictée par l'étagement des processus le long des versants – malgré l'effet de la dominance morphodynamique sur cet étagement. En conséquence, après avoir exposé nos recherches sur les écroulements, en particulier ceux qui affectent les parois à permafrost, nous descendrons dans l'étage des glaciers et des glaciers rocheux. Ce tableau concernant la cryosphère sera complété par la présentation des recherches sur la neige et l'hydrologie d'origine glaciaire.

1 - De l'étude géomorphologique des dépôts des grands écroulements rocheux à celle de l'instabilité des parois rocheuses à permafrost

Dans les fonds de vallée, ce sont les dépôts résultant de grands écroulements rocheux qui ont fait l'objet des premières études. Mais celles-ci se sont rapidement intéressées aux éboulements et écroulements affectant les parois de haute altitude qui, souvent beaucoup moins volumineux, sont en revanche beaucoup plus fréquents.

a - De la nécessité d'articuler l'approche géomorphologique avec la datation cosmogénique pour étudier les dépôts des grands écroulements

Dans la continuité des recherches menées sur le versant italien du massif du Mont Blanc par P. Deline (2002), les dépôts d'écroulements rocheux ayant parcouru deux glaciers de Vanoise sont étudiés par M. Guisset dans le cadre de son master (2003-04). Ainsi, le secteur de Rocafort (vallée d'Avérole en Haute Maurienne) a-t-il été affecté par de grands écroulements à trois reprises au moins à la fin du Tardiglaciaire et pendant l'Holocène, dont l'un s'est propagé sur le glacier de l'Albaron avant de déposer 4 millions de m³ de matériel rocheux.

Mais c'est la mesure de l'âge d'exposition de surface au moyen de la datation par isotopes cosmogéniques (¹⁰Be) produits *in situ* qui a permis récemment d'améliorer considérablement nos connaissances sur la fréquence des écroulements sur le versant SE du massif du Mont Blanc. Dans le cas du dépôt du Haut Val Ferret, cette approche a même permis de reconnaître l'extension exacte du dépôt de l'écroulement qui a parcouru le glacier de Triolet en 1717, tout en confirmant cette date rapportée dans des documents historiques. Ces datations cosmogéniques sont réalisées depuis 2008 en collaboration avec Naki Akçar (Université de Berne) et Susan Ivy-Ochs (ETH Zürich).

Outre le dépôt du Triolet, elles concernent ceux d'un grand écroulement sur le glacier de Frébouge (vers 700 AD) et de très grands écroulements (> 2 millions de m³) ayant affecté, entre 2500 et 4000 BP puis vers le 13^e siècle, le bassin de la Brenva – caractérisé par l'une des plus fortes fréquences de grands écroulements dans les Alpes.

b - L'instabilité des parois rocheuses à permafrost : de l'étude de la fréquence des écroulements à celle du permafrost

La fréquence des écroulements semble s'être accrue ces dernières décennies en raison du réchauffement climatique. Mais sans étude approfondie, il restait difficile d'évaluer les véritables effets de ce réchauffement. Une étude basée sur la comparaison de photographies depuis la fin du Petit Âge Glaciaire de deux secteurs emblématiques du massif du Mont Blanc a permis de vérifier cette recrudescence. Les secteurs qui ont été retenus sont la face ouest des Drus (3754 m) et le versant nord des Aiguilles de Chamonix (massif du Mont Blanc), pourvus d'une importante documentation photographique dès les années 1860. Une cinquantaine d'écroulements a ainsi été relevée avec des volumes compris entre 500 et 265 000 m³. Ces écroulements se distribuent de manière très hétérogène tout au long du dernier siècle et demi, avec une très nette augmentation ces deux dernières décennies. Le facteur température apparaît alors tout à fait fondamental dans le déclenchement des écroulements ; la simultanéité entre les écroulements et les périodes les plus chaudes en est la preuve. En partenariat avec l'Universität Zürich (post-doctorat de L. Ravanel), une étude visant à dépasser l'échelle séculaire et basée sur la mesure du temps d'exposition des parois au rayonnement cosmique est actuellement en cours. Ce travail sur une vingtaine d'échantillons recueillis sur plusieurs parois du massif du Mont Blanc en 2011 fait suite à une étude-test effectuée par Ralph Böhlert à l'Aiguille du Midi en 2006.

Parmi les facteurs de déclenchement les plus vraisemblables, la dégradation du permafrost devait dans un second temps être testée en priorité dans la mesure où elle pouvait logiquement constituer le lien physique entre réchauffement climatique et écroulements. Pour cela, un réseau d'observateurs (guides, gardiens de refuge, secouristes) a été constitué dans le massif du Mont Blanc dès 2005, afin de recueillir des données exhaustives sur les écroulements et en tirer des généralités qui renforceraient ou infirmeraient l'hypothèse du permafrost. Opérationnel depuis 2007, ce réseau a permis de recenser plus de 250 écroulements entre 2007 et 2011 auxquels s'ajoutent 182 écroulements relevés sur une image satellite SPOT. L'analyse de

l'ensemble de ces données sous SIG pointe clairement la dégradation du permafrost comme principal facteur de déclenchement.

Alors que l'étude quantitative et qualitative des vulnérabilités présentes en contexte de permafrost dans les Alpes françaises, dimension longtemps ignorée, a commencé à être étudiée au laboratoire (master de P.-A. Duvillard, suite au stage de M. Malhière), un troisième palier dans la compréhension de la dynamique des parois rocheuses de haute montagne concerne l'étude du permafrost lui-même.

La présence et l'évolution de ce dernier sont principalement contrôlées par le climat, d'autant plus en milieu de haute montagne, caractérisé par des versants raides, non végétalisés et faiblement enneigés où les parois sont en contact quasi-direct avec l'atmosphère. Toutefois, nos connaissances restent limitées, autant du fait de la jeunesse du champ de recherche qui n'a commencé qu'au début des années 2000 (travaux de S. Gruber) que de la difficulté à instrumenter et maintenir des systèmes de suivi en haute montagne.

Premier apport des mesures effectuées à l'Aiguille du Midi (3842 m), les huit capteurs de température de surface révèlent un écart moyen pouvant atteindre 8°C entre les expositions N et S, soit l'équivalent de 600 m de dénivellation. En termes de distribution spatiale, un premier modèle statistique de la température annuelle moyenne de surface à l'échelle du massif du Mont Blanc qui applique une procédure de modélisation statistique développée à l'Universität Zurich (travaux de L. Boeckli) a été réalisée sur un MNT de résolution 4 m. La distribution de l'isotherme annuelle 0°C en surface issue du modèle est hautement variable en fonction de l'exposition, de l'angle de pente et l'ombrage local. Il peut descendre jusqu'à 2700-2800 m dans les faces très ombragées (au pied des Aiguilles de Chamonix par exemple), et se situe vers 3400-3500 m dans les faces Sud. Le modèle est calibré à l'échelle des Alpes, et bien qu'une calibration à l'échelle locale soit en cours, cette première simulation validée par les données de température relevées à l'Aiguille du Midi suggère que le permafrost dans le massif du Mont Blanc pourrait s'étendre sous des surfaces dont la température avoisinerait 3°C en versants ensoleillés et 1°C pour les faces les plus ombragées. Ces hypothèses sont en cours de validation à partir de mesures de résistivité électrique effectuées ponctuellement sur plusieurs sites du massif où la température de surface de paroi modélisée est proche du point de fusion de la glace.

Les trois forages de 10 m, installés depuis décembre 2009 dans les parois Sud, NE et NW de l'Aiguille du Midi, permettent d'envisager certaines des réponses possibles du permafrost de paroi au climat. Des données de températures extraites de ces forages, deux variables retiennent particulièrement notre attention : la formation de la couche active (couche superficielle de la paroi qui gèle et dégèle saisonnièrement), et l'évolution de la température du permafrost en pro-

fondeur. Ainsi, au cours des trois années de données disponibles pour les 3 forages, la couche active tend à s'approfondir et la température à 10 m de profondeur à augmenter : + 0,65 m et + 0,4°C, respectivement, au NW entre 2010 et 2012.

Bien que ces observations semblent fortement corrélées à la température de l'air, d'autres paramètres tels la neige, la fracturation et son contenu (eau, glace, air) semblent jouer un rôle d'importance dans la réponse thermique des parois au signal climatique. La compréhension systémique des processus impliqués dans la dégradation du permafrost, est le principal défi actuel du champ de recherche pour mieux comprendre ses interactions avec les variables climatiques et son action dans le déclenchement d'écroulements

2 - La dynamique des glaciers rocheux alpins et andins : comment la glace enfouie dans les versants détritiques réagi-t-elle au réchauffement climatique ?

Relier la morphologie d'un versant avec sa dynamique, discerner son origine et interpréter son évolution, tout en évitant de se perdre dans le labyrinthe des échelles spatiales et temporelles, sont des exercices géomorphologiques qui peuvent être pleinement satisfaits en observant les paysages de montagne, et plus particulièrement les glaciers rocheux.

C'est pourquoi ces formes très courantes des hautes montagnes peu ou pas englacées constituent depuis plusieurs décennies un objet d'étude intrigant pour les géomorphologues. L'esthétisme étonnant, à la fois minéral et, en apparence, figé, des bourrelets de fluage (Figure 3) qui tapissent de très nombreux vallons a peut-être autant excité les esprits que les difficultés à véritablement percer leurs secrets.

L'enjeu est en outre devenu d'autant plus important ces dernières années que les réponses que semblent avoir les glaciers rocheux face au changement climatique remettent en cause de vieux préjugés, selon lesquels ces formes devraient décrépir en phase de réchauffement. Or, les observations et les mesures des dernières décennies montrent que la dynamique des glaciers rocheux s'est modifiée : de très nombreuses accélérations ont été constatées dans les années 1990 (par ex. Bodin et *al.*, 2009) ainsi que des signes de déstabilisation, tels que des crevasses voire des effondrement (Bodin et *al.*, 2012).

a - Distribution, état et fonctionnement des glaciers rocheux dans les Alpes françaises

A l'échelle d'un massif de taille modeste mais présentant, dans une lithologie homogène, des glaciers rocheux aux altitudes et orientations variées, la thèse de X. Bodin a permis à la fois d'examiner la variabilité des conditions géomorphologiques et topoclimatiques



Figure 3 - Les bourrelets de fluages du complexe de glaciers rocheux du vallon de la Route (Hautes Alpes) illustrent les déformations visco-plastiques subies sur plusieurs millénaires par les accumulations détritiques riches en glace.

contrôlant la présence des glaciers rocheux, et de tester des approches novatrices, comme le LiDAR terrestre pour étudier la dynamique des glaciers rocheux. A l'occasion d'un post-doctorat à l'Université de Lausanne, L. Ravanel a complété ces travaux par des mesures LiDAR sur plusieurs glaciers rocheux du Valais ainsi que sur une moraine à cœur de glace dont la stabilité est remise en question par la combinaison entre dégradation du permafrost et retrait du petit glacier qui l'a mise en place au cours du Petit Âge Glaciaire.

Par ailleurs, l'analyse des données de déplacement annuel du glacier rocheux de Laurichard a révélé les contrôles climatiques, en particulier au travers de l'augmentation des vitesses, observée également sur d'autres glaciers rocheux alpins, au cours de la décennie « chaude » 1990 et le pic thermique de 2003-2004. Ce comportement pose la question de la sensibilité des glaciers rocheux, en particulier de leur dynamique, face au changement climatique, qui implique non seulement des températures plus élevées dans le sol mais également des quantités d'eau liquide plus importantes.

Or, selon des modélisations récentes, basées sur les conditions d'ensoleillement et d'altitude des glaciers rocheux, environ 1200 km² de terrain seraient caractérisés par la présence de permafrost riche en glace dans les Alpes françaises. Dès 2300-2400 m d'altitude en ubac, il est donc possible de rencontrer un permafrost plus ou moins riche en glace dans les formations superficielles : ceci a des répercussions sur les dynamiques géomorphologiques des versants de haute montagne, mais également sur les activités humaines

qui y prennent place. C'est sur ces aspects que le projet *Analyse des risques associés à la dégradation du permafrost dans les Alpes françaises* (Fondation MAIF, 2007-2010) a permis d'instrumenter et d'étudier deux sites naturels et deux sites affectés par des activités anthropiques. Menés par P. Schoeneich, le bureau d'étude SAGE et X. Bodin, ces travaux ont montré que les dynamiques géomorphologiques affectant les versants où sont construites certaines infrastructures (e.g. remontées mécaniques) sont liées à des quantités de glace importantes, dont la température est parfois proche du point de fusion. En parallèle, P. Schoeneich a dirigé entre 2008 et 2010 (projets CIBLE, *PermaNET*) le percement de trois forages verticaux en permafrost sur le domaine skiable des Deux Alpes (Isère). Deux forages de 13-15 m de profondeur en glacier rocheux et un de 100 m dans le substratum rocheux permettent à la fois de suivre les effets du changement climatique actuel sur le long terme et de reconstituer l'évolution climatique passée.

b - Et sous d'autres climats ?

Les glaciers rocheux dans les Andes

En dépit de leur extrême abondance, en particulier dans les zones semi-arides, les glaciers rocheux andins restent relativement peu étudiés. Or, en parallèle de la rétraction des glaciers et du couvert neigeux, les questions de ressources en eau et de risques associées à la dégradation du permafrost vont devenir de plus en plus importantes dans les décennies futures. Des conflits

OBSERVATION ET SUIVI DU PERMAFROST DE MONTAGNE : LES DÉFIS DE L'INSTRUMENTATION ET DE LA MESURE EN MILIEU DIFFICILE

Que cela soit dans les zones circum-polaires ou en haute altitude, le permafrost est un état thermique du sol, invisible dans les paysages. En montagne, il est toutefois révélé par certaines formes, tels que les glaciers suspendus, accrochés aux parois rocheuses gelées, ou les glaciers rocheux, masses fluantes de débris rocheux et de glace de sol.

Mieux comprendre le permafrost de montagne, ses liens avec le climat et les processus géomorphologiques, hydrologiques ou biologiques qui découlent de sa présence nécessite des moyens originaux d'observation et de mesure. Toutefois, l'objet lui-même, enfoui à plusieurs mètres sous la surface, et son environnement, par définition froid, escarpé et éloigné, font de son instrumentation et de sa mesure un véritable défi



LES MESURES EN (QUASI-)CONTINU

Les suivis thermiques effectués par le laboratoire dans le permafrost de montagne (formations superficielles ou parois rocheuses) vont de la sub-surface (Figure a) à la profondeur (Figure b), à un pas de temps généralement horaire.

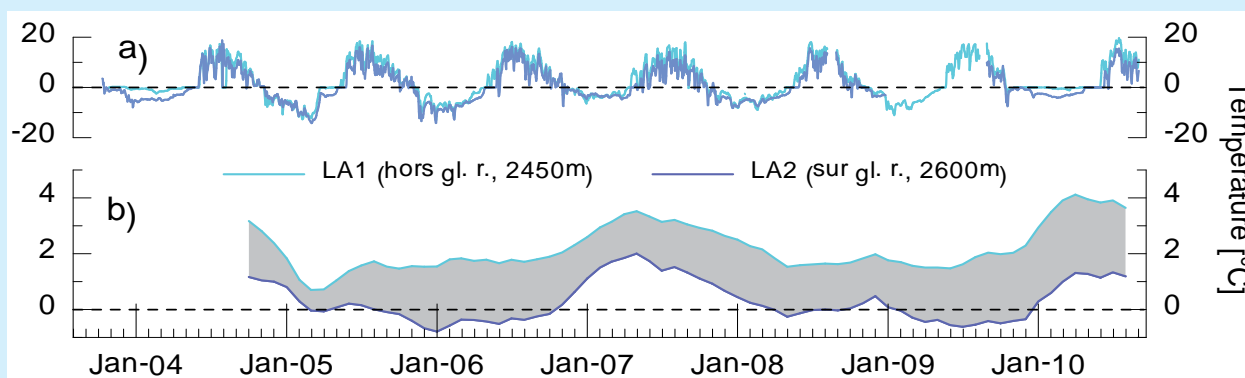


Figure a - Température de surface du glacier rocheux de Laurichard depuis 2003. a) données journalières ; b) moyenne glissante sur 12 mois.

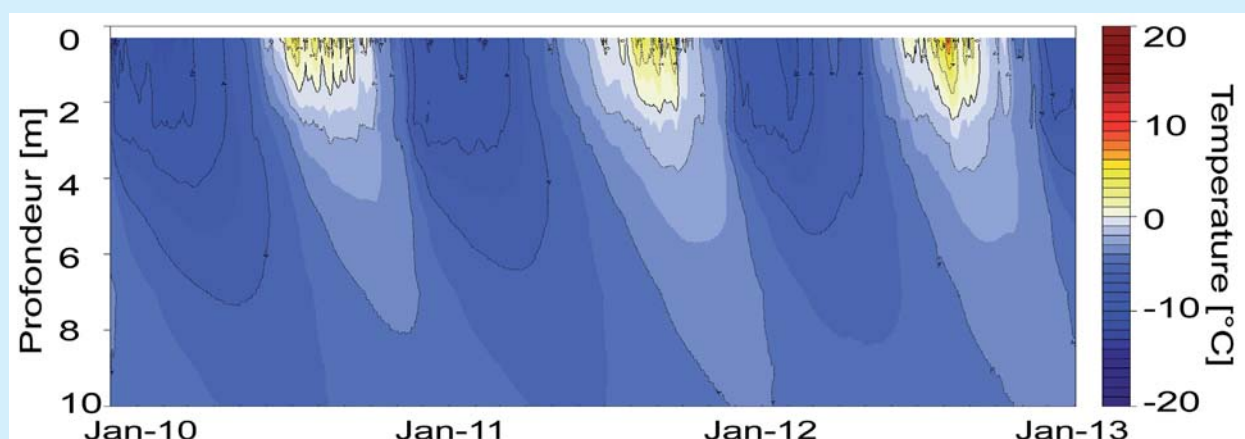


Figure b - Température de la roche dans les dix premiers mètres de la paroi NE de l'Aiguille du Midi en 2010, 2011 et 2012.

LES APPORTS DE LA GÉOPHYSIQUE

La tomographie électrique est de plus en plus employée dans les études sur le permafrost de montagne, entre autres parce que la résistivité des terrains est très fortement conditionnée par la présence de glace dans le sol (Figure c).

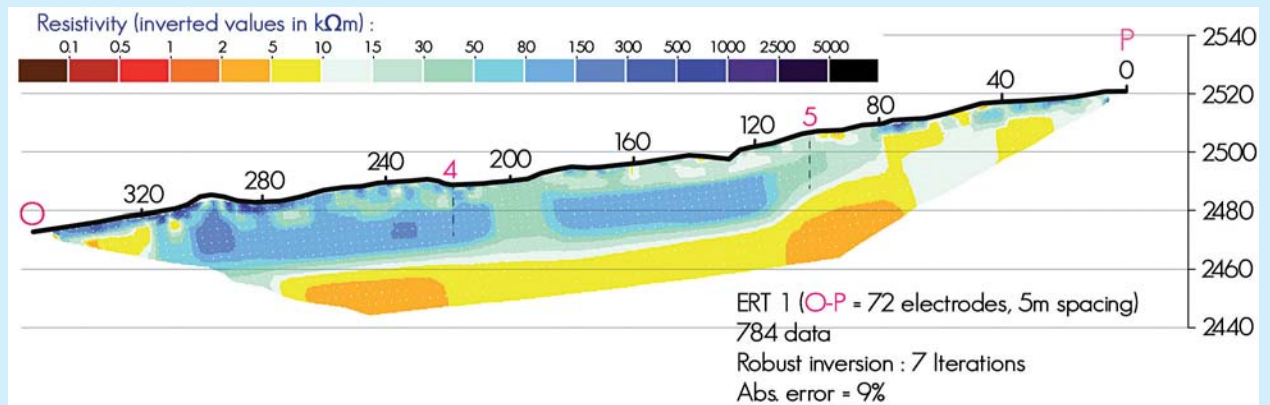


Figure c - Pseudo-section ERT (Electrical Resistivity Tomography, tomographie de résistivité électrique) sur le glacier rocheux du Dérochoir, massif du Mont Blanc, acquise en août 2012. Données non publiées, traitées par J.-B. Bossons, Université de Lausanne.

LA QUANTIFICATION DES DYNAMIQUES DE SURFACE

Les dynamiques géomorphologiques associées au fonctionnement des versants à permafrost peuvent être par la quantification des modifications de leur surface : chute de bloc en paroi (Figure d) ou déplacement d'un glacier rocheux (Figure e).

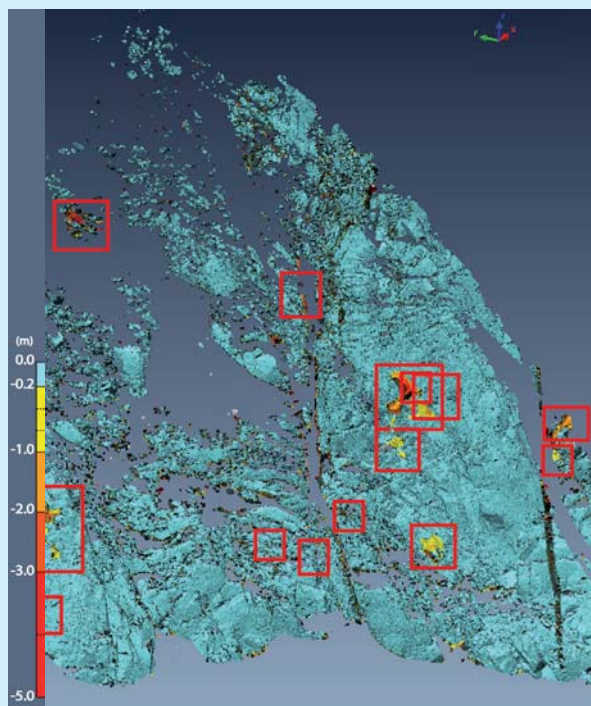
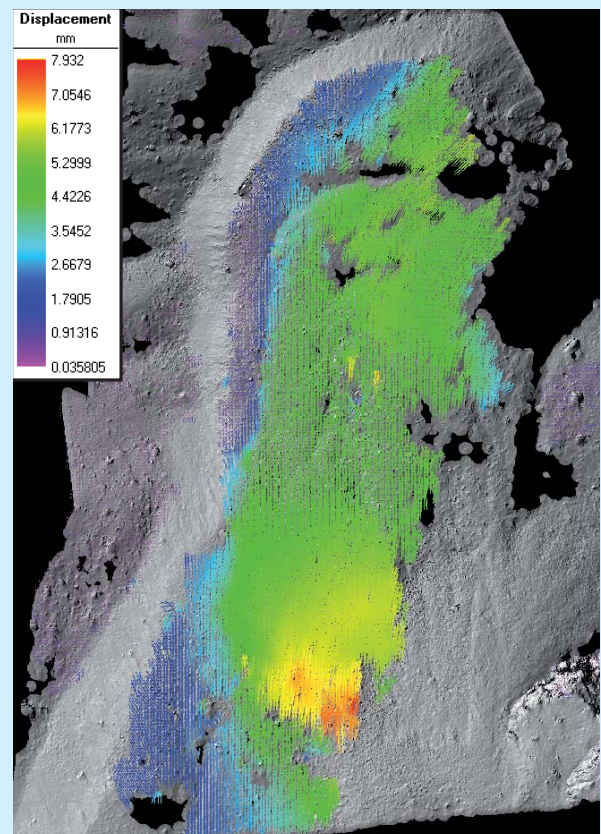


Figure d - Comparaison des modèles 3D acquis par laserscanning terrestre de juillet 2005 et de septembre 2009 de la face est de la Tour Ronde et position des 19 détachements rocheux identifiés (de $1 \pm 0,1$ à $224 \pm 12 \text{ m}^3$) entre les deux dates.

Figure e - Champ de déplacement en surface du glacier rocheux de Laurichard, obtenu par corrélation d'images issues de levés de laserscanning terrestre.



RÉSEAUX DE MESURE ET DE SUIVI

L'activité de suivi et d'observation du permafrost de montagne nécessite la mise en place de réseaux. Ainsi, les travaux sur la dynamique gravitaire des parois du massif du Mont Blanc sont facilités par la participation active de guides de haute montagne et de gardiens de refuge.

Le réseau de mesure et de suivi du permafrost en France, PermaFrance, constitue une initiative des permafrostiens d'IGA-Pacte et d'EDYTEM pour fédérer les efforts de recherche, favoriser le maintien des sites de mesure sur le long terme et mettre à disposition les données recueillies.

dans l'utilisation des ressources et la valorisation des territoires, comme ceux ayant déjà lieu autour des grands projets miniers au Chili, en Argentine ou au Pérou, seront vraisemblablement amenés à s'intensifier : de meilleures connaissances sur les glaciers rocheux, ces masses de *hielo escondido en el suelo* (glace cachée dans le sol), pourront aider à améliorer la gestion des espaces montagnards andins.

Dans ce sens, la collaboration entre la *Dirección General de Agua* au Chili, l'Université de Waterloo, au Canada, et EDYTEM, dans le cadre d'un projet visant à inventorier les glaciers rocheux entre 28° et 32°S de latitude dans les Andes chiliennes, démontre une prise de conscience notable de la part des autorités responsables de la gestion de l'eau. Les enjeux pour ces territoires sont d'autant plus élevés que le Chili tente, depuis plusieurs années, d'adopter une loi similaire à celle de l'Argentine permettant la protection des milieux glaciaires et périglaciaires, et se heurte à la pression des lobbies financiers et industriels craignant de voir entraver les activités minières dans la Cordillère.

Au Chili encore, EDYTEM, l'Université de Waterloo, la PUC de Santiago et le CEAZA (La Serena) ont contribué à instrumenter et suivre deux sites de mesures sur des glaciers rocheux : le site Tapado-Llano de la Liebre (30°S) et le site Laguna Negra (33°S).

EDYTEM gère désormais, en collaboration avec l'IGEMA (La Paz) et l'IRD (à l'origine du site), le suivi à long terme du glacier rocheux du Caquilla, sur l'Altiplano bolivien (Bodin *et al.*, 2010), l'un des plus hauts au monde, dans un contexte de climat tropical aride (Figure 4). Les mesures incluent des levés annuels par dGPS pour le suivi des déplacements,

des relevés topo- et microclimatiques et des travaux photogrammétriques.

En Argentine, dans les Andes de Mendoza, une collaboration s'est amorcée avec l'IANIGLA (D. Trombotto) afin d'étudier la dynamique des glaciers rocheux, dans le cadre du projet *ANDALP* (financement de la Région Rhône-Alpes), incluant également des partenaires chilien (S. Monnier, CEAZA) et bolivien (A. Soruco, IGEMA). Au travers de méthodes d'interférométrie radar et de photogrammétrie terrestre, nous devrions ainsi être capables d'ici 2015 de caractériser la dynamique des glaciers rocheux argentins sur de vastes portions d'espace, et de mesurer à une échelle fine de quelques jours la déformation de certains d'entre eux.

La caractérisation et la quantification de la dynamique des glaciers rocheux sont d'autant plus importantes pour ces territoires que de fortes menaces anthropiques s'ajoutent à l'évolution climatique et pèsent sur l'évolution des glaciers rocheux. Ainsi, tout comme dans les Alpes françaises, plusieurs cas de déstabilisations de glaciers rocheux ont été observées dans les Andes chiliennes, avec des effondrements de plusieurs millions de m³ de matériaux (glace + débris) et des phénomènes hydrogéomorphologiques de très forte ampleur (Bodin *et al.*, 2012).

3 - Les glaciers

Les études sur les glaciers conduites à EDYTEM portent sur deux aspects : la reconstitution de leurs fluctuations depuis le Dernier Maximum Glaciaire jusqu'à l'Actuel, et leur dynamique actuelle.

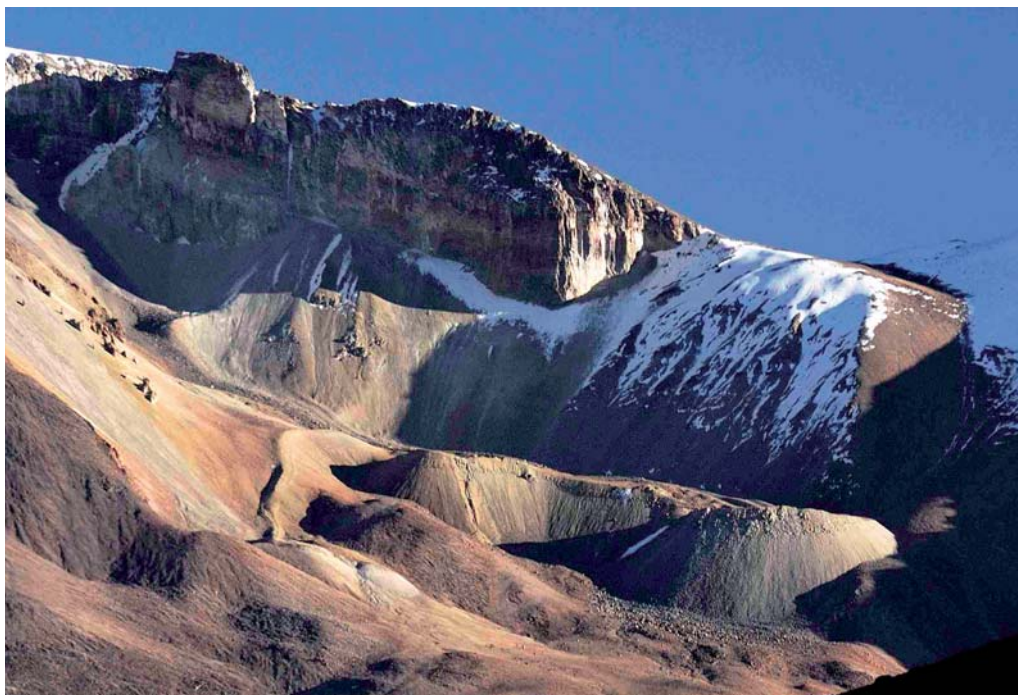


Figure 4 - Le glacier rocheux du Caquilla, sur le flanc sud du volcan homonyme, s'étale entre 5600 et 5100 m d'altitude, au-dessus de l'Altiplano bolivien.

a - Reconstituer les extensions et fluctuations glaciaires alpines

Sur ce premier aspect, les études sont développées sur des échelles spatiales et temporelles très variables. S. Coutterand (2010) a ainsi reconstitué pour les Alpes nord-occidentales les stades glaciaires successifs entre le Dernier Maximum Glaciaire et la fin du Tardiglaciaire il y a 11 700 ans. Croisant l'approche glacio-morphologique afin de déterminer l'altitude de la ligne d'équilibre glaciaire et l'analyse pétrographique des blocs erratiques et des minéraux lourds contenus dans la fraction fine des tills pour identifier leur provenance, il démontre que lors du Dernier Maximum Glaciaire la totalité des glaces du lobe de piémont lyonnais provenait des zones d'accumulation des Alpes du nord françaises internes – via principalement le glacier isérois – et non du glacier du Rhône, tandis que le puissant lobe de Moirans était principalement alimenté par le glacier de la Romanche. Il établit également un décalage entre les maxima d'extension des glaciers du nord des Alpes (maximum tardif suisse) et occidentaux (maximum ancien). Enfin, reprenant la vaste littérature scientifique sur les stades de la déglaciation post-wurmienne, S. Coutterand propose une chronologie fine de celle-ci, soulignant l'occupation des grandes cluses des massifs subalpins par les glaciers tardiglaciaires et l'influence tardive du glacier isérois.

Les études sur les glaciers holocènes sont conduites sur des glaciers individuels et des secteurs de massifs, sans que la dimension régionale de leurs fluctuations soit encore pleinement établie. Les fluctuations des glaciers sur la période holocène n'ont fait l'objet que de très peu de travaux dans les Alpes françaises et aucune datation n'était disponible en dehors du massif du Mont Blanc. On peut rappeler qu'en comparaison ces problématiques sont traitées abondamment par les géomorphologues suisses et les autrichiens depuis le milieu des années 1960. Etant donné le poids des facteurs locaux dans la préservation des preuves des fluctuations passées, le développement d'une chronologie régionale robuste – permettant une interprétation paléoclimatique – nécessite de multiplier les sites et les méthodes de datation. Aux travaux poursuivis sur le glacier du Miage depuis la fin des années 1990 se sont ajoutés ceux de M. Le Roy dans les massifs du Mont Blanc, de Belledonne et des Écrins (Le Roy, 2012). Il s'agissait d'avoir une vision d'ensemble des variations des glaciers à l'Holocène en étudiant des contextes glaciaires contrastés : grands glaciers de vallée relativement réactifs dans le massif du Mont Blanc, petits glacierets dans Belledonne ayant un bon enregistrement de la transition Tardiglaciaire-Holocène, et glaciers de cirque de taille moyenne dans le massif des Écrins, couverts de débris pour la plupart. Les méthodes de datation mises en œuvre sont la dendrochronologie sur bois subfossiles en partenariat avec K. Nicolussi (Universität Innsbruck) qui dispose

d'une chronologie de référence couvrant tout l'Holocène pour les essences d'altitude ; et les datations d'exposition par isotopes cosmogéniques produits *in situ* en collaboration avec ISTERre et le CEREGE. Concernant le début de l'Holocène, deux récurrences ont pu être mises en évidence en Belledonne et datées respectivement autour de 11 et 10 ka, indiquant que le tout début de l'Holocène a été marqué par des épisodes climatiques abrupts et répétés. Le début de la période néoglaciale a pu être daté dans le massif des écrins autour de 4,2 ka ce qui est en parfait accord avec d'autres proxies paléoclimatiques tels que les enregistrements de niveaux de lacs. Enfin, une chronologie précise des variations néoglaciales de la Mer de Glace basée quasi-exclusivement sur des datations dendrochronologiques a pu être construite (Le Roy *et al.*, soumis) grâce à l'abondance des débris ligneux que renferme la moraine latérale droite de ce plus grand glacier français. Cette courbe rejoint la précision des quelques chroniques de ce type disponibles dans les Alpes (Gross Aletschgletscher, Gornergletscher, Unter Grindelwaldgletscher, Gepatschferner). Elle met en évidence le synchronisme marqué existant entre ces grands glaciers alpins distants de plusieurs centaines de kilomètres, impliquant des forçages similaires du climat alpin sur la seconde moitié de l'Holocène.

La connaissance du retrait glaciaire post-Petit Âge Glaciaire est mieux établie. Plusieurs travaux de master sont venus s'ajouter à ceux de S. Jobard qui a cartographié dans le cadre de sa thèse (2005) l'évolution d'une trentaine de glaciers du bassin versant du Haut Arc en combinant archives, marqueurs géomorphologiques, photographies aériennes et images satellitaires ; l'accélération synchrone de la décrue pendant la décennie 1990 était en particulier soulignée. S'appuyant sur ces travaux antérieurs et complétant l'inventaire de l'extension actuelle des 581 glaciers des Alpes françaises, M. Gardent (2013) a établi l'extension de ces glaciers à la fin du Petit Âge Glaciaire et à la fin des années 1960 – complétée localement par celles d'autres périodes –, et mis ainsi en évidence la disparition de 25 % de leur superficie au cours des quatre dernières décennies. Dans le cadre d'une collaboration avec des collègues du LGGE (A. Rabatel) et du LTHE (J.-P. Dedieu), cette base de données post-Petit Âge Glaciaire a été complétée par les extensions glaciaires de 1985-86 et 2003, établies par l'analyse d'images satellitaires.

En outre, la reconnaissance et la cartographie des héritages glaciaires dans le haut bassin versant du Vorz dans le cadre du projet qui a fait suite à la crue de 2005 ont permis de proposer une chronologie du désenglacement tardiglaciaire et holocène dans ce secteur.

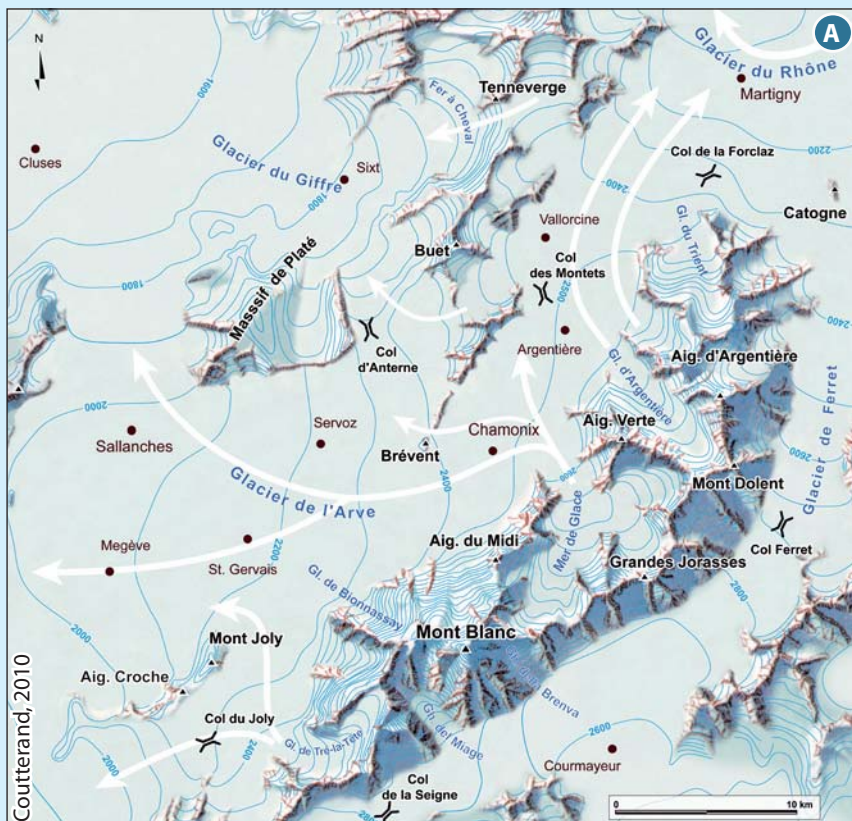
b - Etude de la dynamique glaciaire actuelle

Elle prend en compte à la fois la mesure de certains paramètres glaciologiques (le bilan de masse glaciaire, la vitesse d'écoulement) et la dynamique

RECONSTITUER LES EXTENSIONS ET FLUCTUATIONS GLACIAIRES ALPINES DANS LE MASSIF DU MONT BLANC

Le massif du Mont Blanc est un secteur privilégié pour étudier les fluctuations des glaciers.

Du Dernier Maximum Glaciaire à l'actuel, la reconstitution des extension glaciaires est l'un des aspects des études sur les glaciers conduites à EDYTEM.

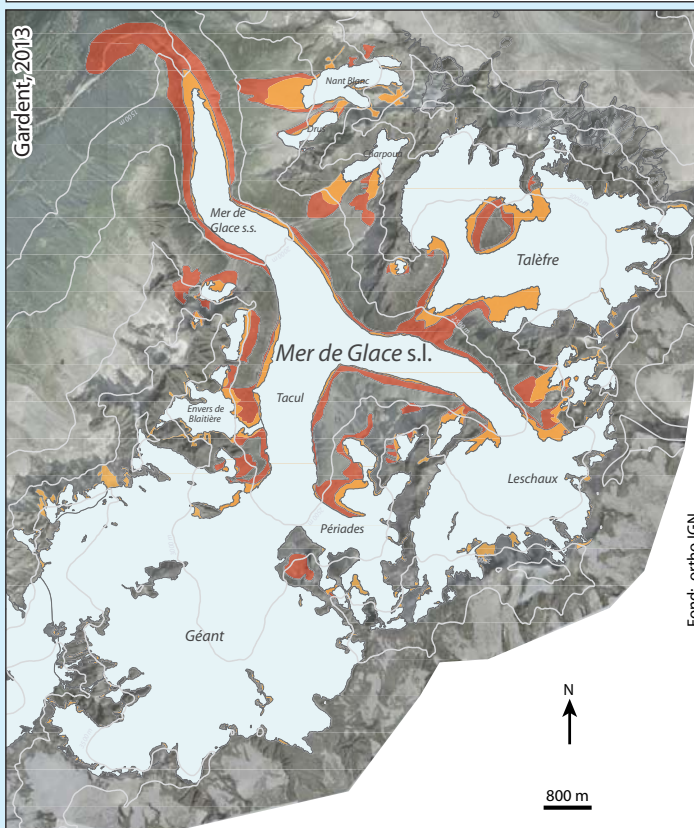
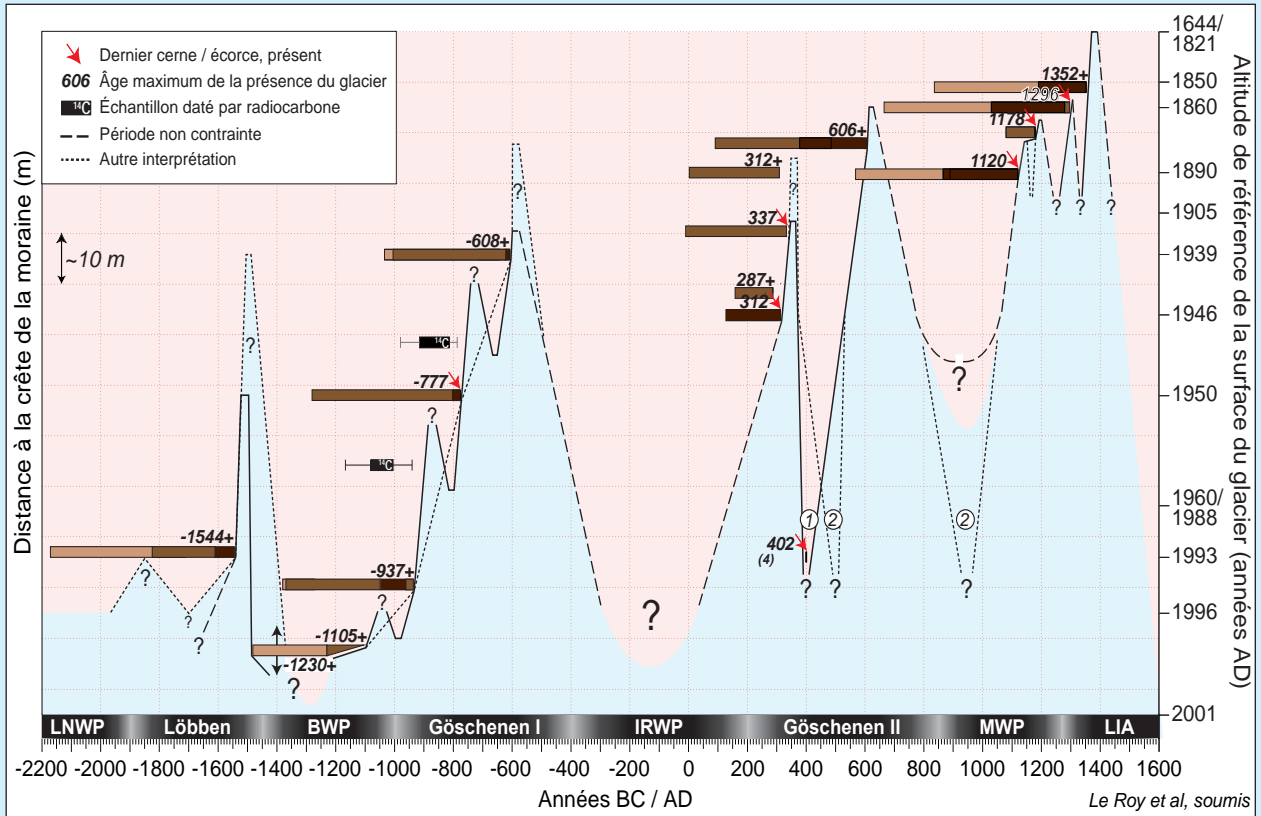


QUAND L'ÉTAGE GLACIAIRE S'ÉTENDAIT JUSQU'À LYON !

La cartographie des formes d'érosion et des formes de dépôts glaciaires observées dans la vallée de l'Arve a permis de reconstituer la surface minimale d'englacement au Dernier Maximum Glaciaire (A) et au Tardiglaciaire pendant le stade du Fayet, vers 16 000 cal BP (B). Cette région était située sous la glace il y a plus de 25 000 ans et sa déglaciation s'est déroulée entre 24 000 et 12 000 cal BP.

DES TRONCS DANS LA MER : DENDROGÉOMORPHOLOGIE À LA MER DE GLACE

Du fait du retrait du glacier depuis le Petit Âge Glaciaire, la moraine latérale droite de la Mer de Glace libère des bois subfossiles à différents niveaux stratigraphiques. Leur analyse dendrochronologique permet d'établir une courbe des variations altitudinales de la langue terminale de la Mer de Glace pour les 3500 dernières années. Ce glacier a ainsi connu des avancées importantes peu après 1544 BC, 1105 BC, 937 BC, 777 BC, 608 BC, 337 AD, 606 AD, 1120 AD, 1178 AD, 1296 AD et 1352 AD.



LA MER DE GLACE, PREMIER GLACIER FRANÇAIS

En 2008, 58 glaciers recouvraient 113 km² du versant français du massif du Mont Blanc. La Mer de Glace, plus vaste glacier français, s'étend sur 30 km², ce qui représente près de 10% de la surface englacées des Alpes françaises (275 km² en 2006-2009). Depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, les glaciers du massif du Mont Blanc en France ont perdu 24% de leur surface.

des débris qui recouvrent la surface des glaciers dans une part variable.

La mesure de bilan de masse glaciaire n'est pas une approche centrale dans notre activité, au contraire de celle du LGGE par exemple. Si l'ablation est ainsi mesurée sur le glacier d'Estelette depuis 2004, ce n'est pas pour établir son bilan de masse mais pour étudier la relation entre celle-ci et la dynamique de la couverture détritique supraglaciaire (cf. *infra*). De même, les mesures d'ablation réalisées au Baounet depuis 2009 le sont à titre de comparaison avec les données hydrologiques. Toutefois, Luc Moreau a initié la mesure du bilan de masse glaciaire annuel sur le glacier de Bionnassay depuis 2010 et prévoit de l'étendre au glacier de Tré-la-Tête à partir de 2013, complétant ainsi les mesures réalisées par le LGGE à la Mer de Glace et à Argentière. Une approche similaire est également mise en œuvre par L. Ravel sur le glacier de Tortin dans le Valais depuis 2011 afin de mieux comprendre l'instabilité qui caractérise sa principale moraine latérale.

Les plus anciennes mesures glaciologiques conduites par EDYTEM le sont sous le glacier d'Argentière, puisque L. Moreau est responsable depuis 1990 de la mesure en continu de la vitesse d'écoulement de la base du glacier – grâce à la cavité sous-glaciaire instrumentée dès le début des années 1970 par R. Vivian – et du suivi du drainage de l'eau sous-glaciaire pour le compte d'Emosson SA. Ce dispositif sous-glaciaire a été complété à partir de 2007 par l'installation d'appareils photo automatiques sur les marges du glacier, en particulier dans le secteur de la chute de Lognan, qui permettent de suivre les variations de la vitesse d'écoulement en surface. D'autres appareils du même type ont depuis été installés par L. Moreau dans le massif du Mont Blanc : au front de la Mer de Glace (2008) puis au glacier de Trient (2009) pour la surveillance de la vidange de sa poche d'eau – complété par un second appareil à son front (2011) – et à Bionnassay (2009-2012), et enfin dans la cavité sous-glaciaire d'Argentière (2013). Il en a également installé ailleurs dans le monde, de l'Icefall de l'Everest (2010) au front de l'Eqip Sermia au Groenland (2011) en passant par celui du Perito Moreno (2010).

La compréhension de la dynamique des couvertures détritiques supraglaciaires s'appuie sur deux approches complémentaires (Figure 5). À grande échelle, les recherches menées à Estelette depuis 2004 visent à comprendre le couplage d'une couverture détritique avec les paramètres glaciologiques (vitesse superficielle dans la zone d'ablation, ablation glaciaire, structures tridimensionnelles intraglaciaires et en particulier bandes de débris, évolution de la superficie et du volume des débris supraglaciaires). À l'échelle régionale (Alpes occidentales), l'évolution de la couverture détritique supraglaciaire dans les depuis la fin du Petit Âge Glaciaire est reconstituée à partir des cartes anciennes puis des aérophotographies. Plusieurs masters ont ainsi étudié les glaciers de Pramort,

Invernet, Gebroulaz, Evettes, Estelette, Mer de Glace, Talèfre, Bionnassay ou Nant Blanc, complétant des travaux antérieurs sur le Miage et la Brenva.

Ces études de la dynamique actuelle des glaciers alimentent également la réflexion sur les aléas d'origine glaciaire, fondée principalement sur les inventaires des extensions des glaciers des Alpes françaises. Plusieurs pistes ont été esquissées quant à la détection d'occurrence potentielle de ces aléas dans le contexte du retrait glaciaire accéléré actuel. L'outil Système d'Information Géographique permet ainsi d'effectuer une première sélection des secteurs pouvant être concernés par la survenue d'un aléa glaciaire. Par exemple, les secteurs susceptibles d'être affectés par des écroulements rocheux du fait de la décompression postglaciaire correspondent aux parois rocheuses subverticales qui étaient englacées au Petit Âge Glaciaire. Ils sont déterminés en routine dans le SIG par la superposition de l'extension du glacier à cette époque et la cartographie des parois. De même, l'aptitude à la production de laves de débris dans les marges proglaciaires est déterminée en élaborant un indice de propension à cette production. Celui-ci prend en compte les deux principaux facteurs de prédisposition : angle de pente et volume de tills mobilisable.

c - Hydrologie glaciaire

Les impacts du retrait glaciaire sur les hydrosystèmes proglaciaires sont étudiés à travers les enregistrements pluri-décennaux des débits journaliers d'un torrent glaciaire, l'Avérole, en Haute-Maurienne (thèse de S. Jobard). Les analyses montrent une modification majeure du régime du torrent proglaciaire au cours de la dernière décennie. Cette évolution est interprétée comme une intensification du forçage climatique actuel. Afin d'étudier la structure des hydrogrammes proglaciaires, une station de monitoring hydro-météorologique a été installée en 2002 sur le principal contributeur de l'Avérole, le glacier du Baounet. Le traitement de données aboutit à un outil de suivi quotidien des caractéristiques du réseau de drainage glaciaire.

Les travaux actuels s'inscrivent dans la continuité des travaux de cette thèse avec un maintien de la station de mesure, complétée et modernisée au fil des années. Les analyses en cours reposent sur la décomposition des écoulements proglaciaires en une composante purement glaciaire (fonte de la glace et de la neige) et une fraction provenant du substratum rocheux. L'utilisation de lois de récession pour modéliser les hydrogrammes de décrue journalière permet de mesurer l'ablation glaciaire journalière. Le but de ces recherches est d'analyser les variations de régimes de l'ablation estivale afin de reconstruire le bilan de masse estival à partir de données quotidiennes. Cette technique ouvre un champ de recherche novateur avec une haute résolution temporelle des mesures d'ablation glaciaire. Les impacts de phénomènes météorologiques ponctuels peuvent ainsi être quantifiés (canicule, chute



Figure 5 - Le glacier du Miage (massif du Mont Blanc) est l'un des grands glaciers noirs des Alpes (10 km²). Sa couverture détritico-supraglaciaire résulte principalement d'éboulements et d'éroulements rocheux depuis les hauts versants qui le dominent (photo M. Le Roy).

de neige estivale). Deux axes de recherche découlant de ces travaux sont actuellement en construction :

Un développement spatial de cette technique de traitement avec un déploiement sur deux autres sites de mesure dans les Alpes occidentales : d'une part le glacier de Pré de Bard (versant italien du massif du Mont Blanc), dont le bilan de masse glaciaire est réalisé par la FMS et l'ARPA VdA depuis 2007, avec une station de jaugeage sur son émissaire depuis 2012 ; d'autre part le glacier du Ciardoney (massif du Grand Paradis), en partenariat avec Nimbus-SMI, qui bénéficie d'un bilan de masse réalisé depuis 20 ans, avec une station de monitoring depuis 2010. Couplés au glacier du Baounet, ces deux sites de mesure couvrent les deux versants des Alpes, avec des influences climatiques complémentaires.

Une extension temporelle par l'application de cette méthodologie à une chronique hydrologique décennale. Une convention avec EDF - DTG vise à exploiter ainsi les mesures hydrologiques horaires relevées sur le glacier des Evettes (Haute-Maurienne) entre 1985 et 1996. Cette série, couplée aux mesures sur le glacier du Baounet, permettrait de couvrir près de 20 ans d'archivage climatique à haute résolution par les glaciers de Haute-Maurienne.

d - Second petit bilan transitoire...

Depuis l'activité gravitaire des hautes parois rocheuses jusqu'au régime hydrologique des cours d'eau d'origine glaciaire, en passant par la dynamique des glaciers rocheux et des glaciers noirs, les travaux du laboratoire EDYTEM sont résolument axés sur une compréhension large du fonctionnement actuel de la cryosphère de haute montagne et de ses réponses aux forçages climatiques en cours. Ces travaux révèlent

qu'à des échelles de temps et d'espace très variables, les processus en jeu façonnent fortement les versants, y compris jusqu'à basse altitude.

Des perspectives de recherche intéressantes pour le laboratoire apparaissent alors, notamment au travers de l'approfondissement de nos connaissances sur l'ampleur, la fréquence et la répartition géographique des phénomènes et des instabilités géomorphologiques associés au changement climatique actuel. Ces travaux auront nécessairement une forte dimension transversale, dans la mesure où de fortes attentes sociétales incitent à ce que l'étude des aléas engendrés par l'évolution de la cryosphère soit combinée à celle des enjeux et des vulnérabilités des territoires de montagne. Cette dimension transversale se combine aux convergences interdisciplinaires que nos études requièrent toujours davantage, à l'exemple des travaux menés en août 2012 dans le secteur Dérochoir-Rognes-Pierre Ronde du massif du Mont Blanc, où il s'agissait de distinguer marges proglaciaires, glaciers rocheux actifs ou inactifs, et dépôts laissés par la vidange catastrophique du glacier de Tête Rousse en 1892.

Dans cette optique, les travaux entrepris par le laboratoire depuis 10 ans sur les morphodynamiques passées font écho de façon remarquable aux résultats des recherches sur les dynamiques actuelles. L'ensemble de ces travaux permet d'avoir une vision de plus en plus précise de l'évolution des environnements de haute montagne tout au long de l'Holocène et des processus actuels.

La reprise de nos travaux sur l'impact de la dégradation du permafrost sur les dynamiques géomorphologiques de montagne (Bodin et al., 2010 ; Ravel et al., 2010) dans le 5^e rapport du GIEC (septembre 2013) témoigne de notre place dans le panorama de la recherche mondiale.

DU TERRAIN EN HAUTE MONTAGNE



L'acquisition de données en milieu de haute montagne nécessite une logistique importante. Qu'il s'agisse d'approches terrestres ou hélicoptérées, ces missions de terrain représentent également l'un des attraits de la recherche sur ces milieux difficile d'accès. Les repérages, les levés topographiques ainsi que l'échantillonnage requièrent souvent de longues marches ainsi que des portages importants. Pour donner un ordre de grandeur, une recherche doctorale en milieux de haute montagne nécessite environ 120 à 140 journées de travail de terrain. Récemment, la constitution de la chronologie des variations néoglaciales de la Mer de Glace, basée sur la datation dendrochronologique de bois subfossiles provenant de la moraine latérale droite, a ainsi nécessité le prélèvement et le rapatriement à dos d'homme de 1,3 tonne de bois au cours de quatre saisons estivales.



Quelques exemples de mission de terrain menées au laboratoire EDYTEM ces dernières années : a) échantillonnage pour des datations cosmogéniques dans la paroi du Trident du Tacul (09/2011) ; b) forage dans la face sud de l'Aiguille du Midi en vue de la pose d'une chaîne de thermistors (09/2009) ; c) échantillonnage de troncs subfossiles dans la moraine latérale droite de la Mer de Glace (10/2009) ; d) des bêtes de somme pour monter le LiDAR sur le glacier rocheux de Laurichard (09/2011).

III - VERS LA TRANSVERSALITÉ ? DE LA HAUTE MONTAGNE AUX TORRENTS, VOIRE AU-DELÀ

1 - Retour sur l'axe transversal SNG (Systèmes Nivo-Glaciaires)

La mise en place en 2007 de l'axe de recherche transversal SNG avait deux principaux objectifs :

- stimuler les échanges voire collaborations entre membres des trois équipes du laboratoire, en s'appuyant sur la forte transversalité de l'objet SNG pour les trois équipes : paléoenvironnement glaciaire pour l'équipe Archives naturelles, dynamique de la cryosphère et ressource en eau pour l'équipe Dynamiques actuelles, géopatrimoine et tourisme de montagne pour l'équipe Territoires de montagne ;
- accroître la lisibilité du laboratoire sur cet objet vis-à-vis de la communauté scientifique française et étrangère, des décideurs, du grand public, pour favoriser en particulier les échanges avec les autres laboratoires français et européens qui travaillent sur certains aspects des SNG.

Si la plupart des objectifs qu'il s'était fixés pour le quadriennal 2007-2010 (choix d'un site commun, le massif du Mont Blanc ; publication d'un numéro SNG de la Collection EDYTEM, séminaires...) ont été réalisés, l'axe n'est pas parvenu à créer la dynamique qui se voulait complémentaire de celle des équipes du laboratoire, tandis que les visibilité nationale et internationale des travaux acquises pendant cette période ne l'ont été que peu du fait de l'axe.

L'axe a cependant été reconduit dans le projet de contrat quinquennal 2011-2015. Les systèmes nivo-glaciaires étant définis comme l'ensemble des interactions entre la cryosphère, le milieu et la société, il a été proposé de développer deux champs de recherche nouveaux étroitement articulés à la thématique des impacts du changement climatique : (i) les aléas et risques liés à la cryosphère (reconnaissance, évolution, enjeux) et (ii) la valorisation des SNG pour les territoires de montagne (géopatrimoine, ressources touristico-sportives, ressource en eau). Si ces thèmes ont bien été développés, c'est une nouvelle fois sans l'axe. Ce décalage entre la fonction assignée aux axes transversaux et leur réalité a conduit le laboratoire à décider, à l'issue d'une réflexion collective en 2011, de leur substituer des objets emblématiques.

Il est à noter que la définition de l'objet emblématique Haute Montagne retenue à ce stade - la haute montagne est le géosystème montagnard dont la morphodynamique est principalement contrôlée à différentes échelles spatiales et temporelles par la cryosphère et ses dynamiques - est plus restreinte que celle qui avait été proposée pour les SNG, rappelée ci-dessus.

2 - De la haute montagne à la montagne haute : l'OE Haute Montagne, vecteur de transversalités plus larges ?

Si les dynamiques des rivières des vallées intramontagnardes ont depuis longtemps été mises en relation avec les dynamiques torrentielles, celles-ci n'ont été rapprochées de la dynamique des versants supérieurs que tardivement. Pourtant, les processus gravitaires alimentent la charge transportée par les torrents, de même que les glaciers voire les glaciers rocheux. Ainsi, entre l'espace et les processus qui sont au cœur des travaux du laboratoire sur les torrents et rivières torrentielles de la haute vallée de l'Arve d'une part, l'instabilité des parois rocheuses, le permafrost de celles-ci ou la dynamique des glaciers rocheux étudiés sur les versants supérieurs du massif du Mont Blanc d'autre part, une convergence se dessine, qui va au-delà du seul objet emblématique Haute Montagne.

Ainsi, l'étude du bassin versant du Vorz (massif de Belledonne), réalisée par EDYTEM suite à la crue catastrophique d'août 2005 (Allignol et al., 2008), est un exemple de convergence réussie que l'objet emblématique Haute Montagne pourrait contribuer à favoriser dans l'avenir. L'objet de ce projet était d'améliorer la connaissance sur le fonctionnement global du bassin versant, en vue d'évaluer l'aléa torrentiel futur dans le cadre du changement climatique. Afin de (i) reconstituer les phases successives de la crue en croisant témoignages, données météorologiques et marqueurs géomorphologiques ; (ii) d'estimer la fréquence et l'intensité des crues antérieures à l'aide d'archives historiques et naturelles (carottes lacustres dans le lac Blanc) ; et (iii) d'analyser la dynamique torrentielle du Vorz, en prenant en compte les facteurs géologiques, géomorphologiques et hydrologiques de ce bassin versant de haute montagne, cette étude a dû être conçue d'emblée comme pluridisciplinaire, une dimension qui a incontestablement permis son succès.

S'inspirant de ce type d'approche pluridisciplinaire, l'objet emblématique Haute Montagne pourrait à l'avenir constituer un cadre pour l'étude, par exemple, de l'impact des changements environnementaux sur l'attractivité touristique de la haute montagne, ou celle des modes d'adaptation liés aux modifications de sa morphodynamique. S'y croiseraient alors les orientations qui fondent actuellement l'objet emblématique avec d'autres thématiques de recherche développées au laboratoire EDYTEM.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLIGNOL F., ARNAUD F., CHAMPAGNAC J.-D., DELANNOY J.-J., DELINE P., FUDRAL S., GASQUET D., PAILLET A., PLOYON E., RAVANEL L., SAULNIER G.-M., WILHELM B., 2008. Etude intégrée du bassin versant du Vorz consécutive à la crue des 22 et 23 août 2005. Rapport scientifique, EDYTEM, 202 p.
- BODIN X., THIBERT E., FABRE D., RIBOLINI A., SCHOENEICH P., FRANCOU B., REYNAUD L., FORT M., 2009. Two decades of response (1986-2006) to climate by the Laurichard rock glacier. *Permafrost and Periglacial Processes*, 20 (4), 331-344, DOI : 10.1002/ppp.665.
- BODIN X., ROJAS F., BRENNING A., 2010. State and recent evolution of the cryosphere in the Andes of Santiago (Chile, 33.5°S). *Geomorphology*, 118 (3-4), 453-464, DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.02.016.
- BODIN X., KRYSIECKI J.M., IRIBARREN P., 2012. Recent collapse of rock glaciers: two study cases in the Alps and in the Andes. Proceedings of Interpraevent 2012, Grenoble, Avril 2012.
- CHAIX C., 2007. Climatologie hivernale des versants alpins Savoie : types de temps, températures et vents. Analyse des données météorologiques des domaines skiables. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 306 p.
- COUTTERAND S., NICOU D., 2005. Les stades de retrait du glacier de l'Arve entre le verrou de Cluses et l'ombilic de Chamonix au cours du Tardiglaciaire (vallée de l'Arve, Haute-savoie). *Quaternaire*, 16 (2), 85-94.
- COUTTERAND S., 2010. Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène Récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 468 p.
- DEDIEU J.-P., NIANG M., DURAND Y., BERNIER M., GUYORMARC'H G., MÉRINDOL L., SERGENT C., PAQUET E., MARTINI A., 2005. Le potentiel des données ASAR-Envisat en Bande-C pour la détermination des caractéristiques de la neige humide en environnement alpin. *Revue Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 3 (179), 18-27.
- DELINE P., 2009. Interactions between rock avalanches and glaciers in the Mont Blanc massif during the late Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 28 (11-12), 1070-1083, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.09.025.
- DELINE P., ALBERTO W., BROCCOLATO M., HUNGR O., NOETZLI J., RAVANEL L., TAMBURINI A., 2011. The December 2008 Crammont rock avalanche, Mont Blanc massif area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 3307-3318, DOI:10.5194/nhess-11-3307-2011
- DELINE P., GARDENT M., MAGNIN F., RAVANEL L., 2012. The morphodynamics of the Mont Blanc massif in a changing cryosphere: a comprehensive review. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 94, 265-283. DOI:10.1111/j.1468-0459.2012.00467.x
- DZIKOWSKI M., JOBARD S., 2011. Mixing law versus discharge and electrical conductivity relationships: application to an alpine proglacial stream. *Hydrological Processes*, 26 (18), 2724-2732, DOI: 10.1002/hyp.8366.
- JOBARD S., 2006. Les glaciers du Haut Arc (Savoie) : caractérisation et impacts de la décrue post-Petit Âge Glaciaire. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 276 p.
- JOBARD S., DZIKOWSKI M., 2006. Evolution of glacial flow and drainage during the ablation period. *Journal of Hydrology*, 330, 663-671, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.04.031.
- LE ROY M., 2012. Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes occidentales. Apports de la dendrochronologie et des datations par isotopes cosmogéniques produits *in situ*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 363 p.
- LE ROY M., NICOLUSSI K., DELINE P., ASTRADE L., EDOUARD J.-L., MIRAMONT C., ARNAUD F., soumis. Calendar-dating of Neoglacial glacier variations in the Western European Alps: the Mer de Glace record, Mont Blanc massif. Soumis à *Quaternary Science Reviews*.
- RABATEL A., DEDIEU J.-P., THIBERT E., LETRÉGUILLY A., VINCENT C., 2008. 25 years 1981-2005 of equilibrium-line altitude and mass-balance reconstruction on Glacier Blanc, French Alps, using remote-sensing methods and meteorological data. *Journal of glaciology*, 54 (185), 307-314, DOI 10.3189/002214308784886063
- RAVANEL L., 2010. Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc. Thèse de Doctorat, Université de Savoie, 322 p.
- RAVANEL L., DELINE P., 2011. Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: the North side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the Little Ice Age. *The Holocene*, 21, 357-365.
- RAVANEL L., DELINE P., LAMBIEL C., 2013. Instability of a highly vulnerable high alpine rock ridge: the lower Arête des Cosmiques (Mont Blanc massif, France). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95, 51-66.
- RICHON P., MOREAU L., SABROUX J.-C., PILI E., SALAÜN A., 2012. Evidence of both M2 and O1 Earth tide waves in radon-222 air concentration measured in a subglacial laboratory. *Journal of Geophysical Research*, 1 (17), DOI 10.1029/2011JB009111.
- ROUX P.-F., MARSAN D., MÉTAXIAN J.-P., O'BRIEN G., MOREAU L., 2008. Microseismic activity within a serac zone in an alpine glacier Glacier d'Argentière, Mont Blanc, France. *Journal of Glaciology*, 54 (184), 157-167.
- WEISS J., MONTAGNAT M., CINQUIN-LAPIERRE B., LABORY P.A., MOREAU L., DAMILANO F., LAVIGNE D., 2011. Waterfall ice: mechanical stability of vertical structures. *Journal of Glaciology*, 57 (203), 407-415, DOI 10.3189/002214311796905587.

L'OBJET EMBLÉMATIQUE SYSTÈMES HYDROTHERMAUX

DE L'HYDROTHERMALISME PROFOND AUX EAUX THERMALES

UNE DÉCENNIE DE CONVERGENCE SCIENTIFIQUE

MAGALI ROSSI, CAMILLE DOUBLET, MARC DZIKOWSKI, DOMINIQUE GASQUET, JEAN-YVES JOSNIN,
GILLES MÉNARD, GRÉGOIRE MOMMESSIN, LEILA TARRIEU

Contact : magali.rossi@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

La pluridisciplinarité a été l'un des moteurs de la création du laboratoire EDYTEM en 2003. Celle-ci s'est traduite par le rattachement dans les différentes équipes de chercheurs issus de disciplines différentes : géologues *du profond*, géologues *de la surface* et géomorphologues pour l'équipe *Archives environnementales des milieux de montagne* ; hydrogéologues et géomorphologues pour l'équipe *Dynamiques actuelles des environnements de la montagne* ; géographes *humains* et économistes pour l'équipe *Patrimoines et vulnérabilités des territoires de montagnes*.

Un tel regroupement, déjà novateur en soi, avait aussi pour ambition d'aborder les problématiques scientifiques liées à la montagne, avec une approche interdisciplinaire, combinant les apports de différentes disciplines autour d'un projet commun. Cette approche interdisciplinaire s'est réalisée via trois axes transversaux (inter-équipes) dont un axe autour de la gestion des eaux souterraines. Cet axe, qui a évolué au fil des ans vers l'étude des systèmes hydrothermaux de montagne, a ainsi fédéré les géologues *du profond* et les hydrogéologues.

1 - Les systèmes hydrothermaux : une vision multiple

Les systèmes hydrothermaux, systèmes complexes qui impliquent les circulations d'eaux chaudes dans la croûte continentale, nécessitent de mobiliser plusieurs champs de recherche (géologie structurale, hydrogéologie, géochimie et isotopie, minéralogie, thermique...) qui étaient en grande partie présents

ou utilisés au sein d'EDYTEM. L'origine de ces eaux peut être très variée : eaux météoriques, fluides magmatiques, eaux métamorphiques, etc. Ainsi, selon les communautés scientifiques, la notion d'*hydrothermalisme* – le fonctionnement des systèmes hydrothermaux – ne revêt pas la même signification.

Pour les hydrogéologues, l'hydrothermalisme se réfère à la circulation d'eaux chaudes (40-90°C) portant une minéralisation essentiellement alcaline et sulfatée (Ca, Na, SO₄, Cl...), qui forment à leur exutoire des sources chaudes auxquelles sont souvent associés des établissements thermaux. Ces fluides hydrothermaux correspondent le plus souvent (i) à des eaux réchauffées à quelques kilomètres de profondeur et chassées vers la surface par l'infiltration de fluides météoriques (contexte amagmatique ; Figures 1 et 2), ou (ii) à des eaux météoriques qui se réchauffent en s'infiltrant en profondeur au contact d'un corps magmatique (contexte magmatique ; Figure 3).

Pour les géologues et les métallogénistes, une activité hydrothermale correspond à la circulation de fluides chauds (jusqu'à 450-500°C) portant une minéralisation souvent métallifère (Pb, Zn, Au, Ag...), et pouvant se traduire par la formation de gisements d'intérêt économique. On parle alors de *paléohydrothermalisme* puisque les minéralisations reflètent des circulations de fluides anciennes, mises en place il y a quelques millions à plusieurs centaines de millions d'années. Il s'agit souvent de fluides profonds (magmatiques ou métamorphiques) qui remontent à travers la croûte supérieure, pouvant se mélanger à des fluides plus superficiels (de bassins ou météoriques), et dont les minéralisations cristallisent à plusieurs kilomètres de profondeur (Figures 1 et 3).

	Hydrothermalisme superficiel	Hydrothermalisme profond
Température du fluide	40-90°C	200-500°C
Minéralisation	Ca, Na, SO ₄ ...	Métaux (Pb, Zn, Ag, Au, Cu...)
Origine du fluide	Superficielle météorique	Profonde ou superficielle magmatique et/ou métamorphique et/ou de bassin et/ou météorique
Profondeur des minéralisations	< 2 km	2-10 km
Disciplines scientifiques	Hydrogéologie	Géologie Métallogénie

Figure 1 - Comparaison entre les systèmes hydrothermaux superficiels et profonds.

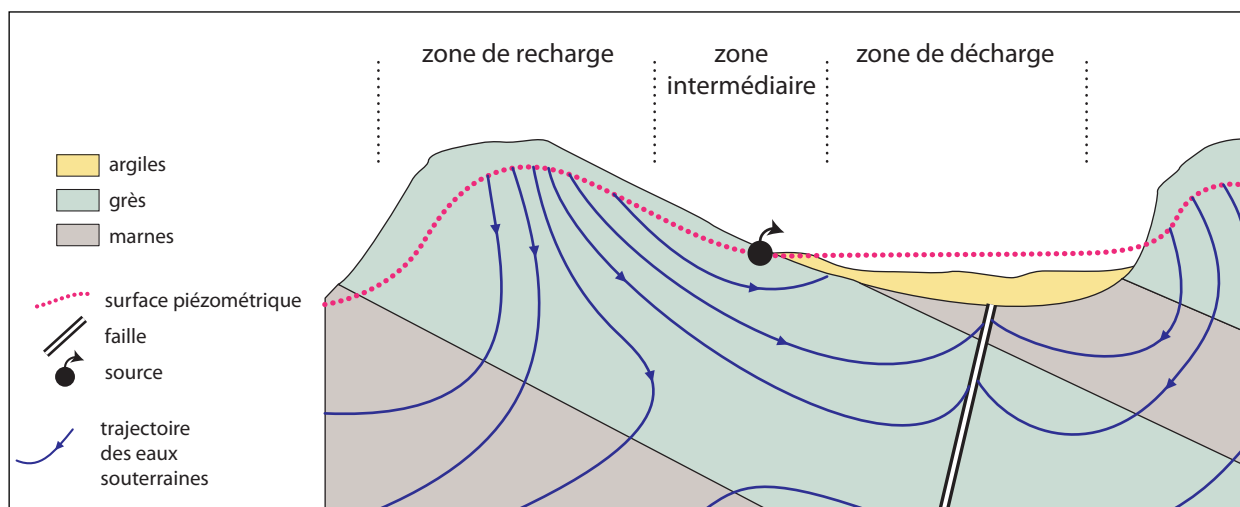


Figure 2 - Modèle conceptuel d'un système hydrothermal amagmatique. Dans un tel système, la différence de charge entre les altitudes élevées et les vallées sert de moteur aux circulations. Les eaux, d'origine météorique, froides au niveau de l'impluvium se réchauffent plus ou moins en allant en profondeur, avant d'arriver en surface. En fonction de la profondeur de circulation (quelques centaines de mètres à plus de 1 km), les eaux seront plus ou moins réchauffées.

Cependant, cette vision dichotomique peut parfois être très réductrice. En effet, si l'étude de l'hydrothermalisme profond ne peut se faire que sur des systèmes anciens (les roches et les minéralisations doivent être exhumées pour pouvoir les étudier et prélever des échantillons en surface), les deux systèmes peuvent être très étroitement liés. Au cours de sa remontée vers la surface, un fluide minéralisé ayant circulé en profondeur va se refroidir et réagir avec les roches encaissantes, ce qui va affecter sa composition chimique et la stabilité des métaux en solution. Ainsi, au cours du temps, la composition chimique du fluide va évoluer et celui-ci précipitera différents types de métaux le long de son cheminement vers la surface (Figure 3).

Dans ce cas, le fluide hydrothermal profond (qui peut avoir aussi bien une origine magmatique, météorique ou mixte) va former des minéralisations métallifères en profondeur, puis des dépôts carbonatés de types travertins en surface. L'étude des propriétés physico-chimiques des sources (chaudes ou froides) en surface et des dépôts associés, ainsi que celle des

minéralisations profondes renseigne sur l'origine des fluides et des minéralisations, et donc sur le fonctionnement du système hydrothermal.

2 - Les rapprochements entre hydrogéologues et géologues

Par les définitions différentes de l'hydrothermalisme, on relève que les hydrogéologues et les géologues (ou métallogénistes) ne s'intéressent donc pas exactement aux mêmes éléments ou parties d'un même système hydrothermal. Les hydrogéologues étudient essentiellement le réservoir peu profond (jusqu'à 2 km) et les propriétés physico-chimiques des eaux thermales. Les géologues et métallogénistes étudient, quant à eux, essentiellement les minéralisations (métallifères ou non) formées à quelques kilomètres de profondeur, ainsi que les roches altérées associées. Il existe, néanmoins, entre ces deux approches et visions, des dénominateurs et des objectifs communs, notamment l'origine de la source des

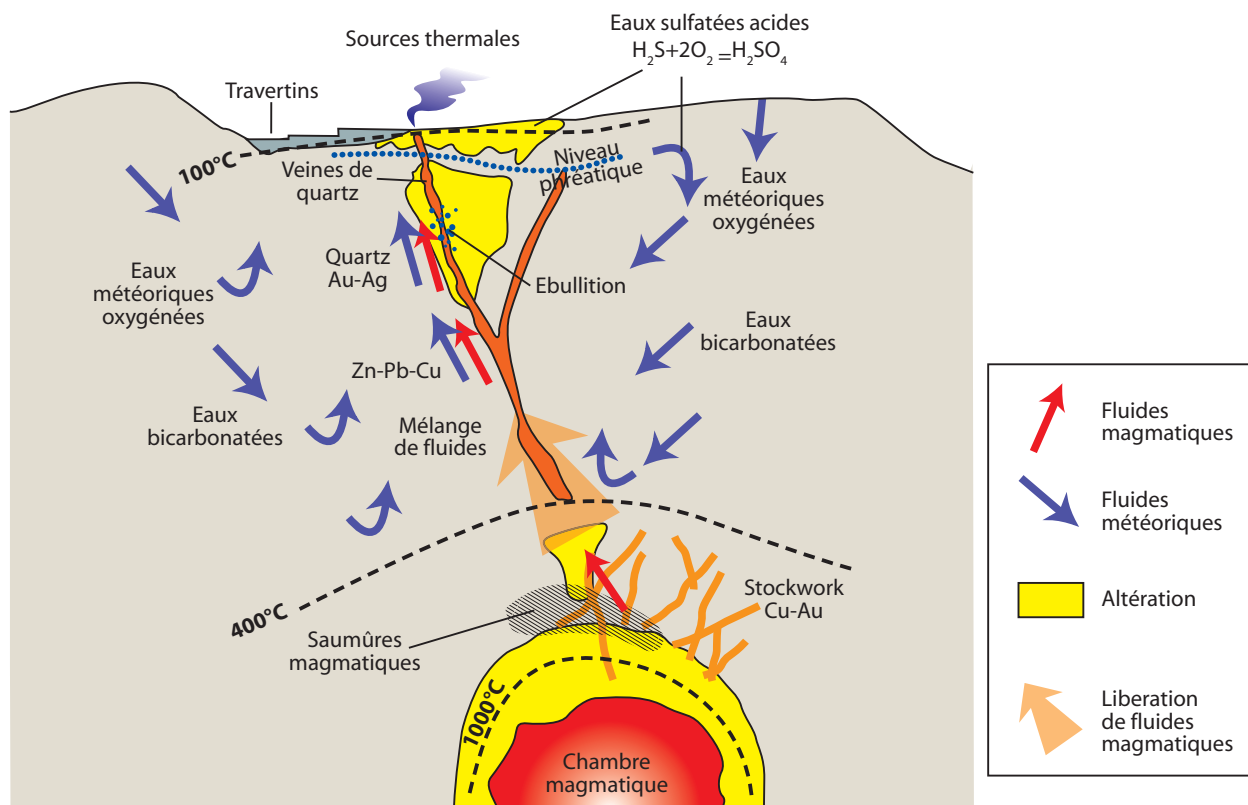


Figure 3 - Modèle conceptuel d'un système hydrothermal en contexte magmatique, à l'échelle de croûte supérieure. Il peut exister des mélanges entre les eaux météoriques s'infiltrant plus ou moins profondément dans la croûte continentale, et les fluides magmatiques ou métamorphiques générés en profondeur. Noter l'évolution de la nature des minéralisations le long de la remontée du fluide vers la surface.

fluides et de la minéralisation, ainsi que la caractérisation la plus fine possible de l'aquifère dans lequel les fluides hydrothermaux circulent.

L'axe de recherche *Systèmes Hydrothermo-Minéraux de montagne* créé en 2007 a permis de fédérer les chercheurs autour d'outils, de méthodes analytiques et de modèles communs. En effet, que ce soit pour l'étude des systèmes hydrothermaux superficiels ou profonds, le travail de terrain a été une première étape fédératrice et un moteur de recherche commune sur plusieurs systèmes hydrothermaux de montagne (Aix-les-Bains, La Léchère, Salins-les-Thermes...). Sur chacun de ces systèmes, un relevé cartographique détaillé a été mené afin de déterminer le plus précisément possible le contexte structural, tectonique et les principales unités lithologiques.

Une fois le contexte géologique posé, l'étude géochimique (éléments majeurs, traces et terres rares) et isotopique (C, O, S, D) des roches, des minéralisations et/ou des eaux est nécessaire pour déterminer la source des fluides d'une part, et celle de la minéralisation d'autre part.

Enfin, afin de repositionner le fonctionnement des systèmes hydrothermaux dans le contexte géologique, l'approche géochronologique a été mobilisée en collaboration avec le CRPG et Géoressources à

Nancy, Géosciences Azur à Nice Sophia-Antipolis et le laboratoire Magma et Volcans de St-Etienne. Dans le cas de systèmes hydrothermaux profonds, le fonctionnement étant généralement (très) ancien, les méthodes de type Ar-Ar, U-Pb, U-Th..., ont été adaptées et utilisées sur des minéraux associés à la minéralisation ou à la zone d'altération (e.g. Pelleter et al., 2007 ; Rolland et al., 2008 ; Cheilletz et al., 2010 ; Gasquet et al., 2010).

Du fait de la similarité des problématiques et des outils utilisés, il a été naturel que les deux communautés (hydrogéologues et géologues/métallogénistes) se rapprochent au sein d'EDYTEM afin d'unir leurs compétences et leurs savoir-faire dans le but de développer de nouvelles recherches sur les systèmes hydrothermaux dans leur ensemble. Cette volonté de rapprochement et de partage des compétences est à l'origine des thèses d'Anne Guyomard (Massif des Mémises, 2006), de Stéphanie Gallino (Aix-les-Bains, 2007) et d'Emilie Thiébaud (La Léchère, 2008) et de l'apparition de l'axe transversal *Systèmes Hydrothermo-Minéraux* dans le contrat quadriennal 2007-2010 (les hydrogéologues appartenant alors à l'équipe *Dynamique des versants*, et les géologues/métallogénistes appartenant à l'équipe *Archives naturelles*).

LES SYSTÈMES HYDROTHERMAUX DU NW DE L'IRAN

EDYTEM, l'Université de Karlsruhe (Allemagne) et le Geological Survey of Iran ont développé un projet de recherche bilatéral afin d'étudier l'hydrothermalisme de la région de Takab-Angouran (NW de l'Iran). Cette région, qui témoigne d'une très forte activité hydrothermale néogène et quaternaire, est caractérisée par de nombreux gisements métallifères (Zn-(Pb-Ag) à Angouran, As-Au à Zarshouran, Au à Agh Dareh), des nappes de travertins fossiles (Angouran, Zarshouran, Agh Dareh, Zendan-e-Soleiman) et des sources thermales actives (Zendan-e-soleiman, Takht-e-Soleiman, Figures a, b, c) représente donc une cible idéale pour étudier (i) les relations entre les systèmes hydrothermaux superficiels et profonds et (ii) l'évolution spatio-temporelle des systèmes hydrothermaux.

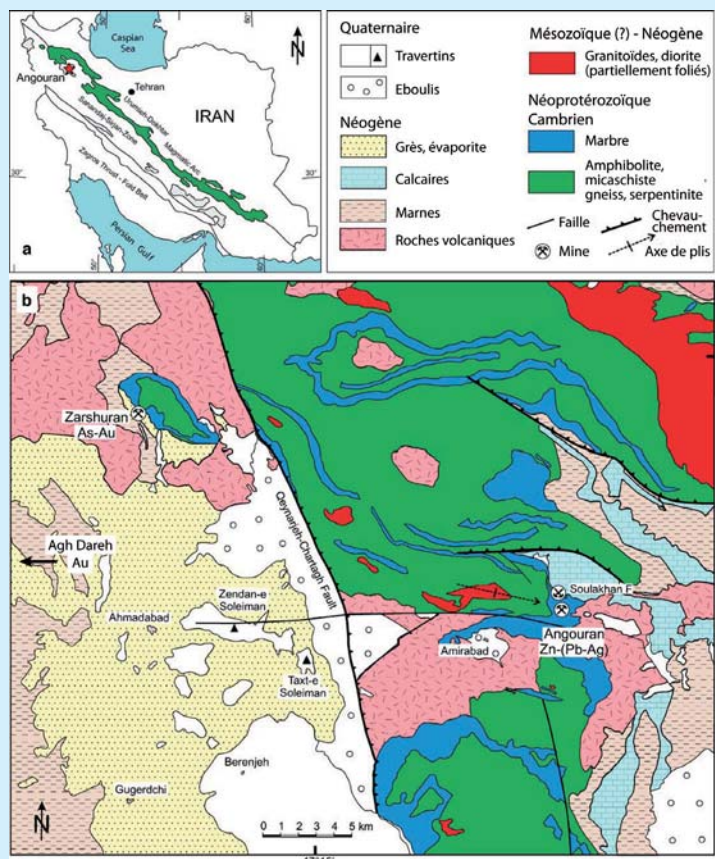


Figure a - Localisation (a) et carte géologique de la région de Takab-Angouran indiquant la localisation des différents sites d'étude (b). Noter la présence de nombreuses nappes de travertins (en blanc) et de gisements métallifères variés, qui témoignent d'une importante activité hydrothermale (modifié d'après Boni et al. 2007).



Figure b - Localisation de la nappe de travertins d'Angouran située juste en aval de la mine de Zn-Pb et vue de la nappe (~50 m d'épaisseur) située sous les baraquements de la mine.



Figure c - Localisation des nappes de travertins des environs de Zendan-e-Soleiman. Le lac de Takht-e-Soleiman mesure 80 x 120 m de diamètre et 120 m de profondeur (eau à 22°C). Le principal cône de travertins de Zendan-e-Soleiman mesure quant à lui 97 à 107 m de haut, et possède en son sommet un puits de 65 m de diamètre et 80 m de profondeur. On observe de nombreux petits cônes secondaires alignés le long de fissures, présentant localement des sources chaudes (eaux à 33-37°C).

ORIGINE DIVERSE DES EAUX DE SOURCES

	Takht-e-Soleiman n=1 Moyenne	Zendan-e-Soleiman n=3 Moyenne σ	Zarshouran n=3 Moyenne σ	Angouran n=2 Moyenne σ
Temperature (°C)	21.9	35.63 2.06	17.13 2.85	8.75 0.35
Conductivity (µS/cm)	1018	3937 255	5446 3578	203 77
pH	7.02	6.68 0.09	6.43 0.30	7.64 0.16
²⁵ Mg (mmol/L)	1.39	4.83 0.14	6.19 3.74	0.51 0.42
⁴³ Ca (mmol/L)	4.88	14.30 0.67	13.28 6.98	1.05 0.22
Mg/Ca	0.28	0.34 0.01	0.44 0.13	0.46 0.30
Origine des eaux	Météogène (réchauffées)	Thermogène	Thermogène	Météogène

Figure d. Les principales propriétés physico-chimiques des eaux de sources de la région de Takab-Angouran indiquent qu'on trouve aussi bien des eaux météogènes (CO₂ d'origine météorique) froides ou légèrement réchauffées en profondeur que des eaux thermogènes (CO₂ d'origine magmatique ou métamorphique).

MINÉRALISATION DES EAUX DE SOURCES ET IMPLICATION SUR LES CHEMINS DE CIRCULATIONS

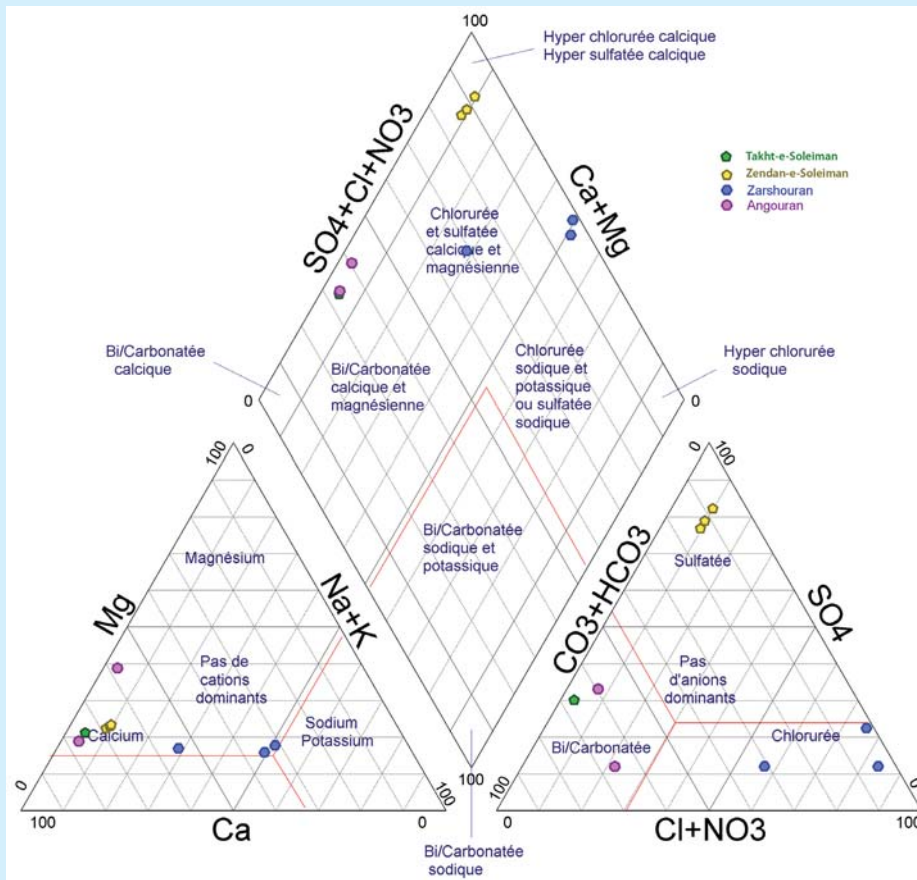
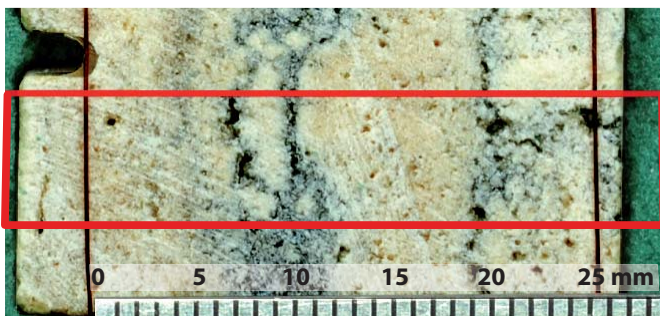
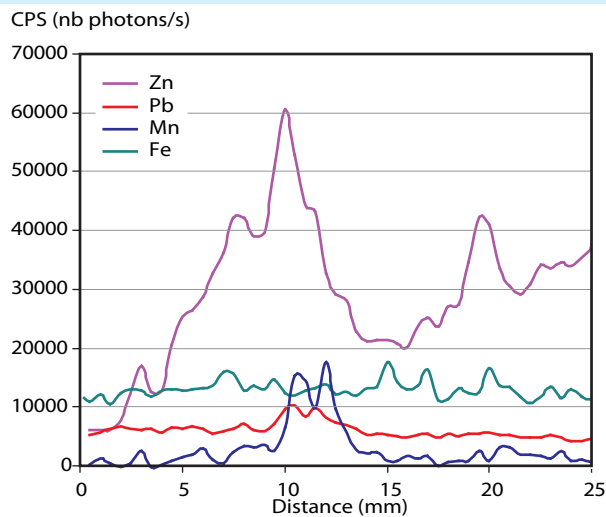


Figure e - Diagramme de Piper représentant la minéralisation des différentes eaux de sources pour les 4 sites d'études. Les minéralisations des eaux de sources sont variables d'un site à l'autre et ne reflètent pas toujours la nature des roches encaissantes. Bien qu'éloignées seulement de quelques kilomètres et encaissées dans la même formation molassique, les eaux du lac de Takht-e-Soleiman sont bicarbonatées (Ca + Mg) alors que les sources thermales situées à l'Ouest du cône de Zendan-e-Soleiman sont sulfatées. Les sources situées très en aval de Zarshouran, toujours encaissées dans la molasse, sont quant à elles chlorurées et sodiques. Bien qu'émergeant dans la même formation, ces eaux traversent donc des roches chimiquement très différentes en profondeur suggérant qu'il existe plusieurs systèmes hydrothermaux indépendants et non connectés.



REMOBILISATION DE MÉTAUX DANS LES TRAVERTINS SITUÉS À PROXIMITÉ D'UNE MINE

Figure f - Profils élémentaires en Zn, Pb, Mn et Fe (le long du trait rouge, entre les deux fils de cuivre) dans un échantillon de travertin prélevé en aval de la mine de Zn-Pb d'Angouran (ANG12-04). On remarque dans les parties sombres des enrichissements en Mn (courants dans les travertins) ainsi qu'en Zn et Pb. Le Zn et le Pb sont donc ici très vraisemblablement remobilisés à partir du gisement situé quelques kilomètres en amont. En effet, les autres travertins (Zendan-e-Soleiman) ne présentent pas de tels enrichissements, même dans les zones, assez courantes, enrichies en Mn. Il est à noter que de manière générale la composition chimique des travertins varie d'un site à l'autre.

I - L'HYDROTHERMALISME : UNE VISION DICHOTOMIQUE, DES APPROCHES COMMUNES

1 - Hydrothermalisme superficiel - sources thermales en zone de montagne

Les études conduites par EDYTEM sur les eaux thermo-minérales en zone de montagne ont, de manière générale, été entreprises en partenariat avec les acteurs socio-économiques des ressources thermo-minérales qui sont soucieux de la vulnérabilité quantitative et qualitative de leur ressource : Danone Eaux de France à Evian (74) ; la Société des Eaux d'Aix-les-Bains (SEAB – groupe Intermarché), le groupe ACCOR (Thermes de Marlioz) et le Ministère de la Santé puis VALVITAL (Thermes Nationaux) à Aix-les-Bains (73) ; la Communauté de Commune de Vallée d'Aigueblanche à la Léchère (73) ; la Commune de Brides-les-Bains et la Société des Eaux Thermales de Brides-les-Bains et de Salins-les-Thermes à Salins-les-Thermes (73). Le laboratoire EDYTEM a toujours été sensible à ce que les recherches menées soient en résonance avec des problématiques territoriales et économiques. Cette dynamique reposait également sur des chercheurs impliqués dans les demandes territoriales sur la gestion des ressources en eau (Jean-Paul Rampnoux, Gérard Nicoud, Marc Dzikowski, Jean-Yves Josnin). Au-delà de la problématique de gestion et d'exploitation de la ressource et des enjeux économiques, la question scientifique posée par les eaux thermo-minérales repose sur la compréhension des circulations d'eaux souterraines dans un milieu où se juxtaposent, sur des étendues limitées, des formations géologiques de natures lithologiques très différentes : cristallines et/ou sédimentaires.

Les circulations d'eaux souterraines se font via un réseau de discontinuités qui confèrent à ces roches une perméabilité relative plus ou moins importante. Cette perméabilité provient le plus souvent d'hétérogénéité intrinsèque aux roches, liée (i) aux processus sédimentaires proprement dits (p.ex. porosité intergranulaire des roches détritiques terrigènes), (ii) à la karstification de roches carbonatées, ou (iii) au degré de fracturation pour les roches les plus compactes, notamment les roches cristallines. Si les interfaces entre les unités lithologiques marquent des discontinuités majeures, leur rôle hydrogéologique a été souvent interprété comme une condition aux limites d'un aquifère caractérisé par un seul type de roche. Or, dans les zones de montagnes, la complexité lithologique, structurale et géométrique des formations du substratum rocheux et des formations superficielles induit des communications entre différents réservoirs aquifères pouvant avoir des paramètres physiques et/ou chimiques différents. C'est là un des apports des recherches menées au sein d'EDYTEM (e.g. Thiébaud *et al.*, 2010 a ; Gallino *et al.*, 2010). De ce fait, les eaux souterraines thermo-minérales réceptionnées dans l'aquifère terminal, souvent

localisé en fond de vallée, présentent des comportements hydrodynamiques, hydrogéochimiques voire bactériologiques particuliers, intermédiaires entre deux ou plusieurs aquifères pris individuellement. Les recherches sur les circulations thermo-minérales nécessitent donc une approche résolument pluridisciplinaire couplant géologie, hydrodynamisme, hydrogéologie, hydrochimie et hydrogéochimie. C'est dans cette voie que le laboratoire s'est engagé dès 2003. Les travaux menés sur différents sites alpins (Evian, Aix-les-Bains, La Léchère, Brides-les-Bains) ont abouti à l'établissement de modèles conceptuels des circulations souterraines, depuis les impluviums jusqu'aux émergences. Ces modèles ont permis de mieux comprendre et expliquer l'acquisition de la minéralisation et de la température des eaux. Ces modèles conceptuels ont reposé et reposent sur :

- les géométries internes (perméabilité et porosité) et externes (structure et limite d'extension spatiale) des aquifères mis en jeu ;
- l'observation des fonctionnements hydrodynamiques et des flux aux émergences ;
- les processus de mélange et d'acquisition de la minéralisation des eaux en relation avec la nature lithologique des roches ;
- l'estimation des temps de transfert et des températures acquises par les eaux au cours de ces transferts.

Les travaux de thèse réalisés dans ce domaine ont permis de multiplier les cas d'études sur des complexes géologiques différents :

- présence d'aquifères juxtaposés pour le cas d'Evian (thèse A. Guyomard, 2006) ;
- système en U dont les structures géologiques sont parallèles à la vallée pour le cas d'Aix-les-Bains (thèse S. Gallino, 2007) ;
- système de doubles versants dont les structures géologiques sont perpendiculaires à la vallée, pour le cas de la Léchère (thèse É. Thiébaud, 2008) ;
- système hyper-minéralisé pour le cas de Salins-les-Thermes (thèse de Camille Doublet, en cours).

De ces recherches menées dans le cadre de programmes portés par EDYTEM, il ressort que l'ensemble des circuits hydrothermaux étudiés sont associés aux grands contacts structuraux alpins à roches évaporitiques (gypse, anhydrites, cargneules et halite). Ces travaux mettent en évidence que ces circuits se caractérisent par des distances relativement faibles (inférieures à 25 km) depuis l'impluvium situé sur les versants jusqu'aux sources chaudes émergeant en fond de vallée. La direction générale des circulations associées au contexte morfo-structural peut être soit perpendiculaire aux structures géologiques (cas d'Evian et d'Aix-les-Bains au front des massifs subalpins) soit dans l'axe de ces dernières (cas de la Léchère

et fort probablement de Salins-les-Thermes). Les formations évaporitiques associées aux contacts ont un rôle essentiel sur l'acquisition de la minéralisation des eaux thermales mais négligeable en tant qu'aquifère. Parmi les cas étudiés, la nature de la formation aquifère principale du circuit hydrothermal est soit carbonatée soit cristalline. Les temps de transfert lorsqu'ils peuvent être estimés sont supérieurs à 10 000 ans (cas d'Aix-les-Bains et de la Léchère). Les mélanges avec des eaux plus superficielles peuvent selon les cas intervenir tout au long du parcours, ou uniquement à proximité des émergences. Toutefois c'est dans l'aquifère terminal qui reçoit les eaux chaudes ascendantes qu'ils sont les plus marqués et les plus complexes. Ce dernier est caractérisé par des formations meubles quaternaires ou, dans le cas particuliers d'Aix-les-Bains, par des formations fissurées à karstiques (Gallino, 2006 ; Gallino *et al.*, 2009 ; Josnin *et al.*, 2013).

2 - Hydrothermalisme profond : origine des fluides et de la minéralisation - contexte géodynamique

Les questionnements soulevés par l'étude du paléohydrothermalisme ou hydrothermalisme profond sont similaires à ceux qui ont été abordés dans l'analyse des systèmes hydrothermaux superficiels : Quels sont les chenaux de circulation des fluides ? A quelle échelle se font les circulations ? D'où vient la minéralisation ? Quelle est l'origine des fluides ?

L'objectif est ici de comprendre l'importance des circulations de fluides dans l'évolution de la croûte continentale au cours de la formation d'une chaîne de montagne. Les implications scientifiques sont nombreuses, car cet hydrothermalisme profond s'accompagne d'un transfert de matière à l'échelle parfois crustale. Dans certains contextes, ils ont pu aboutir à un enrichissement en éléments chimiques pouvant alors atteindre des concentrations d'importances économiques et ainsi former des gisements métallifères (Gasquet *et al.*, 2004 ; Gasquet *et al.*, 2005 ; Gasquet *et al.*, 2008). Dans ce cas, les problématiques de recherche sont alors très étroitement liées aux besoins des exploitants miniers en termes de connaissance des gisements, et de leur formation.

Pour répondre à ces différents objectifs et enjeux, une approche pluridisciplinaire est incontournable et a été un moteur de dynamique commune de recherche au sein du laboratoire. Cette approche va des relevés de terrain (cartographie, analyse structurale et identification des chenaux d'infiltration) à la géochronologie (mise en contexte temporel et géodynamique), en passant par les analyses pétrographiques et pétrologiques (caractérisation de l'altération, identification d'évènements hydrothermaux), et géochimiques des minéralisations et de leurs roches encaissantes (source des fluides et origine des minéralisations,

échelle des circulations de fluide). Cette approche co-construite au sein du laboratoire, de programmes de recherche (INSU, Université de Savoie) et de conventions (Compagnie Minière de Touissit – Maroc, BRPM/ONHYM – Maroc, Ministère de l'Industrie...) a été conduite aussi bien pour l'étude des minéralisations d'importances économiques que des minéralisations stériles, non métallifères.

De ces travaux, il ressort que les circulations de fluides à grande échelle (régionale à crustale) se font via des réseaux de fractures et de veines qui peuvent aussi bien se mettre en place en régime extensif (e.g. fentes alpines non minéralisées, minéralisation aurifère de l'Ordovicien supérieur de Tamlalt-Menhouhou au Maroc, Figure 4 a) qu'en régime compressif (p.ex., fentes alpines, minéralisation aurifère tardi-varisque de Tamlalt-Menhouhou au Maroc, Figures 4 b et 5 ; Pelleter, 2007). Dans le cas d'évènements hydrothermaux associés à des minéralisations métallifères, le moteur des circulations de fluides est généralement thermique (convection thermique), les fluides étant mis en mouvement ou du moins réchauffés par la mise en place d'un pluton magmatique (cas des gisements de Tamlalt-Menhouhou – minéralisation ordovicienne – et de Tighza au Maroc). Dans le cas des veines non métallifères présentes dans la chaîne alpine ou dans le néoprotérozoïque pan-africain, la mise en mouvement des fluides peut être d'origine thermique, d'origine tectonique – les fluides sont alors mis en mouvement dans les réseaux de failles ou zones de cisaillement sous l'effet de contraintes compressives qui expulsent les fluides vers la surface – et/ou d'origine hydraulique.

Les recherches du laboratoire sur les minéralisations d'intérêt économique ont été essentiellement menées au Maroc, en partenariat avec les industriels : (i) étude du gisement aurifère de Tamlalt-Menhouhou en partenariat avec l'Office National des Hydrocarbures et des Mines - ONHYM (thèse de Ewan Pelleter, 2007), (ii) étude des minéralisations à Pb-Zn-Ag du district polymétallique de Tighza avec la Compagnie Minière de Touissit-CMT (thèse de Leïla Tarrieu, en cours), (iii) autres études menées notamment en partenariat avec l'Omnium Nord Africain-ONA, etc.

Dans chaque cas, l'objectif est d'établir un modèle métallogénique de formation du gisement, à savoir déterminer comment (origine des fluides et des métaux, nature des chenaux d'infiltration...) et surtout quand s'est formé le gisement. De prime abord, il semble qu'il s'agisse de répondre uniquement à des questionnements scientifiques sans intérêt direct pour les industriels et les compagnies exploitantes. Bien entendu il n'en est rien. En effet, les stratégies d'exploration des compagnies minières sont le plus souvent basées sur les similitudes des contextes géologiques (nature des roches) et géodynamiques (contexte tectonique associé à une période temporelle). Ainsi, une bonne connaissance de la formation des gisements et le calage temporel des épisodes hydrothermaux sont

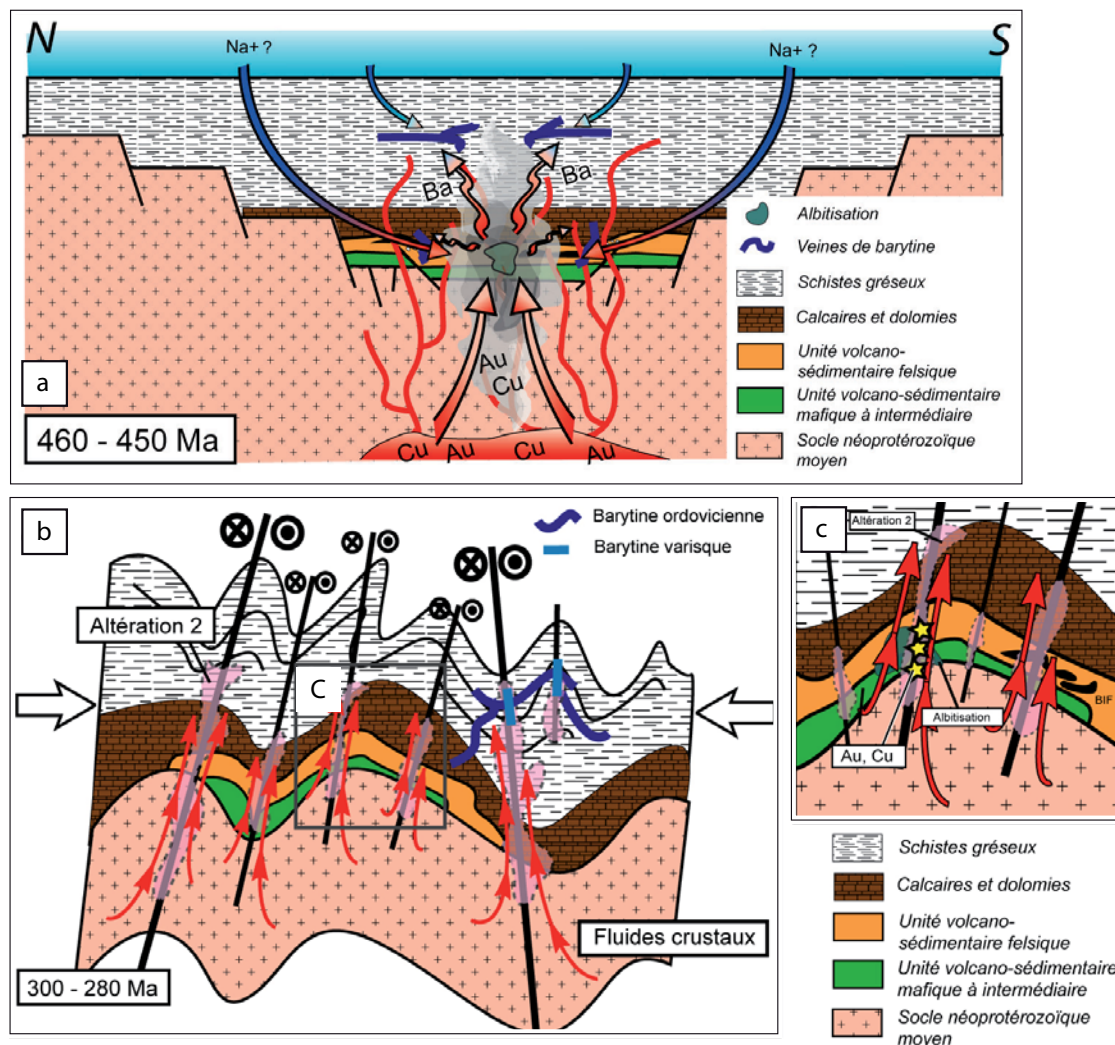


Figure 4 - Modèles génétiques proposés pour le gisement aurifère de Tamlalt-Menhouou (Maroc ; Pelleter, 2007).

a) A l'Ordovicien supérieur. Noter la présence d'un pluton en profondeur qui est à l'origine des fluides hydrothermaux minéralisateurs riches en Cu-Au (contexte magmatique).

b) Au début du Permien. La minéralisation aurifère ordovicienne est remobilisée par des fluides métamorphiques circulant dans de grandes zones de cisaillement dextre, dans un contexte ici amagmatique.

c) Zoom sur les zones de cisaillement le long desquelles se dépose l'Au remobilisé.

primordiaux pour avoir une stratégie d'exploration efficace.

L'importance de la géochronologie a été mise en évidence dans les deux cas les plus étudiés par le laboratoire EDYTEM :

- dans le gisement aurifère de Tamlalt-Menhouou (thèse d'E. Pelleter, 2007), une étude géochronologique détaillée des altérations et des filons minéralisés a permis de distinguer deux épisodes hydrothermaux et ainsi d'identifier une nouvelle période temporelle associée aux minéralisations aurifères, ouvrant ainsi de nouvelles pistes pour l'exploration minière au Maroc.
- dans le district polymétallique de Tighza (thèse de L. Tarrieu, en cours), les zircons magmatiques ont enregistré trois épisodes magmatiques distincts, associés chacun à un événement hydrothermal différent. Cela permet d'expliquer les formations des

différentes phases minéralisées observées sur le terrain, et donc de modifier les stratégies d'exploration en fonction des métaux recherchés.

D'un point de vue fondamental l'étude de l'hydrothermalisme profond, accompagné ou non de minéralisations d'intérêt économique, est un excellent moyen de mieux connaître l'évolution géodynamique d'une chaîne de montagne. En effet, les études menées sur les veines non minéralisées dans les Alpes occidentales et sur les dykes mafiques au Maroc ont permis de mieux appréhender l'évolution respective des chaînes alpines et pan-africaines. Par ailleurs, la connaissance des paléo-circulations est nécessaire pour comprendre le fonctionnement des systèmes hydrothermaux actuels superficiels, qui peuvent réutiliser les mêmes chenaux (drains) et dont la minéralisation des eaux peut être influencée par celle des paléo-systèmes hydrothermaux (cf. encadré).

LE CARACTÈRE CYCLIQUE DE L'HYDROTHERMALISME

La Figure a présente une synthèse, établie en 20 ans d'études (voir références dans Gasquet et al., 2005 ; 2008 ; Pelleter et al., 2007 ; Michard et al., 2008), de la distribution des principaux événements et des minéralisations importantes au Maroc, classés dans une colonne lithostratigraphique s'étendant du Paléoprotérozoïque au Cénozoïque, c'est-à-dire une section de croûte continentale d'environ 2,7 km formée en plus de 2 milliards d'années.

Six épisodes métallogéniques hydrothermaux principaux liés à des événements magmatiques et géodynamiques majeurs ont été définis au Maroc. Ils illustrent les relations génétiques entre les processus magmatiques, plutoniques ou volcaniques, et la formation des différents gisements. Pour synthétiser, on peut dire que chaque épisode hydrothermal est corrélé à un événement tectono-magmatique orogénique, les magmas et les fluides étant transférés de la profondeur vers la croûte supérieure à la faveur, la plupart du temps, de grands zones de failles.

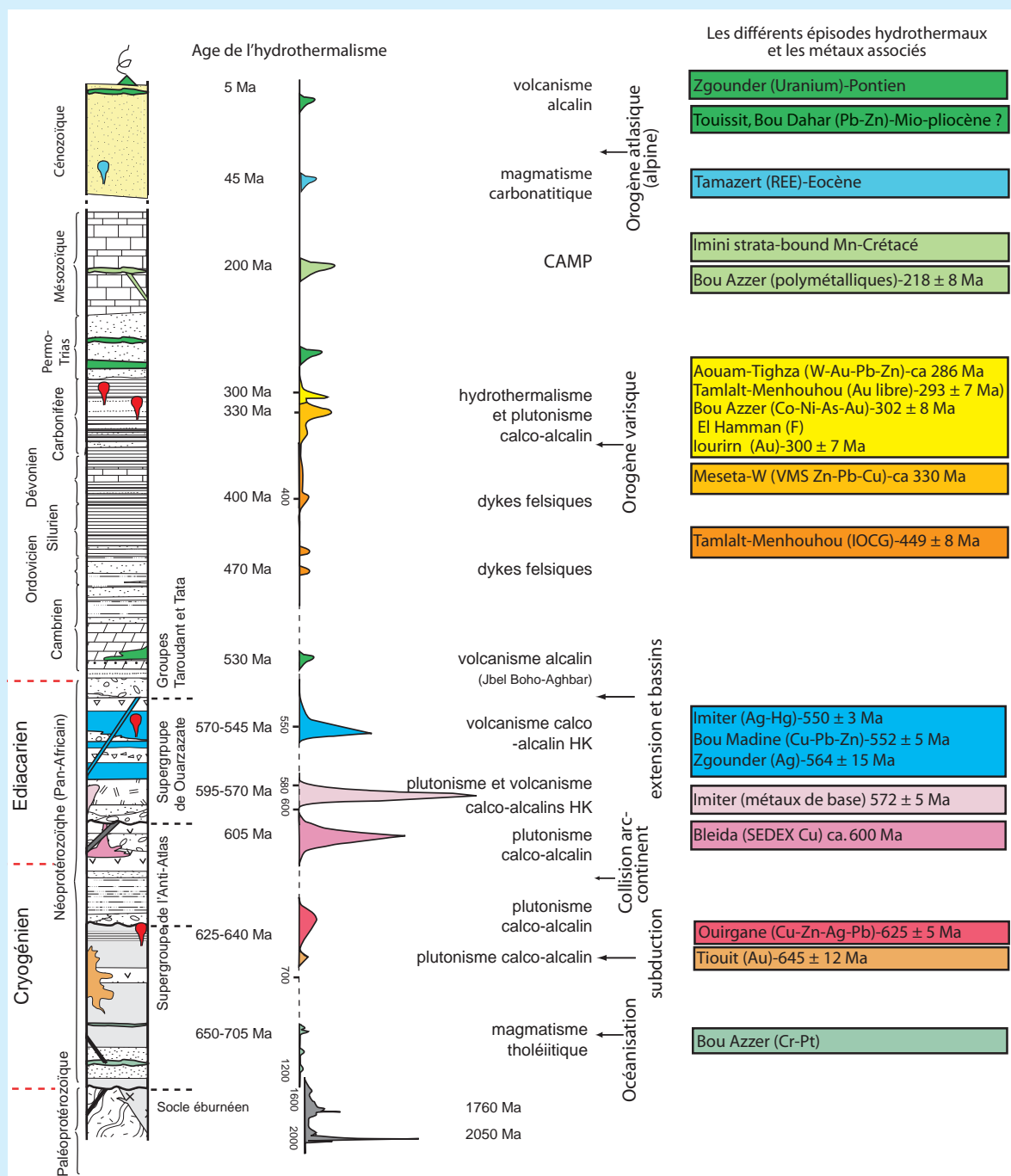


Figure a - Colonne lithostratigraphique associant les différents épisodes hydrothermaux à l'origine de minéralisations économiques, les magmatismes et les phases tectoniques et géodynamiques (d'après Gasquet et Cheilletz, 2009).



Figure 5 - Fente alpine horizontale à remplissage de quartz et épidote du massif de la Lauzière.

II - CIRCULATIONS DE FLUIDES ET RÉGIMES THERMIQUES TRANSITOIRES ASSOCIÉS

1 - Hydrothermalisme actuel alpin : enregistreur des cycles glaciation - déglaciation

La modélisation hydrodynamique- thermique a été un des outils qui a été mobilisé par EDYTEM ; il a pour intérêt et objet de contraindre les modèles conceptuels établis au préalable. Dans un premier temps, c'est sur la base des modèles généralement admis pour les systèmes hydrothermaux de montagne qu'ont été développées les recherches du laboratoire sur les sites d'Aix-les-Bains et de la Léchère (recherches doctorales de S. Gallino, 2007, et d'É Thiébaud, 2008). Dans un premier temps, ces modèles ont été construits sur la base d'un régime thermique permanent avec (i) une recharge du système sur les points hauts, (ii) un transfert vers la profondeur lié à la différence de charge hydraulique entre la zone de recharge et la zone d'émergence, (iii) un réchauffement progressif de l'eau par remise en équilibre thermique avec l'encaissant, et (iv) une remontée rapide vers la surface à la faveur d'une discontinuité géologique (faille ou structure sédimentaire).

Or il s'avère qu'en contexte hydrothermal de montagne où le flux géothermique est normal, le rapport entre les volumes de renouvellement actuels des systèmes hydrothermaux par les pluies efficaces et le volume de l'aquifère thermal relativement limité, induit un refroidissement généralisé de l'aquifère thermal. A partir d'un gradient géothermique non perturbé par les écoulements souterrains et la modélisation des températures observées aux émergences, le temps de fonctionnement a pu être évalué ; il est compris entre 10 000 et 20 000 ans après l'introduction des flux hydriques de renouvellement observés actuellement (Figure 6). Ces durées correspondant

à la fin de la dernière période glaciaire, il faut donc supposer que les systèmes hydrothermaux sont en état thermique transitoire et fonctionnent avec des conditions aux limites intermittentes avec des infiltrations réduites ou inexistantes sur les versants pendant les périodes glaciaires (présence des glaciers et de permafrost). Le flux géothermique peut donc réchauffer les eaux profondes et les versants où les circulations souterraines sont limitées. La reprise de l'infiltration à l'interglaciaire conduit à un refroidissement des versants qui s'accompagne d'une chasse des eaux chaudes vers les exutoires en fond de vallée. La prise en compte des grandes oscillations climatiques quaternaires dans le fonctionnement des systèmes hydrothermaux de montagne constitue un des principaux apports d'EDYTEM (Thiébaud *et al.*, 2010 b ; Gallino *et al.*, 2009). Ce nouveau concept a été développé dans la thèse d'É. Thiébaud (2008) récompensé par le prix Archambault 2009, décerné par le Comité français d'Hydrogéologie.

Les premiers modèles verticaux réalisés en 2D sur les sites d'Aix-les-Bains et de la Léchère (Figure 6) ne tiennent pas compte des échanges thermiques entre la zone aquifère et les roches encaissantes latérales le long de la zone de circulation, ni, dans le cas de la Léchère, de la géométrie de l'accident (faille inclinée) puisque le modèle est réalisé dans un plan de faille verticale. Afin de prendre en compte ces différents paramètres, il est apparu indispensable de passer à une modélisation en 3D qu'a réalisée Nicolas Roche lors de son contrat post-doctoral CNRS en 2009-2010 (Figure 7). Si le modèle 3D ne bouleverse pas les conclusions sur le caractère transitoire des circulations obtenu avec le modèle 2D, il permet en revanche d'étudier l'influence thermique spatiale et temporelle de ces circulations sur leur encaissant (refroidissement et réchauffement).

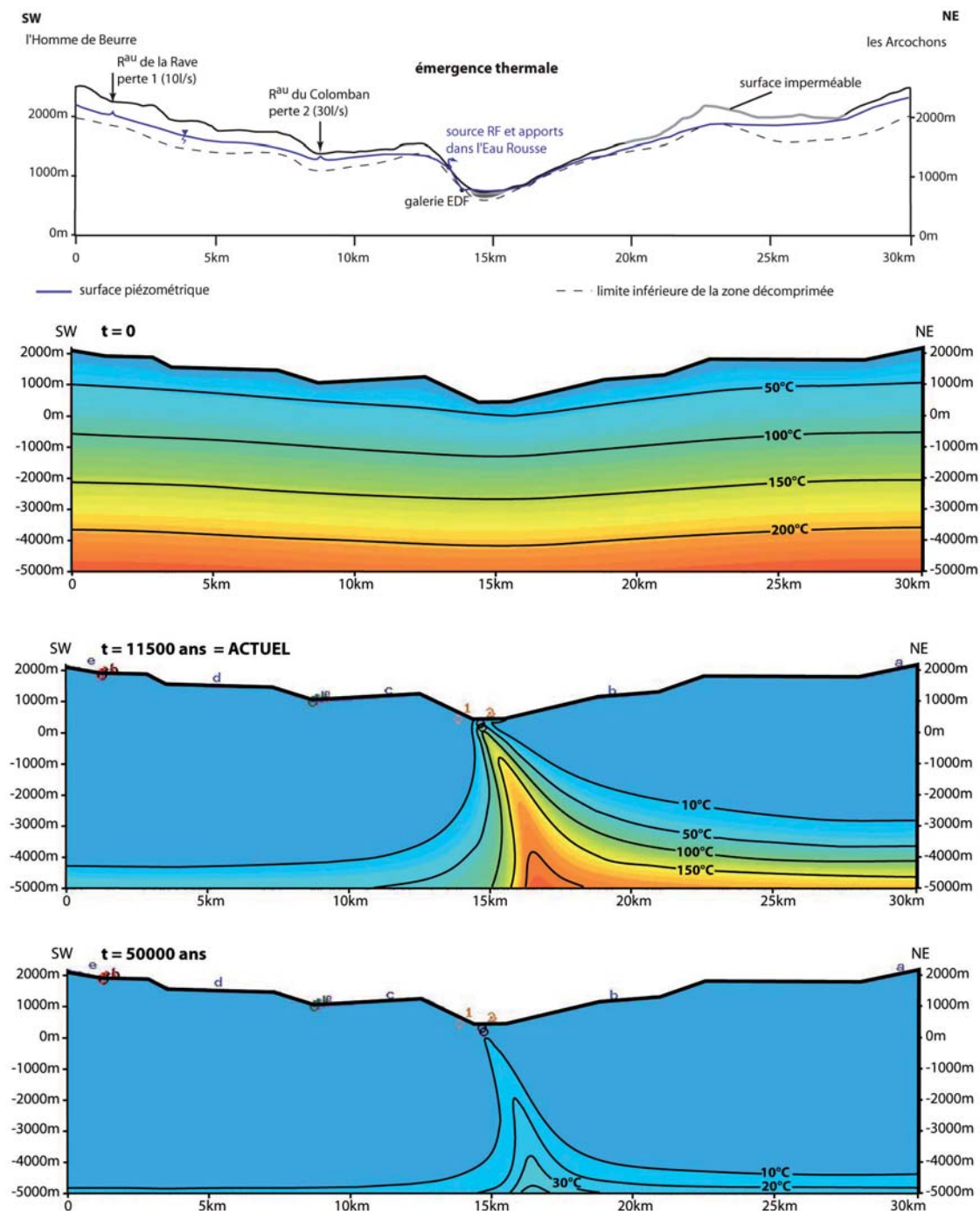


Figure 6 - Modélisation thermique (2D), dans un plan vertical perpendiculaire à la vallée, de l'évolution thermique du système hydrothermal de La Léchère dans les conditions de flux hydriques actuels et à partir d'un gradient thermique non perturbé par les circulations souterraines. Les températures des eaux observées actuellement correspondent à une durée de fonctionnement du système de 11500 ans ; le fonctionnement sur une durée de 50000 ans conduit à un refroidissement du système (d'après Thiébaud, 2008).

2 - Paléo-circulations hydrothermales dans le bassin de Bourg d'Oisans : phénomène intermittent

Ce travail en cours est dans le prolongement des résultats obtenus il y a quelques années sur l'évolution thermique post-métamorphique de la zone dauphinoise interne à partir du thermopaleomagnétisme par

une équipe de chercheurs dont l'un est aujourd'hui à EDYTEM. Ce travail se fait en étroite partenariat avec ISTERRE et le CEREGE. Cette méthode, basée sur la ré-aimantation des métasédiments jurassiques par néoformation de pyrrhotite lors du refroidissement post-pic du métamorphisme (360°C, 27,6 Ma), permet de retrouver l'enregistrement en continu d'une succession d'inversions magnétiques (Ménard et Rochette, 1992 ;

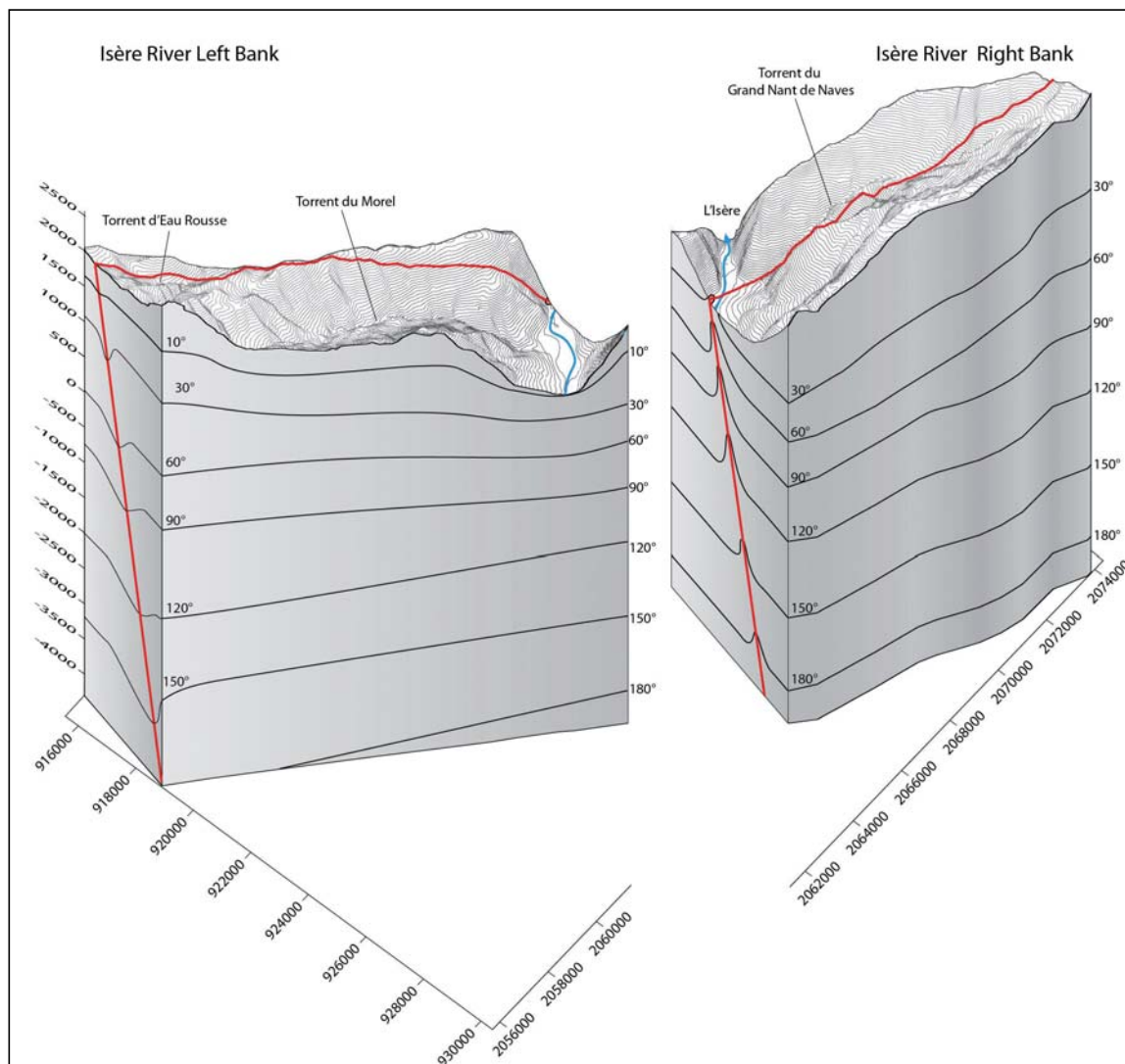


Figure 7 - Modèle 3D de la circulation des eaux dans le plan de faille de la Lécherè (d'après les travaux de Nicolas Roche, 2009-2010).

Rochette et *al.*, 1992). Il est possible alors, grâce à une désaimantation fine en laboratoire et à une corrélation de la séquence d'inversions obtenue avec l'échelle magnétostratigraphique, de suivre l'histoire du refroidissement (couple température-âge) avec une très grande précision (le degré pour la température, la précision de l'échelle magnéto-stratigraphique pour l'âge). Appliquée de manière fine au bassin de Bourgd'Oisans (Crouzet, 1997), cette méthode a permis de déterminer (i) une courbe de refroidissement entre 320 et 220°C (données brutes) ou 185°C (données corrigées prenant en compte la vitesse de refroidissement) durant la période 24-20 Ma (Figure 8, courbes violettes grasses), (ii) un palégradient géothermique de 24°C/km restant stable durant cette période et (iii) un palégradient horizontal N-S de plus de 3°C/km.

Des datations par traces de fission sur zircon ont été effectuées ultérieurement dans le socle cristallin sous-jacent pour valider le calage chronologique. Les échantillons prélevés à quelques dizaines de mètres du

contact montrent des âges alpins à 19 et 20 Ma, validant ainsi le calage chronologique de Crouzet (1997), mais compatibles avec la courbe de refroidissement issue des données brutes plutôt qu'avec la courbe corrigée.

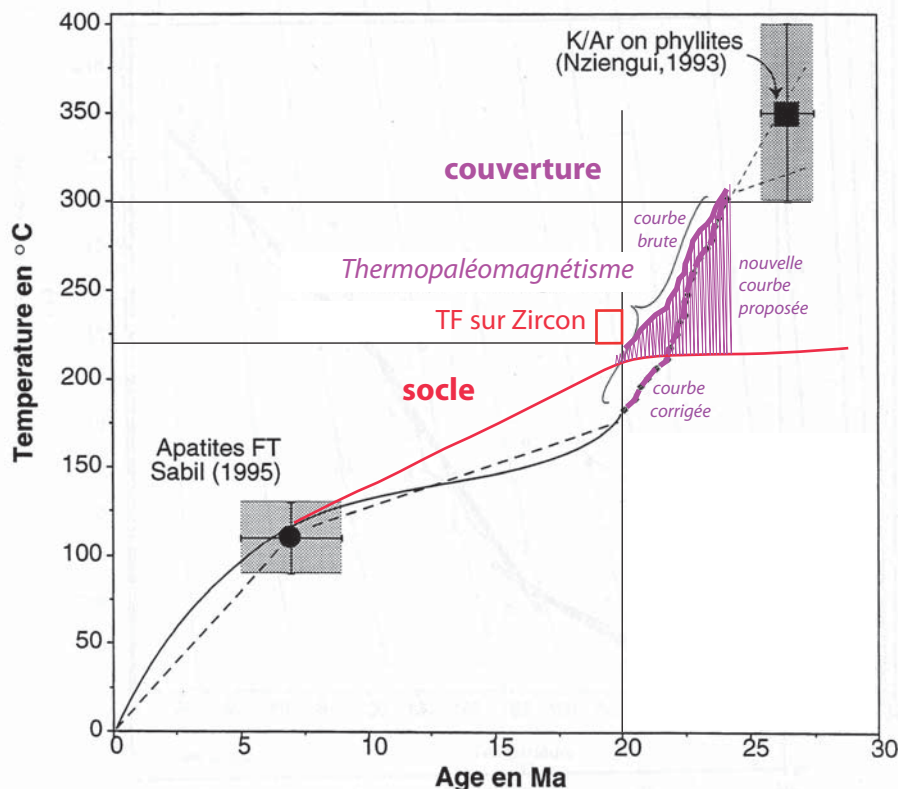
Des échantillons prélevés à une centaine de mètres du contact donnent des âges intermédiaires entre des âges anté-alpins et les âges alpins. Des datations déjà publiées (Seward et *al.*, 1999) obtenues plus au sud dans le massif du Pelvoux montrent des âges anté-alpins. Compte tenu de la température de fermeture du système pour les zircons (220-240°C), la persistance pendant plusieurs millions d'années dans les métasédiments d'une température supérieure à cette température de fermeture aurait dû provoquer un rééquilibrage thermique du socle et une remise à zéro des âges obtenus par traces de fission sur zircon. Ainsi pour lever cette contradiction il est nécessaire d'invoquer une succession d'épisodes de réchauffements de courtes durées (quelques années à quelques dizaines d'années) seulement compatible avec des circulations de fluides

Figure 8 - Evolution temporelle de la température dans le bassin de Bourg-d'Oisans. Les données sur la couverture sont représentées en violet et celles du socle en rouge.

La courbe brute est plus en accord avec les âges obtenus par traces de fission sur zircon que la courbe corrigée, suggérant un refroidissement rapide.

La durée exacte des périodes avec circulation et des périodes sans circulation reste à préciser.

Noter que contrairement à l'interprétation synthétique initiale (même histoire pour le socle et la couverture) le refroidissement dans le socle accélère vers 20 Ma (début de la surrection des massifs cristallins externes)



chauds intermittentes. La courbe de refroidissement déduite du thermopaléomagnétisme correspond alors à la courbe-enveloppe des températures atteintes lors de chaque pulse et traduit donc un excès thermique initial dans les sédiments de plus de 100°C, excès qui tend à se réduire au cours du temps.

Une modélisation hydro-thermique en cours montre que les perméabilités qu'il faut envisager pour rendre compte des données thermiques sont de 3 à 4 ordres de grandeur supérieurs à la perméabilité actuelle, impli-

quant une ouverture du milieu par des surpressions de fluides. Un parallèle entre ce type de phénomène et les séismes lents est envisagé (contexte tectonique régional actif).

Cette approche thermique, d'abord appliquée aux circulations chaudes actuelles ou anciennes peut être étendue au cas des circulations froides, avec un intérêt tout particulier porté à la durée (âge) de la perturbation déduite de la largeur de la zone perturbée (cf. ci-dessous).

III - NOUVEAU DOMAINE D'APPLICATION : IMPACT THERMIQUE DES CIRCULATIONS FROIDES

1 - Circulations en base de zone décomprimée de versant : perturbation thermique associées au Petit Age Glaciaire

Une étroite collaboration débutée dans les années 1990, impliquant les chercheurs du laboratoire EDYTEM et les ingénieurs et décideurs du Lyon-Turin Ferroviaire qui pilotent le projet de grand tunnel sous les Alpes, a permis d'acquérir de multiples données sur les écoulements et la thermique des versants.

Dans le cadre d'une étude de la signature thermique des circulations froides dans la zone décomprimée des versants, réalisée à partir des nombreuses données en forages obtenues lors des reconnaissances pour le tunnel de base de la Nouvelle Liaison Ferroviaire Lyon-Turin, les profils thermiques des forages situés dans la zone des aménagements souterrains de

Modane-Avrieux ont été exploités (thèse en cours de Grégoire Mommessin). Une nouvelle méthode d'analyse de ces données appliquée à la partie profonde des forages (sous la zone décomprimée), interprétée en termes de profil thermique en régime conductif perturbé par une modification de température appliquée à sa limite supérieure (base de la zone décomprimée), a conduit aux résultats suivants. Les forages ont enregistré une perturbation positive de 1,4 à 3,0°C ; compte tenu de l'épaisseur de la zone perturbée, cette perturbation remonte à 200-250 ans (Figure 9, Mommessin et al., 2013).

Cet âge suggère un lien avec la fin du Petit Âge Glaciaire. L'amplitude de cette perturbation, bien supérieure aux variations de température moyenne de l'air en surface admises pour cette période, suggère une amplification du phénomène au niveau des cir-

culations souterraines, en lien probablement avec une modification de la répartition (temporelle et altitudinale) des précipitations sous forme de pluie et de neige.

2 - Circulations dans le Mont-Blanc : phénomène lié à la fonte du pergélisol

Le tunnel du Mont-Blanc a rencontré lors de son percement de nombreuses venues d'eau dont la plus importante (>1 m³/s) s'accompagne d'une zone refroidie d'une demi-largeur de 1,5 à 2 km (Figure 10), caractéristiques rencontrées dans d'autres tunnels alpins.

Une modélisation hydraulique et thermique de ce phénomène, réalisée en 1998 par Maréchal, était com-

patible avec une activation des circulations froides il y a 10 000 ans. Toutefois certaines hypothèses discutables (températures en surface tamponnées à 0°C, même en haute altitude et en période froide, régime thermique permanent dans le massif, choix de la diffusivité thermique) justifient de reconsidérer le problème. Une nouvelle analyse de la zone refroidie en tant que superposition de trois anomalies ainsi qu'un choix réaliste de diffusivité thermique conduisent à faire débiter les circulations froides à seulement 6 000 ans, date plus conforme à ce qui est reconnu comme période de retrait des glaciers en haute montagne (fonte du pergélisol permettant l'infiltration de l'eau dans le massif).

Cette étude est complétée par la prise en compte de deux problèmes supplémentaires : (1) la révision du

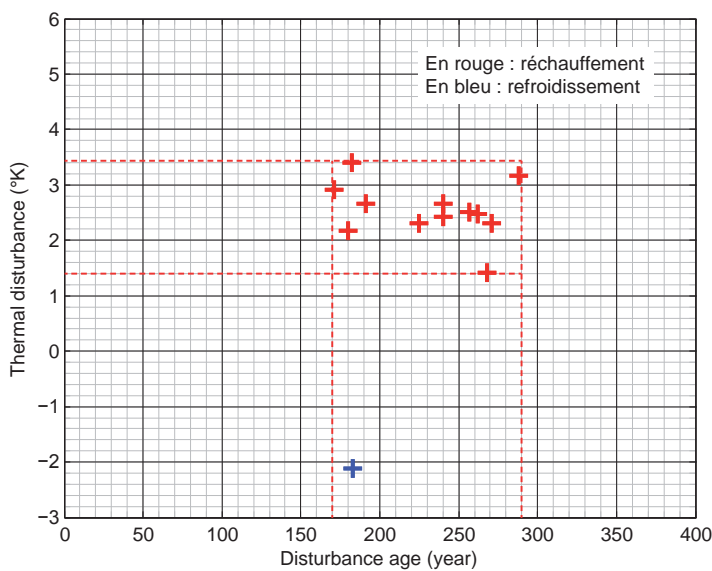
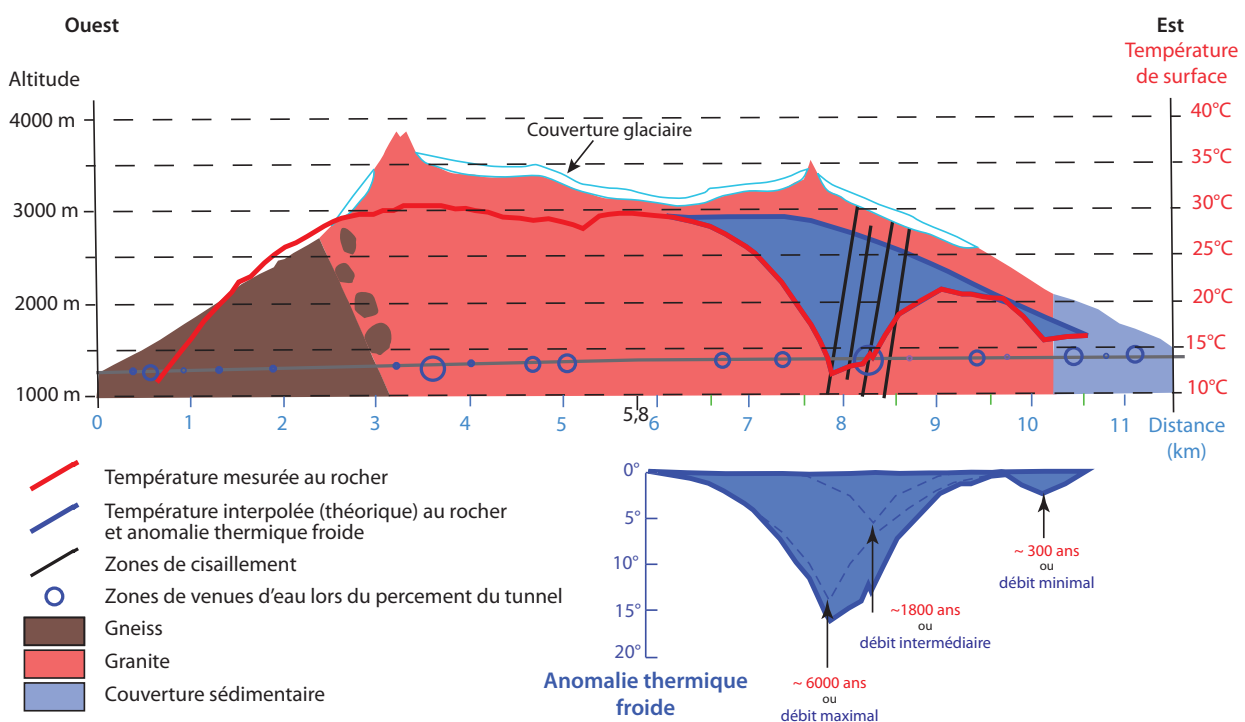


Figure 9 - Couples âge-amplitude de la perturbation thermique pour les différents forages de la zone des aménagements souterrains de Modane-Avrieux.

Figure 10, ci-dessous - Profil thermique mesuré (courbe rouge) et interpolé (profil conductif théorique en l'absence de circulation de fluides ; courbe bleu) dans le tunnel du Mont-Blanc. L'anomalie thermique froide correspond à la différence de température entre le profil thermique mesuré et le profil thermique interpolé.

En bas ; l'anomalie thermique froide peut être considérée comme la superposition de trois perturbations soit successives (interprétation ci-dessus), soit contemporaines et associées à des débits différents.



régime thermique conductif dans l'ensemble du massif considéré non plus comme un régime permanent (hypothèse Maréchal, 1998) mais comme un régime transitoire contrôlé par l'évolution de la température en surface depuis au moins 20 000 ans, en admettant la possibilité de températures négatives en surface en haute altitude ; (2) la recherche des couloirs de fracture localisant les circulations en aval hydraulique du

tunnel ainsi que la recherche de l'exutoire de ces circulations sur la bordure italienne du massif. Ces différentes approches constituent un ensemble d'études fédérant une grande partie de l'équipe *Dynamiques des versants de montagnes* d'EDYTEM. Ce travail sur les effets du recul du permafrost est en miroir avec les recherches menées en haute altitude (cf. objet emblématique Haute Montagne).

IV - L'ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES SYSTÈMES HYDROTHERMAUX

Si les systèmes hydrothermaux superficiels et les systèmes métallifères profonds sont généralement bien étudiés individuellement, peu d'études ont essayé de faire le lien entre ces deux systèmes (ou parties d'un même système) et de comparer leurs fonctionnements. Un tel couplage s'avère cependant indispensable d'une part pour concevoir un modèle hydrodynamique et thermique des circulations de fluides à l'échelle de la croûte continentale, et d'autre part pour avoir une vision globale des transferts de fluides et de leur évolution au cours du temps. C'est à ce couplage que s'attèlent actuellement plusieurs recherches menées au sein d'EDYTEM (Mémoire of Understanding avec le Geological Survey of Iran).

1 - Les systèmes hydrothermaux alpins : exemple de systèmes amagmatiques

Dans le cas des systèmes hydrothermaux actuels étudiés dans les Alpes, un modèle conceptuel de fonctionnement a pu être établi sur la base des travaux menés antérieurement au sein du laboratoire (Gallino et al., 2008, 2009 ; Thiébaud et al., 2010a ; Josnin et Dzikowski, 2012) ; celui-ci ayant été contraint par une modélisation hydrodynamique-thermique dans les cas d'Aix-les-Bains et de la Léchère. Ces modèles ont permis de caractériser le fonctionnement des systèmes hydrothermaux depuis le début de la dernière déglaciation. Cependant autour des sources thermales alpines (p.ex., La Léchère ou Salins-les-Thermes), on trouve toujours des dépôts de travertins qui témoignent également de circulations de fluides, mais qui ont été peu voire pas du tout étudiés en tant qu'enregistreurs et marqueurs des circulations profondes.

La présence de ces travertins à proximité des sources thermales actives soulève de nombreuses questions :

- ces travertins qui sont spatialement associés aux sources thermales actives sont-ils génétiquement hydrothermaux ?
- ces dépôts de travertins recouvrant les versants ou les pieds de versants sont très certainement quaternaires, mais sont-ils associés à l'évolution au cours

du Quaternaire du système hydrothermal actuellement actif ou témoignent-ils de la succession temporelle de plusieurs événements hydrothermaux ?

- dans ce dernier cas, les chemins empruntés par les fluides sont-ils similaires ou les fluides empruntent-ils des chemins différents lors de chaque épisode hydrothermal ?

La réponse à ces questions passe nécessairement par (i) la datation des différents dépôts de travertins, (ii) l'estimation de la température des eaux thermales responsables de la formation de ces dépôts travertineux, (iii) la comparaison de la composition chimique des travertins avec celle des minéralisations actuelles au niveau des sources thermales proches. L'étude des travertins alpins et de leurs relations avec les eaux thermales représente donc une prochaine étape pour comprendre le fonctionnement des systèmes hydrothermaux associés à la fin de l'orogénèse alpine. C'est un des enjeux de recherche actuels du laboratoire.

2 - Les systèmes hydrothermaux du nord-ouest de l'Iran : exemple de systèmes magmatiques

La région de Takab-Angouran (NW de l'Iran) témoigne d'une très forte activité hydrothermale au cours des derniers 20 Ma, caractérisée par la présence de nombreux gisements métallifères, de nappes de travertins fossiles quaternaires (de 10 à 100 km²) et de sources thermales actives (cf. encadré). Par ailleurs, on retrouve dans tous les districts miniers de la région des nappes de travertins spatialement associées aux minéralisations. La succession des épisodes hydrothermaux sur chaque site rend donc ces sites uniques pour l'étude de l'évolution du fonctionnement des systèmes hydrothermaux. La région de Takab-Angouran est donc une excellente cible pour aborder les relations entre systèmes hydrothermaux profonds (dépôts métalliques) et superficiels (dépôts de travertins, sources thermales actives). La région présentant une très forte anomalie thermique, le moteur des circulations de fluides est très vraisemblablement thermique ; les circulations de fluides étant associées à un contexte magmatique.

ORGANISATION DE COLLOQUES

SÉANCE SPÉCIALISÉE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

« HYDROTHERMALISME EN MILIEU CONTINENTAL », 23-24 OCTOBRE 2008

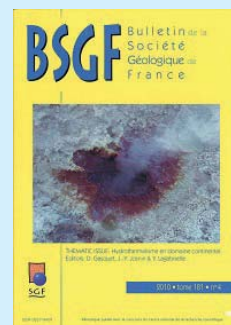
La séance spécialisée de la Société Géologique de France organisée par le laboratoire EDYTEM au Bourget du Lac est le premier colloque français à avoir croisé sous un angle résolument transversal les différents regards et champs d'action scientifiques sur l'hydrothermalisme en domaine continental : depuis la compréhension du paléohydrothermalisme aux modes de gestion durable, en passant par le fonctionnement hydrodynamique et la définition des vulnérabilités des eaux thermales actuelles.

Le colloque a été organisé en six séances disciplinaires et une excursion sur le site d'Aix-les-Bains, qui a permis d'illustrer la nécessité d'une démarche interdisciplinaire :

- couplages minéralisations / circulations ;
- paléohydrothermalisme ;
- patrimoine thermal ;
- réservoirs thermo-minéraux ;
- fonctionnement hydrodynamique et échanges thermiques ;
- exploitation, qualité, vulnérabilité, gestion de la ressource.

La présence d'une centaine de participants représentants une quinzaine d'institutions et établissements universitaires français et une douzaine d'institutions étrangères, souligne l'intérêt d'une approche croisée de l'hydrothermalisme par la confrontation des données, des concepts et des modèles.

Ce colloque a par ailleurs donné lieu à la publication de deux ouvrages : i) le numéro spécial du Bulletin de la Société Géologique de France, July 2010, 181(4), 294-407 ; ii) le Collection EDYTEM n° 9 (2009) : *L'hydrothermalisme en domaine continental : fonctionnement, ressource et patrimoine*, 108 p.



ÉCOLE THÉMATIQUE « RESSOURCES MINÉRALES : DÉFIS SCIENTIFIQUES ET SOCIÉTAUX », 5-7 FÉVRIER 2013

L'École Thématique du CNRS *Ressources Minérales : défis scientifiques et sociétaux* organisée à Genève par l'Université de Genève, l'Université Joseph Fourier de Grenoble (ISTerre) et l'Université de Savoie (EDYTEM) a été un véritable succès (350 participants, issus des grandes compagnies minières, compagnies juniors, bureaux d'étude, universitaires et chercheurs, doctorants et étudiants).

Cette École Thématique s'inscrit dans la continuité des trois écoles précédentes (Nancy, Orléans, Paris) qui se sont focalisées sur les aspects métallogéniques, méthodologiques de l'étude et de la prospection des gisements, ainsi que sur l'exploitation et la valorisation des minerais. L'École Thématique 2013 s'est quant à elle ouverte aux impacts environnementaux et sociétaux.

L'École Thématique 2013 a été organisée en séances plénières autour de 5 thèmes :

- formation des gisements : principes de base ;
- prospection de l'exploration et évaluation des gisements ;
- impacts environnementaux, remédiation et green-mining ;
- économie minière et trading ;
- formation des gisements : de la nécessité d'une approche pluridisciplinaire.

Les échanges sous forme d'ateliers et de table-rondes ont été particulièrement appréciés : *Quelles formations pour quels emplois ? ; Quel avenir pour les gisements sous-marins ? ; Aspects sociétaux des exploitations ; Quels défis scientifiques pour la connaissance des gisements ;* de même que les présentations des projets d'élèves-ingénieurs.

Les conférences en séance plénière de Stuart Simmons sur les *gisements épithermaux*, et de Mike Harris de la société Rio Tinto sur la *moralité de l'industrie minière* ont marqué deux moments importants de cette École Thématique. La société Rio Tinto a par ailleurs remis des distinctions à 4 jeunes scientifiques pour la qualité de leurs travaux de recherche novateurs et/ou multidisciplinaires qui ont été présentés sous forme de posters.

Cette École Thématique a permis aux différentes communautés de se rencontrer et de confronter leurs pratiques, ce qui a été particulièrement profitable aux 200 étudiants de Master et élèves-ingénieurs, ainsi qu'à la quarantaine de doctorants et post-doctorants. Le nombre important de participants et les discussions animées traduisent un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique et universitaire pour la métallogénie, les ressources minérales et leur impact sur l'environnement.

ÉCOLE THÉMATIQUE CNRS ET UNIVERSITÉ DE GENÈVE

5 au 7 février 2013

Uni Mail - Auditorio R080 - Bd du Pont-d'Arve 40, Entrée libre

Est-il réaliste d'envisager une reprise de l'activité minière dans d'anciens grands pays miniers ?

Quels sont actuellement les obstacles scientifiques, économiques, environnementaux et sociétaux à surmonter pour l'ouverture ou le développement des exploitations minières ?

Programme complet sur: unige.ch/sciences/terre/Enseignement/ConferencesSeminaires.html

Logos: CNRS, Université Joseph Fourier, Université de Genève, EDYTEM

La présence sur plusieurs sites de minéralisations métallifères, de travertins et de sources thermales soulève de nombreuses questions, dont les plus importantes sont :

- comment fonctionne le système hydrothermal actuel ?
- les circulations de fluides récentes interagissent-elles avec les minéralisations plus anciennes ? Existe-t-il des remobilisations des métaux ?
- existe-t-il un lien génétique entre les minéralisations métallifères, les travertins, les sources thermales et le magmatisme régional ?
- les différents épisodes hydrothermaux correspondent-ils à des événements distincts ou à différents stades d'un même événement hydrothermal ?
- quelle est l'échelle des circulations ? Existe-t-il ou a-t-il existé des relations entre les différents sites ?

Il est donc indispensable de coupler les études des gisements métallifères, des travertins et des sources (thermales et froides). Cela nécessite donc une approche pluridisciplinaire combinant géologie de terrain, hydrodynamique, hydrochimie, géochimie, et géochronologie.

EDYTEM, l'Université de Karlsruhe (Allemagne) et le Geological Survey of Iran ont développé un projet de recherche bilatéral afin d'étudier l'hydrothermalisme de la région de Takab-Angouran. C'est pour EDYTEM une excellente opportunité de faire le lien entre les systèmes hydrothermaux superficiels et profonds, ce qui était l'un des objectifs de la formation de l'axe transversal *Systèmes Hydrothermo Minéraux* en 2007. Par ailleurs, un tel projet fait appel aux différentes compétences des scientifiques d'EDYTEM (géologie de terrain, métallogénie, hydrogéologie, étude des travertins...).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'originalité du laboratoire EDYTEM est d'étudier les systèmes hydrothermaux de montagne en tentant de combiner les approches et compétences des hydrogéologues et des géologues. Les systèmes étudiés sont très divers en termes de contextes géologiques, d'échelles spatio-temporelles des circulations de fluides, de minéralisations, etc. En effet, les travaux réalisés portent aussi bien sur des systèmes globaux – p.ex., les paléo-circulations hydrothermales au contact entre deux unités alpines (Bassin de Bourg-d'Oisans, Isère) – que sur des effets très locaux dans les aquifères – p.ex., les phénomènes de mélanges aux émergences. De même les systèmes étudiés ont une durée de fonctionnement très variable de quelques dizaines de milliers d'années pour les circulations superficielles à quelques centaines de milliers d'années voire quelques millions d'années pour le fonctionnement des systèmes hydrothermaux profonds. Ces durées de fonctionnement restent cependant encore mal contraintes. Il est donc important à l'avenir d'essayer de préciser les durées d'un épisode hydrothermal et d'un événement hydrothermal pouvant regrouper plusieurs épisodes.

Tous les travaux réalisés ces dernières années et actuellement à EDYTEM, quelle que soit la nature du système hydrothermal étudié et l'échelle des circulations de fluides, mettent particulièrement en évidence le caractère transitoire des circulations de fluides et du régime thermique associé. Les circulations sont caractérisées par des épisodes (pulses) de durée et d'intermittence variables. Outre la question de la durée de ces épisodes, il est important égale-

ment de tenter de déterminer leur origine qui peut être très diverse :

- tectonique, comme dans le Bassin de Bourg d'Oisans ou dans les fentes alpines ;
- magmatique et tectonique, comme dans le district polymétallique de Tighza (Maroc) ;
- climatique, comme dans les systèmes hydrothermaux actuels d'Aix-les-Bains et de La Léchère, où la mise en mouvement des eaux est liée à la déglaciation dans les zones d'impluviums.

Cet aspect transitoire des circulations a été particulièrement bien mis en évidence grâce au développement des travaux sur la thermique. Ceux-ci permettent par ailleurs d'étendre les modèles et d'utiliser les compétences développées pour l'étude de l'hydrothermalisme vers l'étude de processus plus froids impliquant des fluides, tels que la circulation d'eaux froides dans les zones les plus superficielles des massifs, voire l'évolution du permafrost à haute altitude.

Les travaux sur les travertins alpins et iraniens devraient permettre de faire le lien entre les systèmes hydrothermaux superficiels et profonds. L'étude de l'hydrothermalisme de la région de Takab-Angouran en Iran permettra très certainement de faire de grandes avancées dans ce sens. Ce projet, qui entend se développer dans les années à venir, est très fédérateur puisqu'il nécessitera les compétences de tous les membres d'EDYTEM travaillant sur l'hydrothermalisme (hydrodynamique, hydro- et géochimie, métallogénie, géologie structurale...) mais également celles d'autres membres du laboratoire tels que des spécialistes des travertins, de la géomorphologie, etc.

BIBLIOGRAPHIE

- BONI M., GILG H.A., BALASSONE G., SCHNEIDER J., ALLEN C.R., MOORE F., 2007. Hypogene Zn carbonates ores in the Angouran deposit, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 42, 799-820.
- CROUZET C., 1997. Le thermopaleomagnétisme : méthodologie et applications (tectonique, thermique et géochronologique) à la zone dauphinoise interne (Alpes occidentales, France). *Géologie Alpine*, HS 27, 199 p.
- MARÉCHAL J.-C., 1998. Les circulations d'eau dans les massifs cristallins alpins et leurs relations avec les ouvrages souterrains. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, thèse n°1769, 296 p.
- MICHARD A., HOEPFFNER C., SOULAIMANI A., BAIDDER L., 2008. The Variscan belt. In MICHARD A., SADDIQI O., CHALOUAN A., FRIZON DE LAMOTTE D. (eds.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Structure, Stratigraphy and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction*. Springer Verl., Berlin, Heidelberg, 65-132.
- NZIENGI J.-J., 1993. Excès d'argon radiogénique dans les quartz des fissures tectoniques : implications pour la datation des séries métamorphiques. L'exemple de la coupe de la Romanche, Alpes occidentales françaises. Université J. Fourier, Grenoble 1, thèse 3^e cycle, 209 p.
- SABIL N., 1995. Datation par traces de fission: aspects méthodologiques et applications thermochronologiques en contexte alpin et de marge continentale. Université J. Fourier, Grenoble, thèse, 238 p.
- SEWARD D., FORD M., BÜRGISSER J., LICKORISH H., WILLIAMS E.A., MECKEL L.D., 1999. Preliminary results of fission track analyses in the Southern Pelvoux area, SE France. In GOSSO G., JADOUL F., SELLA M., SPALLA M.I. (ed.), 3rd workshop on Alpine Geological studies. *Memorie di Scienze Geologiche*, 51, 25-31.
- CHEILLETZ A., GASQUET D., FILALI F., ARCHIBALD D.A., NESPOLO M., 2010. A late Triassic ⁴⁰Ar/³⁹Ar age for the El Hammam high-REE fluorite deposit (Morocco): mineralization related to the Central Atlantic Magmatic Province? *Mineralium Deposita*, 45, 323-329.
- GALLINO S., 2006. Le karst du dôme anticlinal d'Aix-les-Bains: nouvelles données sur le panache hydrothermal. *Karstologia*, 48, 29-32.
- GALLINO S., BULLOZ M., NAFFRECHOUX E., DZIKOWSKI M., GASQUET D., 2008. The influence of extraction rate on the reduced sulphur content of Aix-les-Bains thermal spring waters: consequences for resource-quality monitoring. *Applied Geochemistry*, 23, 6, 1367-1382.
- GALLINO S., JOSNIN J.-Y., DZIKOWSKI M., CORNATON F., GASQUET D., 2009. The influence of paleoclimatic events on the functioning of an alpine thermal system: the contribution of hydrodynamic thermal modelling. *Hydrogeology Journal*, 17, 8, 1187-1900.
- GALLINO S., DZIKOWSKI M., JOSNIN J.-Y., GASQUET D., 2010. Characterization of the hydrogeological boundary separating two aquifers: a multi-disciplinary approach combining geological, geochemical and hydrodynamic data (Aix-les-Bains, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181, 4, 305-313.
- GASQUET D., CHÈVREMONT P., BAUDIN T., CHALOT-PRAT F., GUERROT C., COCHERIE A., ROGER J., HASSENFORDER B., CHEILLETZ A., 2004. Polycyclic magmatism in the Tagragra and Kerdous-Tafeltast inliers (Western Anti-Atlas, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 39, 267-275.
- GASQUET D., LEVRESSE G., CHEILLETZ A., AZIZI-SAMIR M.R., MOUTTAQI A., 2005. Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian-Cambrian transition. *Precambrian Research*, 140, 157-182.
- GASQUET D., ENNIH N., LIÉGEOIS J.-P., SOULAIMANI A., MICHARD A., 2008. The Pan-African Belt. In MICHARD A., SADDIQI O., CHALOUAN A., FRIZON DE LAMOTTE D. (Eds.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Structure, Stratigraphy, and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction*. Springer Verl., Berlin, Heidelberg, 33-64.
- GASQUET D., CHEILLETZ A., 2009. L'hydrothermalisme : un phénomène cyclique dans les temps géologiques conséquences pour la prospection minière au Maroc. In GALLINO S., GAUCHON C. (dir.), *L'hydrothermalisme en domaine continental. Fonctionnement, ressource et patrimoine*. *Collection EDYTEM*, 9, 49-56.
- GASQUET D., BERTRAND J.-M., PAQUETTE J.-L., LEHMANN J., RATZOV G., DE ASCENCAO GUEDES R., TIEPOLO M., BOULLIER A.-M., SCAILLET S., NOMADE S. 2010. Miocene to Messinian deformation and hydrothermal activity in a pre-alpine basement massif of the French Western Alps: New U-Th-Pb and Argon ages from the Lauzière massif. *Bulletin Société Géologique de France*, 181, 3, 227-241.
- JOSNIN J.-Y., DZIKOWSKI M., 2012. Influence de la période glaciaire dans la mise en place des systèmes hydrothermaux (exemples en Savoie). *Géologues*, 175, 61-66.
- JOSNIN J.-Y., GALLINO S., RENARD P., 2013. Can electrical conductivity data from a single pumping test provide information about the location of a neighboring mixing zone between two aquifers? An example from Aix-les-Bains/Marlioz (Savoie, France). *Journal of Hydrology*, 502, 68-76.
- MÉNARD G., ROCHETTE P., 1992. Utilisation de réaimantation postmétamorphique pour une étude de l'évolution tectonique et thermique tardive dans les Alpes occidentales (France). *Bull. Soc. Géol. France*, 163, 4, 381-392.
- MOMMESSIN G., DZIKOWSKI M., MÉNARD G., MONIN N., 2013. Deep thermal disturbances related to the sub-surface groundwater flow (Western Alps, France). *EGU*, 15.
- PELLETER E., CHEILLETZ A., GASQUET D., MOUTTAQI A., ANNICH M., EL HAKOUR A., DELOULE E., FÉRAUD G., 2007. Hydrothermal zircons: a tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit-Morocco). *Chemical Geology*, 245, 135-161.
- ROCHETTE P., MÉNARD G., DUNN R., 1992. Thermochronometry and cooling rates deduced from single sample records of successive magnetic polarities during uplift of metamorphic rocks in the Alps (France). *Geophys. J. Int.*, 108, 491-501.

- ROLLAND Y., ROSSI M., COX S.F., CORSINI M., MANCKTELOW N., PENNACCHIONI G., FORNARI M., BOULLIER A.-M., 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of synkinematic white mica: insights from fluid–rock reaction in low-grade shear zones (Mont Blanc Massif) and constraints on timing of deformation in the NW external Alps. In WIBBERLEY C., KURTZ W., IMBER J., HOLDSWORTH R.E., COLLETTINI C. (eds), *The Internal Structure of Fault Zones: Implications for Mechanical and Fluid-Flow Properties*. *Geological Society of London*, SP, 299, 293-315.
- THIÉBAUD E., DZIKOWSKI M., GASQUET D., RENAC C., 2010 a. Reconstruction of groundwater flows and chemical water evolution in an amagmatic hydrothermal system (La Léchère, French Alps). *Journal of Hydrology*, 381, 3-4, 189-202.
- THIÉBAUD E., GALLINO S., DZIKOWSKI M., GASQUET D., 2010 b. The influence of glaciations on the dynamics of mountain hydrothermal systems: numerical modeling of the La Léchère system (Savoie, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 181, 4, 295-304.
- Thèses soutenues**
- THIÉBAUD E., 2008. Fonctionnement d'un système hydrothermal associé à un contact tectonique alpin (La Léchère, Savoie). Apports de l'hydrogéologie, de la géochimie et de la modélisation hydrodynamique et thermique en vue de la gestion de la ressource. Université de Savoie, thèse de doctorat, 330 p.
- GALLINO S., 2007. Hydrogéologie, géochimie et modélisation hydrodynamique-thermique d'un système thermo-minéral associé un contact structural alpin (Aix-les-Bains - Savoie). Université de Savoie, thèse de doctorat, 338 p.
- GUYOMARD A., 2006. Étude structurale et hydrogéologique de la terminaison occidentale du Massif des Mémises et de ses relations avec le complexe détritique quaternaire d'Evian. Université de Savoie, thèse de doctorat, 336 p.
- PELLETER E., 2007. Géologie, géochimie et géochronologie du gisement aurifère de Tamlalt-Menhouhou (Haut-Atlas oriental). Institut National Polytechnique de Lorraine, thèse de doctorat, 237 p.
- Thèses en cours**
- MOMMESSIN G. Hydrogéologie des versants de montagne. Impact sur la thermicité des versants. Université de Savoie, thèse débutée en 2011.
- DOUBLET C. Fonctionnement du système hydrothermal de Salins-les-Thermes (Savoie). Université de Savoie, thèse débutée en 2011.
- TARRIEU L. Étude de la minéralisation Pb-Zn-Ag périgranitique du gisement de Tighza. Université de Savoie, thèse débutée en 2010.

L'OBJET EMBLÉMATIQUE KARST

PAYSAGES, MÉMOIRES DE L'ENVIRONNEMENT ET DES HOMMES

DIX ANNÉES DE RECHERCHES AU LABORATOIRE EDYTEM

JEAN-JACQUES DELANNOY, ÉLISA BOCHE, DIDIER CAILHOL, ISABELLE COUCHOUD, ÉMILIE CHALMIN,
RUSSELL DRYSDALE, MÉLANIE DUVAL, MARC DZIKOWSKI, CHRISTOPHE GAUCHON, FABIEN HOBLÉA,
STÉPHANE JAILLET, VINCENT LIGNIER, CHARLOTTE MALGAT, CAROLE NEHMÉ, YVES PERRETTE,
JÉRÔME POULENARD, MARINE QUIERS, BENJAMIN SADIÉ

Contact : jean-jacques.delannoy@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

Le karst, et plus particulièrement sa dimension souterraine, ont toujours eu une place importante au sein d'EDYTEM même si celle-ci a été peu mise en avant lors de la construction du laboratoire et de sa définition, il y a maintenant un peu plus de 10 ans. Plusieurs éléments expliquent cette réserve de principe. Tout d'abord, une volonté de ne pas privilégier un objet de recherche plus qu'un autre ; nous étions, en effet, dans la recherche d'une structuration du laboratoire où chaque membre puisse se retrouver et s'identifier (cf. introduction générale). Par ailleurs, nous avons conscience que la création de laboratoires autour de terrains spécifiques n'était plus dans l'air du temps... Du côté des tutelles, la logique était plus à la fermeture qu'à la création d'unités de recherche. Enfin, nous avons chacun nos bagages respectifs liés à nos recherches antérieures sur le karst. De ces expériences, nous avons conscience qu'il y avait de nouvelles manières d'aborder le karst et de valoriser nos compétences en hydrogéologie, en géomorphologie, en environnement *via* les archives, en géographie du tourisme et en lien avec l'étude des patrimoines (naturels et culturels). Restait à définir ces nouvelles manières de travailler sur le karst : une première réponse fut d'intégrer nos recherches dans des problématiques plus larges, celles des trois équipes du laboratoire. Cette décision n'a pas été neutre et elle a, *de facto*, engendré une autre manière de travailler sur le karst : on ne travaillait plus sur le karst pour le karst mais sur le karst pour (i) étudier les interactions Hommes/Milieus passées et récentes, (ii) définir ses valeurs patrimoniales autour desquelles des projets de valorisation pouvaient être engagés par les acteurs des territoires concernés,

(iii) souligner le potentiel informationnel dans les reconstitutions du climat et de l'environnement aux côtés des autres archives sédimentaires, et (iv) relever que, bien que fragiles, les aquifères karstiques constituent des réserves en eau non négligeables dans un contexte de changement global. On a pu entendre ici et là le terme d'école chambérienne en référence aux recherches menées sur le karst. Cette approche du karst a été sans nul doute un élément fort dans l'attractivité du laboratoire si on en juge par la croissance des membres et doctorants impliqués aujourd'hui dans l'étude du karst : de six membres travaillant sur le karst lors de la création du laboratoire en 2003, nous sommes désormais plus d'une quinzaine impliquée pleinement ou partiellement sur des objets karstiques. Cette dynamique s'est également traduite par la soutenance de six thèses et l'implication dans des instances nationales et des programmes de recherche qui ont été des vecteurs importants de visibilité de nos activités de recherche sur le karst. Ce chapitre se propose d'explorer les actions qui ont donné à cet objet, mis en réserve lors de la création du laboratoire, une visibilité de plus en plus affirmée.

Le chapitre est structuré en trois parties : la première met en perspective l'esprit des recherches qui ont été menées sur le karst durant ces dix dernières années ainsi que leur diversité et leur montée en puissance. La seconde partie se structure autour de six focus qui ont pour objet d'illustrer les démarches actuellement menées au sein du laboratoire sur le karst et de présenter la diversité des objets karstiques en cours d'étude. La troisième partie présente les coopérations mises en place avec les différents acteurs travaillant sur le karst.

I - D'UN OBJET CACHÉ À UN OBJET STRUCTURANT AU SEIN DU LABORATOIRE : RETOUR SUR DIX ANNÉES DE CONSTRUCTION

Les recherches sur le karst à EDYTEM se sont construites sur un socle préexistant au LGUS (Laboratoire de Géographie de l'Université de Savoie) et au LGHAM (Laboratoire de Géologie et d'Hydrogéologie des Aquifères de Montagne). La fin des années 1990 et le début des années 2000 ont été marqués par le recrutement de plusieurs enseignants-chercheurs travaillant sur les karts de montagne (Jean-Jacques Delannoy, Christophe Gauchon, Fabien Hobléa) et les aquifères karstiques (Marc Dzikowski, Jean-Yves Josnin), chacun amenant ses compétences et problématiques de recherche. Deux dénominateurs communs existaient déjà : l'approche systémique des phénomènes et des dynamiques karstiques et l'ancrage des travaux dans des questionnements sociétaux (ressources en eau et valorisation touristique). Les terrains investis par ces chercheurs ont permis de développer les premiers travaux en karstologie au laboratoire avec des mémoires de master (Lopez, 2002 ; Beauquis, 2003) et les premières thèses sur le karst (Vincent Biot, 2003 ; Anne-Sophie Perroux, 2005). Les systèmes des Échelles (Chartreuse) et des Coulmes-Choranche (Vercors) ont d'emblée fédéré les premières actions communes de recherche.

Les grottes de Choranche ont, en effet, été un catalyseur majeur pour le développement de nouvelles recherches en karstologie : une part importante des problématiques actuelles de recherche sur le karst ont pour origine les travaux menés à la fin 1990-début 2000 à Choranche. On peut citer ici (i) le suivi du régime des stalactites et des écoulements concentrés qui a fait ressortir la part importante de l'épikarst dans le fonctionnement hydrologique de ce système (Delannoy, 1986 ; Destombes et al., 1997), (ii) les travaux pionniers d'Yves Perrette pour extraire des informations climatiques et environnementales à partir des lamines de croissance des stalagmites (Perrette, 2000), (iii) l'évaluation des valeurs patrimoniales des paysages souterrains et du cirque de Choranche en vue de leur valorisation touristique (cf. chemin des Sciences de la terre et aménagement touristique de la cavité ; Delannoy et al., 2007a). En dehors du suivi source/puits mis en place sur le système karstique des Coulmes-Choranche en vue de pouvoir mieux interpréter les données environnementales piégées dans les concrétions, ce site a été l'objet des premiers carottages en lac souterrain et travaux sur les sédiments lacustres endo-karstiques (thèse de A.-S. Perroux, 2005). Ce dernier exemple est emblématique de la volonté déjà présente de croiser les regards et méthodes : ici ceux des lacustres et des karstologues. Les travaux engagés sur Choranche et les questionnements sur les transferts et l'enregistrement des signaux environnementaux ont d'ailleurs été un des axes de recherche forts du programme ANR

Climanthrope (2007-2010) porté par Richard Maire (ADESS UMR 5185 CNRS / Université de Bordeaux II et III). L'ensemble de ces travaux ont eu pour socle les recherches menées durant de nombreuses années par J.-J. Delannoy, Y. Perrette, A.-S. Perroux (2005) et de nombreux travaux de master (Tayebi, 2007 ; Thomas, 2009, 2010).

Ces différentes recherches n'auraient pu être menées sans le soutien des grottes touristiques de Choranche ; on ne peut que remercier leurs responsables (Gilbert Mantovani puis Laurent Garnier) et les guides qui ont été des acteurs de terrain essentiels dans les recherches menées sur ce site. Choranche a été un véritable incubateur des travaux actuellement menés à EDYTEM que ce soit sur (i) les relations sources/puits autour des polluants et les enregistrements environnementaux (cf. *infra* site des Elaphes-Bauges ; Perrette et al., 2008, 2013), (ii) les impacts des usages anthropiques (post-docs de Thibaud Blondel et Alexandra Durand ; thèse de Grégory Tissier (2012) dans le cadre du programme Alpeau), (iii) les patrimoines souterrains, leur conservation et leur valorisation (Gauchon, 2006 ; Gauchon et Biot, 2010), ainsi que sur les développements méthodologiques, (iv) la cartographie géomorphologique souterraine (Delannoy et al., 2004 ; Nehmé et al., 2009 ; mémoires de master de Menneron, 2003 ; Sadier 2004 ; Jabbour-Gédéon 2009 ; Thomas, 2009, 2010), (v) la métrologie souterraine et (vi) l'imagerie laser (Hajri et al., 2009 ; Hajri, 2010).

Les recherches menées à Choranche ont également conduit le laboratoire sur un tout autre terrain : l'Ar-dèche méridionale. Il est intéressant de relever que deux actions fortes de recherche ont émergé dans le même temps sur ce territoire au début des années 2000 : la première sur l'étude scientifique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc et la seconde autour de l'Opération grand Site à Orgnac. L'expérience et la diversité des recherches menées à Choranche ont assurément joué dans la sollicitation du laboratoire par la commune d'Orgnac-l'Aven et la DIREN Rhône-Alpes pour accompagner cette opération. Nous ne pouvons être que reconnaissants de cette marque de confiance car elle nous a confortée dans ce que nous étions en train de construire au sein du laboratoire : une approche globale du karst, depuis les connaissances géomorphologiques jusqu'aux implications territoriales d'une telle distinction pour une cavité (le premier et seul exemple de cavité labellisée Grand Site de France) en passant par les mémoires paléogéographiques et paléoenvironnementales inscrites dans les paysages souterrains et l'évaluation de leurs vulnérabilités. Les recherches menées à Orgnac furent (et sont encore) une belle aventure humaine passant par la construction d'un partenariat étroit avec le site d'Orgnac, son musée (renommé Cité de la Préhistoire

en 2014) et le territoire (expositions *Le calcaire et l'eau* en 2002-2003 et *Sur les traces* (2004) ; film documentaire en début de visite touristique, émission TV *C'est pas sorcier*, etc.). Durant cette décennie 2003-2013, de nombreuses recherches se sont succédé sur l'aven d'Orgnac via des mémoires de master (Sadier, 2004, 2005 ; Sabaut, 2005, 2006 ; Bersihand, 2006 ; Noury, 2005, 2007 ; Cadoux, 2013), des recherches doctorales (A.-S. Perroux, 2005 ; Mélanie Duval, 2007 a ; Souhail Hajri, 2010 ; Benjamin Sadier, 2013) et des actions de terrain qui ont été marquantes par leur initiative et par leur caractère structurant dans les recherches du laboratoire (carottage profond dans remplissages paragéométriques, relevés 3D, suivi du fluage de soutirage *via* les stalagmites translitées (Jaillet et al., 2006, 2007, 2009 a, 2011 a,b ; Delannoy et al., 2007 b ; Delannoy et Jaillet, 2013 ; Sadier et al., 2007 ; Hajri et al., 2009), auxquelles s'ajoutent des recherches sur la valorisation patrimoniale de ce haut lieu touristique (Biot et al., 2007 ; Gauchon, 2006 ; Gauchon et Prud'homme, 2007 ; Gauchon et al., 2012).

Il importe de relever le caractère novateur de nombre des actions menées à l'aven d'Orgnac. La majorité de celles-ci a été portée par Stéphane Jaillet qui a rejoint le laboratoire en 2003 et qui joue depuis un rôle majeur dans le développement de la géomorphologie 3D pour la compréhension du fonctionnement passé et actuel des systèmes karstiques et leur apport dans les reconstitutions paléogéographiques. Dès 2007, ce travail a pu être concrétisé par l'édition du n° 5 de la Collection EDYTEM *L'aven d'Orgnac, valorisation touristiques, apports scientifiques* (Figure 1).

L'ensemble de ces travaux et la participation au dossier de candidature au Grand site de France a créé au sein du laboratoire EDYTEM une dynamique de recherche mobilisant les différents champs de compétence présents au sein des trois équipes du laboratoire. Cette dynamique ainsi que le travail mené sur le

projet de classement des grottes de Choranche au titre des sites naturels (Gauchon et al., 2006 ; Delannoy et al., 2007 a, Figure 2) ont permis de structurer un axe de recherche lisible au sein du laboratoire. Ce fut une des raisons – avec les travaux menés en haute montagne et sur les systèmes hydrothermaux – de l'émergence des axes transversaux dans la structuration de la recherche d'EDYTEM (cf. introduction de l'ouvrage). L'expérience acquise à Orgnac et à Choranche autour de ces opérations, concluante pour l'une et beaucoup moins pour l'autre, a également permis de créer une lisibilité de nos travaux au delà de la seule communauté des karstologues. L'acquisition de cette lisibilité n'a pas été étrangère à nos implications dans des comités scientifiques et/ou stratégiques tant aux échelles locale (PNR Chartreuse et des Bauges, Réserves des Hauts Plateaux de Chartreuse et des Gorges de l'Arèche), régionale (DREAL - Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel) et nationale (Comité National du Patrimoine Souterrain). Ces travaux n'ont pas été non plus étrangers à la confiance accordée au laboratoire pour gérer des fonds documentaires. Le legs par Jacques Choppy, en 2004, de son importante bibliothèque d'ouvrages spéléologiques et karstologiques a été le point de départ de la création du *Centre documentaire national sur le Karst* que gère le laboratoire pour l'ensemble de la communauté scientifique et spéléologique (cf. *infra*). La confiance de Jacques Choppy, de son épouse Brigitte et de ses enfants, nous a touchés et mis devant nos responsabilités : être plus acteur dans le développement de la karstologie et de la spéléologie scientifique que nous ne l'avions été jusque là. C. Gauchon, Agnès Darnoux et aujourd'hui Christine Maury ont été des acteurs majeurs de la mise en place de ce centre avec le soutien de la Bibliothèque Universitaire du Bourget-du-Lac (<http://edytem.univ-savoie.fr/Ressources-documentaires/Centre-de-ressources-karst/>).

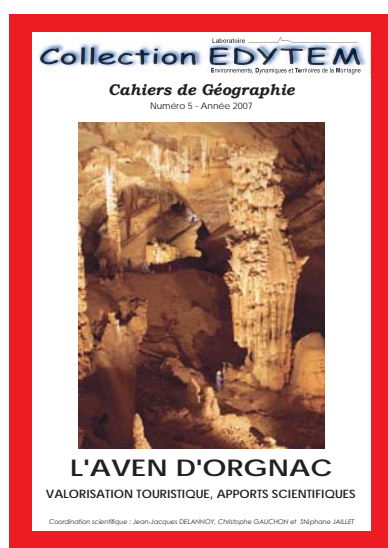


Figure 1 - Couverture Collection EDYTEM n° 5 Orgnac, 2007.

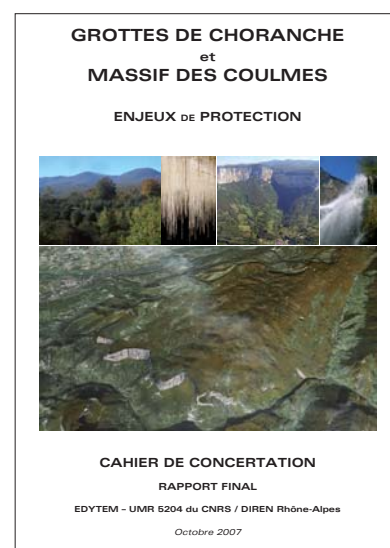


Figure 2 - Couverture du rapport Choranche-DIREN, 2007.

Les travaux menés autour de ces projets de classement ont été également des boosters pour élaborer des méthodes innovantes d'évaluation (i) des valeurs patrimoniales, (ii) de leurs spécificités scientifiques, paysagères et culturelles, (iii) de leurs vulnérabilités, (iv) de leur valorisation actuelle et/ou potentielle ainsi que (v) des modalités de conservation (Gauchon et al., 2006). Les outils mis en place se sont appuyés sur l'ensemble des compétences disponibles au sein du laboratoire aussi bien en karstologie, en hydrogéologie karstique, en sciences de l'environnement, en lecture paysagère, en analyse d'archives naturelles et historiques, en valorisation touristique qu'en cartographie. Plus d'une dizaine de membres furent particulièrement impliqués (Laurent Astrade, J.-J. Delannoy, M. Duval, C. Gauchon, F. Hobléa, S. Jailliet, Emmanuel Malet, Y. Perrette, A.-S. Perroux, Estelle Ployon, Jérôme Poulénard). Cette approche globale – intégrant aussi bien les dimensions naturelles que culturelles contenues dans les paysages du karst – a été de nouveau mobilisée autour de deux actions concernant la grotte Chauvet-Pont d'Arc : (i) l'extension du périmètre du *site classé des abords du Pont d'Arc* dans le but de renforcer sa protection (Pavlik, 2008 ; Delannoy et al., 2008 a) et (ii) le dossier de candidature au Patrimoine mondial par l'UNESCO (Duval, 2010 ; Duval et Gauchon, 2013 ; Malgat et Duval, sous presse ; Charlotte Malgat, thèse en cours).

L'implication d'EDYTEM dans l'équipe scientifique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) est, assurément, l'expression d'une reconnaissance de la facture des recherches menées sur le karst, au delà des seules morphologies et dynamiques karstiques. Le travail mené par le laboratoire (J.-J. Delannoy, S. Jailliet, Y. Perrette, A.-S. Perroux, E. Ployon, B. Sadier, Élisabeth Boche) dans cette cavité exceptionnelle par l'âge et la qualité des œuvres préhistoriques (plus vieilles images connues de l'Humanité), par la richesse de ses vestiges paléontologiques et par la diversité des enregistrements paléogéographiques s'est construit autour de nos compétences en karstologie et hydrogéologie karstique et du développement de nouveaux outils (relevés 3D, imagerie virtuelle, SIG 3D). Les recherches à la grotte Chauvet-Pont d'Arc ont été, comme pour Choranche et Orgnac, un puissant vecteur de lisibilité de notre démarche globale en karstologie. Ici, les recherches menées sur les morphologies karstiques ont été mobilisées en écho des problématiques archéologiques (Perroux et al., 2010). Une attention particulière a été notamment portée (i) à la reconstitution des paysages souterrains contemporains des fréquentations humaines et animales (Aurignacien et Gravettien) (Delannoy et al., 2012 a, b ; Sadier, 2013), (ii) aux modalités de fermeture de l'entrée préhistorique de la grotte à l'origine de son exceptionnel état de conservation (Delannoy et al., 2010 ; Sadier et al., 2012 ; Sadier, 2013), (iii) à la reconstitution de la morphologie du porche d'entrée et de sa place dans le paysage de la Combe d'Arc (Sadier, 2013), (iv) à la mise

en évidence d'aménagements remontant aux fréquentations préhistoriques (Delannoy et al., 2012 a, b ; Sadier, 2013). EDYTEM a été moteur dans (i) le développement de nouveaux modes d'acquisition, de traitement et de valorisation des données (cartographie géomorphologique à très haute résolution spatiale ; reconstitution morphogénique 3D ; SIG 3D ; quantification de déplacement d'objets préhistoriques, etc.) et (ii) dans la mise en place d'outils de restitution des données géologiques, géomorphologiques et paysagères pour la réalisation de la réplique de la grotte Chauvet. Une part de ces développements a été réalisée en partenariat avec le Cabinet Perazio (imagerie 3D) avec lequel une bourse CIFRE a été mobilisée (B. Sadier).

La place d'EDYTEM dans l'étude scientifique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (sous la direction de J. Clottes puis de J.-M. Geneste) a assurément été un vecteur de visibilité de nos recherches dans des grottes à haute valeur patrimoniale. Cela s'est notamment traduit par une implication du laboratoire dans l'étude d'autres sites ornés, d'art rupestre et préhistoriques : grotte des Fraux (Dordogne ; Billaud et Jailliet, 2012), grotte des Gorges (Jura ; Cailhol et Jailliet, 2012), Drakensberg-Afrique du Sud (Laslaz et al., 2014, dans ce volume), Terre d'Arnhem-Australie. La nomination de plusieurs membres du laboratoire dans différents comités scientifiques est également une reconnaissance des travaux menés par le laboratoire sur des cavités à forte valeur patrimoniale. On peut ici relever la participation aux comités scientifiques de la grotte de Lascaux (J.-J. Delannoy et Y. Perrette) et de l'Espace de restitution de la grotte Chauvet (J.-J. Delannoy), ainsi qu'à la Commission Nationale des Grottes Ornées (C. Gauchon et J.-J. Delannoy). La convention de partenariat avec le Centre National de la Préhistoire (Périgueux) et le Ministère de la Culture et de la Communication (3^{ème} tutelle du laboratoire depuis 2013) souligne, si besoin est, cette orientation.

Aux côtés des recherches menées dans la grotte Chauvet-Pont d'Arc, le laboratoire est, depuis 2005, impliqué dans une nouvelle dynamique autour de cette cavité : l'Espace de Restitution de la Grotte Chauvet (ERGC). L'élément central de cet espace est la réalisation d'une réplique de la grotte afin d'exposer à un large public les grandes qualités et la diversité des œuvres laissées il y a 36000 ans par les hommes de la Préhistoire. EDYTEM a participé et participe à différentes actions d'accompagnement de ce projet : (i) étude géomorphologique des sites retenus successivement par les collectivités territoriales pour l'implantation de l'espace de restitution (vallée de l'Ibie, Razal) ; (ii) définition de la scénographie de l'anamorphose ; (iii) réalisation du modèle 3D de l'anamorphose sur des critères géomorphologiques (partenariat avec le Cabinet Perazio – bourse Cifre, B. Sadier) ; (iv) charte colorimétrique des secteurs restitués dans la réplique (Delannoy et al., 2011) ; (v) définition du contenu du centre de découverte qui jouxtera la réplique de la

grotte (paléoenvironnement) ; (vi) réalisation d'un carnet des faciès et d'un modèle 3D des paysages souterrains à restituer dans la réplique (en partenariat avec l'atelier SCENE et le cabinet Perazio ; Delannoy *et al.*, 2013 a) et (vii) accompagnement des différents métiers dans la réalisation des paysages souterrains du fac-similé (spéléothèmes, morphologies souterraines) qui ouvrira en 2015. Si cet accompagnement s'appuie sur les connaissances acquises dans la cavité dans le cadre des recherches de l'équipe scientifique et de la recherche doctorale de B. Sadier, il est également porteur de problématiques de recherche en devenir sur (i) la texture et la colorimétrie des parois dans le choix des sites ornés par les Hommes de la Préhistoire, (ii) les incidences de la nature et de l'état des sols ainsi que de la topographie de la cavité dans le cheminement des Préhistoriques, (iii) la scénographie des informations à restituer dans un parcours touristique (Cadoux, 2013). Autour de cette dynamique, une thèse a été proposée au Syndicat Mixte de l'Espace de Restitution de la Grotte Chauvet (SMERGC) pour analyser les modifications touristiques et socio-économiques d'un tel équipement sur le territoire du Sud Ardèche (Malgat, 2010 ; Malgat, 2014 ; Malgat et Duval, sous presse ; recherche doctorale de C. Malgat).

Si les travaux menés durant ces dix dernières années sur les sites de Choranche, d'Orgnac et de Chauvet-Pont d'Arc ont été structurants pour porter et développer les savoir-faire du laboratoire sur les différentes facettes du karst, d'autres recherches ont été également menées sur les cavités et les aquifères souterrains et sont aujourd'hui porteurs de nouveaux champs de recherche au sein d'EDYTEM. Ces champs concernent (i) les reconstitutions paléoclimatiques, (ii) le transfert et l'enregistrement dans le karst des conditions environnementales extérieures, (iii) la gestion durable des eaux karstiques dans un contexte de changement global, (iv) l'évaluation des (géo-) patrimoines liés au karst (dont les sites ornés) et des modes de gestion intégrée (activités humaines comprises).

L'étude à haute résolution des spéléothèmes et de leurs enregistrements climatiques et environnementaux est un des axes forts de recherche d'EDYTEM porté depuis de nombreuses années par Y. Perrette rejoint par de nouveaux membres (Isabelle Couchoud, Émilie Chalmin). L'approfondissement des recherches a mis en évidence la complexité des transferts des données climatiques et environnementales depuis l'extérieur et de l'extraction des informations enregistrées dans les concrétions. Afin de répondre à cette complexité, deux stratégies ont été privilégiées : le développement d'outils analytiques spécifiques pour discriminer les différents signaux et l'instrumentation de sites karstiques (Choranche ; grottes des Elaphes et Creux Perrin, Bauges) pour évaluer les différents modes de transferts des sources atmosphériques et bio-pédologiques à l'intérieur du karst. Les travaux réalisés notamment sur le site des Elaphes ont été un important moteur de coopé-

ration scientifique avec les chimistes du Laboratoire de Chimie de l'Environnement de l'Université de Savoie (E. Naffrechoux, A. Durand) et les pédologues du CARTEL et d'EDYTEM (J. Poulénard). Aux côtés des recherches menées sur les lacs (Arnaud *et al.*, 2014, dans ce volume), cette coopération inter-laboratoire a joué un rôle important dans le projet et la construction aujourd'hui effective de la fédération de recherche FLAME. La thèse (en cours) de Marine Quiers entre dans cette dynamique de recherche.

Parallèlement à ces recherches plus centrées sur les transferts environnementaux, I. Couchoud a développé une coopération étroite avec Russell Drysdale de l'Université de Melbourne (Australie) dans l'étude des signaux climatiques enregistrés dans les concrétions.

Les recherches en hydrogéologie karstique se sont concentrées ces dix dernières années sur plusieurs chantiers en lien avec la ressource en eau. Ils ont essentiellement concerné des aquifères alpins majeurs (Evian, Aix-les-Bains ; thèses de Anne Guyomard en 2006 et de Stéphanie Gallino en 2007), des aquifères hydrothermaux (Rossi *et al.*, 2014, dans ce volume) et la gestion durable des petits aquifères karstiques de montagne dans les Alpes (programme PEIPSEK sur l'impact de la fréquentation spéléologique sur les eaux karstiques captées, Hobléa *et al.*, 2011 b ; projet INTERREG Alpeau - thèse de G. Tissier, 2012 ; programme Eau Chartreuse) et au Maroc (Tayebi *et al.*, 2010 ; Tayebi, 2011). Ces derniers travaux ont permis, tout en répondant à une demande territoriale forte (approvisionnement en eau potable), de mettre en avant les incidences des différents modes de gestion forestière en montagne et ainsi de déterminer ceux qui étaient les plus probants pour assurer une bonne qualité des eaux karstiques. Ces différentes recherches ont mobilisé un suivi des eaux souterraines (cavité, source, captage, sites instrumentés), des approches expérimentales et une modélisation des résultats qui ont permis de relever les vulnérabilités et les spécificités des aquifères karstiques de montagne (Hobléa *et al.*, 2013 b). Ces actions de recherche menées en partenariat avec des industriels (Danone-Evian), des gestionnaires de sites hydrothermaux (Aix-les-Bains) ou des collectivités territoriales (Chambéry Métropole) ont été de puissants vecteurs de lisibilité des recherches menées au sein du laboratoire en hydrogéologie karstique couplée à des problématiques territoriales (gestion de la ressource en eau) et environnementales (e.g. rôle de la forêt et des sols dans les transferts atmosphère/aquifère karstique). Plus récemment des actions de recherche participative portées par le laboratoire (opérations de traçages avec des écoles, des associations citoyennes, etc ; observation participative du régime de sources karstique notamment *via* des caméras) contribuent à présenter, au-delà des cercles classiques de la recherche, les compétences d'EDYTEM. Les deux thèses actuellement en cours sur de tels sujets (Bérangère Serroi, Mélanie Ferraton) concernent largement les territoires karstiques de montagne.

Enfin, la dynamique portée par plusieurs membres du laboratoire sur les valeurs géopatrimoniales des paysages karstiques (F. Hobléa, Nathalie Cayla, Amandine Perret ; Hobléa, 2008, 2009, 2010) et patrimoniales des grottes, des sites rupestres et des aménagements et usages (pré-)historiques (C. Gauchon, M. Duval, J.-J. Delannoy ; Delannoy et Gauchon, 2008 b ; Doumit, 2007) a permis d'ouvrir de nouveaux champs de recherche et de coopération scientifique. La réflexion sur les patrimoines paysagers karstiques (de surface et souterrain) a été engagée dès les travaux réalisés sur les sites d'Ornac et de Choranche. C'est peut être sur le site de Choranche que la démarche a été la plus aboutie compte tenu de la diversité et des richesses des paysages à mettre en avant dans un processus complexe de classement au titre des sites naturels (Gauchon et *al.*, 2006) ; complexe dans le sens où une part de la population étant hostile à toute forme de classement, l'argumentaire devait être d'autant plus appuyé sur des valeurs patrimoniales incontestables. La méthode initiée dans ce contrat de recherche avec la DIREN (Rhône-Alpes) a été, par la suite, développée et enrichie dans le cadre des demandes des massifs du Chablais (Haute Savoie) et des Bauges (Savoie)

d'intégrer le réseau des Géoparks ; demandes dans lesquelles le laboratoire a apporté son appui scientifique. Ces actions ont été de réels supports d'intégration dans un autre réseau : celui des chercheurs travaillant sur les géopatrimoines où le karst occupe une place de choix (Hobléa et *al.*, 2014, dans ce volume). Parallèlement à ces travaux, d'autres recherches ont été menées sur d'autres formes de patrimoines associés aux grottes : les grottes ornées et par extension les sites d'art rupestre, autour notamment des notions de paysages karstiques remarquables.

Ce panorama des travaux menés sur le karst depuis 10 ans n'avait pas pour objectif d'être exhaustif mais de présenter les différentes pistes de recherche portées par le laboratoire. Les exemples brièvement développés soulignent si besoin est la ferme volonté de travailler sur les différentes valeurs et ressources du karst en vue de répondre à des problématiques tant d'ordre académique que sociétal. L'ensemble de ces actions fait du karst un objet emblématique qui caractérise le laboratoire, aux côtés des autres Objets Emblématiques. Plusieurs de ces actions constituent le socle des recherches actuelles et à venir développées par EDYTEM ; elles sont l'objet des focus présentés dans la partie qui suit.

II - FOCUS SUR LES RECHERCHES MENÉES AU LABORATOIRE SUR LES MÉMOIRES, LES RESSOURCES, LES PATRIMOINES DU KARST ET LEURS GESTION ET VALORISATION

Six focus ont été retenus pour présenter les recherches actuellement développées au sein du laboratoire. Elles ont toutes deux dénominateurs communs : une approche résolument globale du karst et leur inscription dans des problématiques environnementale, territoriale et/ou sociétale qui dépassent le cadre des seuls dynamiques et processus karstiques.

1 - Les mémoires paléogéographiques du karst

Depuis maintenant une quarantaine d'années, le karst est considéré comme un excellent enregistreur des changements environnementaux et est fréquemment mobilisé dans les reconstitutions paléogéographiques. Une des difficultés rencontrées dans ces reconstitutions est qu'on traite de variables de temps allant du temps long (quelques centaines de milliers à quelques millions d'années) au temps court voire très court (quelques dizaines de milliers d'années à quelques années).

Dans les karsts des Préalpes françaises, de la bordure orientale du massif central (Ardèche), ou à l'étranger (Liban, Chili...), les études menées par EDYTEM ont pour dénominateurs communs d'asseoir le karst dans l'histoire paléogéographique et d'exploiter le formidable potentiel mémoriel qu'il offre. Selon les

problématiques et les secteurs, le temps peut être abordé *via* les différentes mémoires géomorphologiques. Cette démarche a été appliquée dans plusieurs recherches doctorales (Perroux, 2005 ; Nehmé, 2013 ; Sadier, 2013) et de master (Wilhelm, 2007 ; Hez, 2012).

a - Mémoires karstiques et temps long

Le travail sur le temps long en domaine karstique oblige à intégrer les échelles des surrections, des incisions de vallées et/ou des variations du niveau de base. Les karsts des Préalpes françaises constituent un support pertinent à ce type d'analyse. À titre d'exemple, l'étude du karst des Coulmes-Choranche (Vercors) a permis de retracer les différents stades d'incision de la Bourne au cours du Néogène (Delannoy et *al.*, 2009) en lien avec les oscillations eustatiques et la surrection des Alpes. De même, des datations radionucléides dans le karst du Granier (Chartreuse) à près de 2000 m d'altitude ont permis de montrer que les conduits étaient actifs au cours du Pliocène, avant l'incision de la vallée de l'Isère-Grésivaudan (Hobléa et *al.*, 2011 a).

Plus au sud, le karst de la basse Ardèche, notamment celui de l'aven d'Ornac, est en lien avec les variations du niveau de base du bassin rhodanien. À la fin du Miocène, la Méditerranée connaît un abaissement drastique de son niveau (la crise messinienne) entraînant une incision majeure de tous les fleuves bordiers

dont le Rhône. Le karst du bas Vivarais s'organise alors en profondeur. Au Pliocène, la remontée du niveau de base est brutale (invasion marine) puis lente (associée à l'aggradation continentale). Au cours de cette remontée (Clauzon, 1996), le karst a dû sans cesse se réorganiser (Mocochain et Jaillet, 2014). Les mégaconduits d'Ornac sont alors le siège d'une paragenèse associant élévation du niveau des écoulements, remplissage souterrain continu et corrosion de la voûte. L'incision quaternaire se traduira par l'incision et le dégagement des argiles qui s'étaient accumulées dans les conduits paragenétiques (Jaillet et al., 2007 ; Delannoy et al., 2007b ; Sadier, 2013 ; Figure 3). Cette double dynamique (paragenétique et dégagement des argiles) est à l'origine des très grands vides souterrains d'Ornac.

b - Mémoires karstiques et temps court

Pour aborder le temps court en domaine karstique, il convient d'étudier l'évolution et la morphogenèse à l'échelle des conduits et des drains. Plusieurs cavités ont fait l'objet de reconstitution morphogénétique au cours de ces 10 années de recherches à EDYTEM et le cas des grottes de Choranche est à ce titre éloquent. Ces grottes offrent l'avantage d'être touristiques et avec

un accès aisé à la partie aval d'un important ensemble hydrokarstique : les rivières souterraines de Coufin et de Chevaline. Mais elles offrent surtout l'intérêt d'une très bonne connaissance spéléologique (Oyançabal, 2005) et géomorphologique (Delannoy, 1997). Plusieurs travaux de recherches universitaires s'y sont développés (Perrette, 2000 ; Perroux, 2005, 2006 ; Carcaillet et al., 2007). Dans le cadre du programme ANR Climanthrope dirigé par R. Maire, nous avons pu étudier le secteur aval Chevaline/Cathédrale/Serpentine. Une importante étude a ainsi été menée sur le siphon de Chevaline (Lignier et al., 2012 ; Jaillet et al., sous presse) et des observations géomorphologiques ont permis de bien comprendre le site (Thomas, 2010).

Ce travail a permis de croiser sur un même site l'analyse des conduits et d'identifier plusieurs dépôts détritiques ou stalagmitiques synchrones ou non. Une stalagmite, présente dans la zone actuelle siphonnante, a été plus particulièrement étudiée. La coupe longitudinale de cette concrétion montre entre une calcite blanche et compacte et l'arrêt de son fonctionnement, un faciès de transition, riche en éléments argilo-limoneux, qui est interprété comme une phase transitoire de réajustement du système karstique suite à l'effondrement de la salle de la Cathédrale. Ce type d'analyse croisant

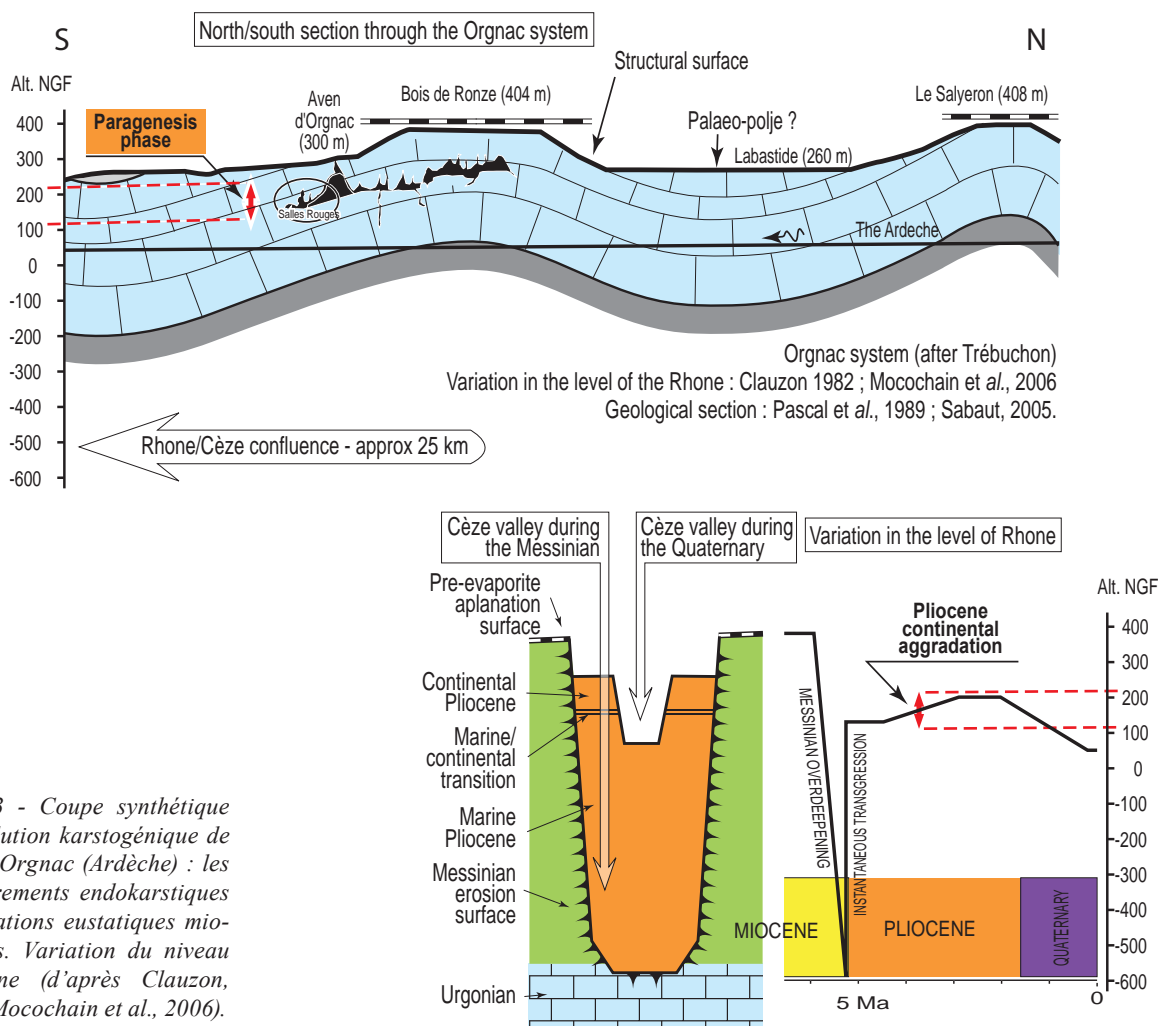


Figure 3 - Coupe synthétique de l'évolution karstogénétique de l'aven d'Ornac (Ardèche) : les enregistrements endokarstiques des variations eustatiques mio-pliocènes. Variation du niveau du Rhône (d'après Clauzon, 1996 et Mocochain et al., 2006).

spéléogénèse et analyse des dépôts constitue une piste encourageante vers une meilleure identification des contraintes géométriques et temporelles qui régissent l'évolution endokarstique. Cette approche croisant différentes compétences (ici géomorphologie, sédimentologie, étude des spéléothèmes) est à notre sens la seule qui permette de mettre en avant des effets de sites et

leurs impacts sur les informations contenues dans les pièges sédimentaires endokarstiques. L'appréhension de ces effets de sites (ici effondrement de la salle de la Cathédrale) permet de préciser, voire de nuancer, les informations paléoclimatiques et paléoenvironnementales enregistrées aussi bien dans les sédiments détritiques que carbonatés (Figures 4 et 5).

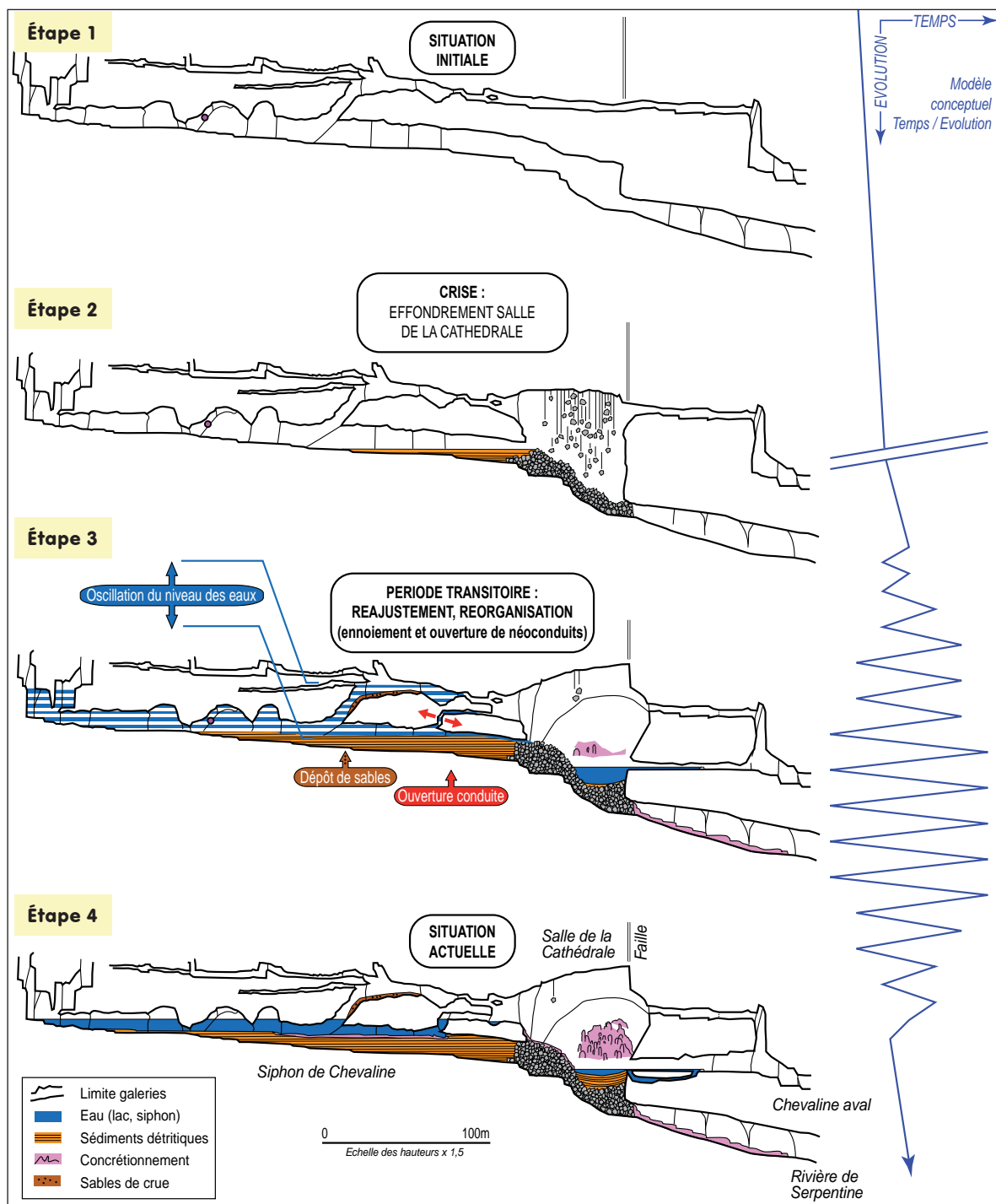


Figure 4 - Reconstitution chronologique de la mise en place de la salle de la Cathédrale et du siphon de Chevaline. Entre la première étape où la rivière souterraine ne draine qu'un unique conduit et l'étape 4 correspondant à la situation stabilisée (telle qu'elle perdure encore aujourd'hui), il existe une phase transitoire d'adaptation du système. Cette phase correspond, après l'effondrement de la salle (la crise du système), à la durée de colmatage complet de l'éboulis et à la réorganisation du drainage par capture par le haut (extrait Jaillet et al., sous presse).

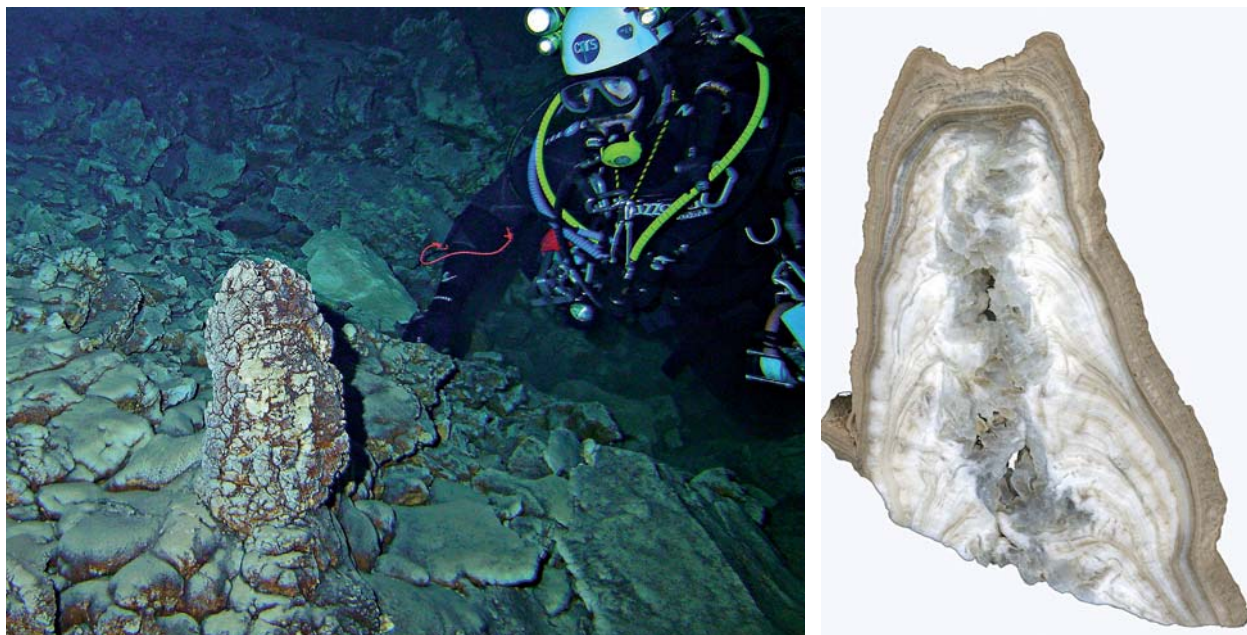


Figure 5 - Dans le siphon de Chevaline, des stalagmites sont aujourd'hui ennoyées et témoignent d'un ancien fonctionnement de la rivière souterraine en régime vadose (Lignier et al., 2012). L'analyse des lamines (CHE204 à droite) a permis de montrer qu'entre le fonctionnement en rivière et l'ennoisement définitif du conduit, il existe une période transitoire de réajustement karstique du système (étape 3, Figure 4) dont la durée reste à contraindre correctement (Photo V. Lignier/I. Couchoud).

Qu'il s'agisse de travaux sur plusieurs millions d'années (temps long), sur quelques millénaires (temps court) ou quelques années (temps actuel), le karst constitue un formidable support pour les reconstitutions paléogéographiques en proposant chaque fois un cadre paysager (contraintes spatiale et géométrique) et des datations (contraintes de temps et de durée). Le laboratoire EDYTEM entend poursuivre ces études touchant à la fois au temps de la géomorphogénèse et des paysages et au temps des Hommes.

2 - Les spéléothèmes : archives du climat et de l'environnement

Les spéléothèmes sont aujourd'hui largement utilisés pour l'étude des paléoenvironnements et des paléoclimats. Ils présentent deux avantages : (i) être datés de manière précise par des méthodes radiométriques sur une large gamme de temps et (ii) enregistrer ou piéger au cours du temps des indicateurs permettant de reconstituer l'état du climat (précipitation, température) et de l'environnement (végétation, état des sols ; Couchoud, 2007, 2008 a, b.). Les études qui sont conduites à EDYTEM ne portent pas seulement sur les stalagmites mais plus largement sur les spéléothèmes, intégrant aussi les planchers stalagmitiques et parfois les stalactites.

Depuis 10 ans, grâce au soutien de nos deux tutelles, le laboratoire a pu s'équiper de moyens (i) de prélèvements et de suivi des paramètres environnementaux

sur le terrain, (ii) de microprélèvements sur les spéléothèmes et (iii) d'analyses des indicateurs contenus dans les spéléothèmes, tels que les isotopes stables du carbone et de l'oxygène ou la matière organique piégée. Aujourd'hui, deux membres permanents constituent le cœur du groupe qui étudie les spéléothèmes (I. Couchoud et Y. Perrette) auxquels s'ajoutent 4 à 5 chercheurs et ingénieurs (Figure 6).

a - Résultats marquants de ces dix dernières années

Reconstructions paléoclimatiques : La Terminaison II et le Dernier Interglaciaire

Le Dernier Interglaciaire est la période la plus récente avec un climat comparable à l'Actuel (Holocène). Toutefois, cette période est suffisamment ancienne (~132-118 ka BP) pour qu'il soit difficile de trouver des archives capables de combiner des informations précises à la fois sur sa variabilité climatique et sa chronologie (*i.e.* timing et durée des événements).

De nombreuses études paléoclimatiques, basées sur des archives marines ou polliniques notamment, ont permis d'appréhender la variabilité climatique du Dernier Interglaciaire, qui s'avère bien plus variable à l'échelle régionale que l'Holocène. Toutefois, l'intégration de ces données dans le puzzle de la reconstruction paléoclimatique à l'échelle globale est limitée, essentiellement à cause des difficultés à produire des chronologies fiables pour ces archives, et par suite, à corréliser les archives marines et continentales.

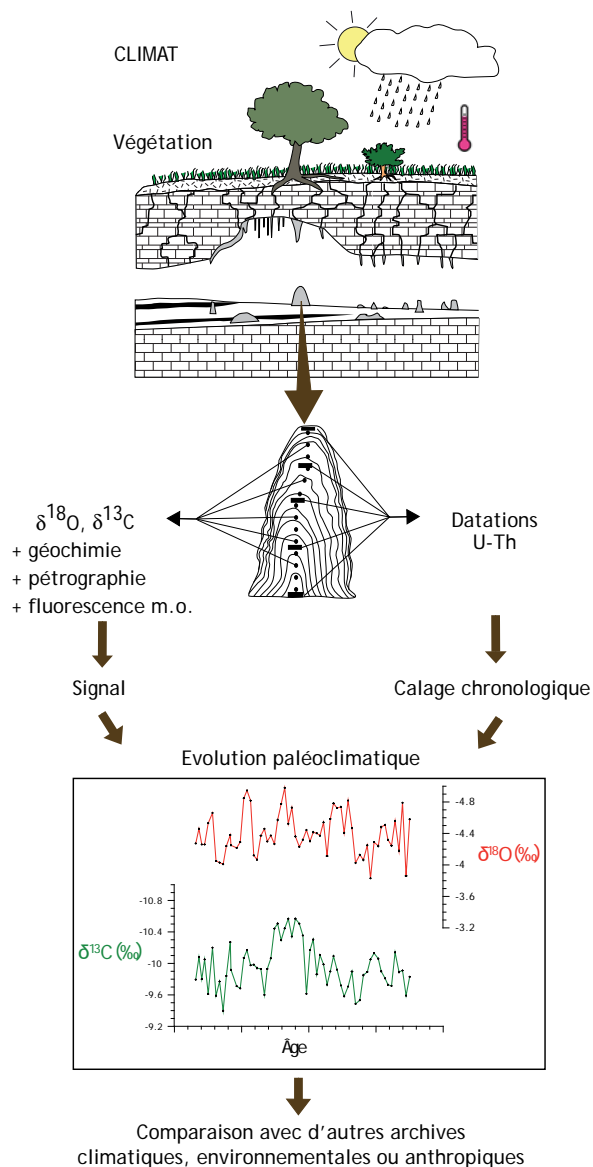


Figure 6 - L'extraction de données paléoclimatiques et paléoenvironnementales à partir des spéléothèmes (d'après Couchoud, 2006b modifié).

Les spéléothèmes se positionnent ici comme des archives très utiles, par leur capacité à fournir des enregistrements des changements climatiques (en particulier via l'interprétation de leurs signaux isotopiques, $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$), mais également grâce à leur chronologie robuste, obtenue par datations radiométriques (U-Th). La combinaison de ces deux paramètres dans une même archive permet de dévoiler les différences et similitudes entre paléoclimats régionaux.

L'étude de spéléothèmes du Sud-Ouest de la France et de Toscane a permis de caler chronologiquement les variations climatiques du Dernier Interglaciaire, de discuter de leurs modalités et de leur rythme. Ces données continentales ont permis d'obtenir une chro-

nologie transférable à d'autres archives continentales, moins bien datées, et même, par le biais des analyses multi-proxy, à des archives marines (Atlantique Nord et Méditerranée) (Couchoud *et al.*, 2009 ; Drysdale *et al.*, 2009). Ces enregistrements paléoclimatiques associés à des données de timing et de durée sont essentiels pour mieux comprendre la variabilité naturelle du climat et alimenter les modèles prévisionnels.

La *Terminaison II* est le nom donné à la déglaciation qui conduit au Dernier Interglaciaire. Encore une fois, bien qu'étant proche à l'échelle géologique, elle est trop ancienne pour que les principales archives de la déglaciation (carottes de glace polaires et marines) puissent être précisément datées. Or, c'est à partir d'une meilleure connaissance des modalités de la déglaciation (timing, durée, enchaînement des phénomènes) que l'on parviendra à déterminer quels sont les facteurs de forçage qui déclenchent le passage d'une période glaciaire à un interglaciaire. Les spéléothèmes qui peuvent être utiles à ces recherches sont donc ceux qui enregistrent des proxys capables d'être corrélés à ce qu'il se passe dans l'océan au moment de la déglaciation. Dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Melbourne (R. Drysdale, J. Hellstrom), des spéléothèmes de la grotte de Corchia (Alpes Apuanes) ont été étudiés. Il a été montré que leur signal isotopique ($\delta^{18}\text{O}$) pouvait être interprété en termes de quantité de précipitations en provenance de l'Atlantique Nord et que ce signal était intimement lié à la température de surface de l'océan (SST). Le lien continent-océan était ainsi établi et la chronologie absolue construite sur les spéléothèmes de Corchia pouvait être appliquée aux enregistrements marins, y compris aux indicateurs du volume de glace global. La *Terminaison II* pouvait ainsi être datée, mettant en évidence un âge de 141 000 ans pour le début de cette TII, soit ~10 ka plus tôt que ce qui était admis jusqu'ici. Par conséquent, ce résultat majeur a remis en question le forçage orbital à l'origine de la déglaciation. L'idée largement répandue que les variations d'intensité de l'insolation d'été aux hautes latitudes Nord, conduites par la précession des équinoxes, contrôlent le timing des terminaisons glaciaires était ici contrée par l'hypothèse, plus récente, que l'obliquité terrestre pouvait avoir joué un rôle plus important qu'on ne le pensait (Drysdale *et al.*, 2009). Des études complémentaires, sur des spéléothèmes de l'hémisphère Sud (Nouvelle Zélande), viennent confirmer ces résultats (collaborations Couchoud et Drysdale). Ces résultats soulignent le potentiel et l'intérêt de l'étude des spéléothèmes dans les reconstitutions climatiques et leur complémentarité, en tant qu'archives continentales, avec les archives marines.

Calibration du signal Matière Organique

Les matières organiques (OM) contenues dans les spéléothèmes constituent un indicateur important pour l'étude des environnements passés. Présentes

dans les concrétions souterraines, elles sont responsables bien souvent de leur couleur jaune-orangée.

Depuis les années 1970, elles sont mesurées par différentes techniques (spectroscopiques, chimiques). Dès les premières utilisations des spéléothèmes en tant qu'indicateurs paléoenvironnementaux, la difficulté d'interprétation du signal organique piégé dans les spéléothèmes a constitué un frein qui explique qu'aujourd'hui, la communauté travaillant sur cet indicateur est beaucoup moins nombreuse que celle travaillant sur les indicateurs minéraux. Néanmoins, conscient de l'importance des informations qui peuvent être extraites des spéléothèmes, EDYTEM a levé différents verrous durant ces 10 dernières années, avec les recherches développées par Y. Perrette et É. Chalmin ; piste qui avait été entrevue dès la recherche doctorale d'Y. Perrette (2000).

L'objectif principal a été de décrire les différentes sources et la conservation du signal environnemental dans la calcite du spéléothème. Pour le prouver des études ont été menées sur les sols, sur des molécules particulières comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), utilisées comme sonde pour suivre la conservation du signal, et des tests ont été effectués sur les modalités et le type de piégeage de la matière organique au sein de la calcite (Chalmin *et al.*, 2012).

Tous ces travaux, publiés ou en cours de publication, montrent que plusieurs sources peuvent fournir des matières organiques aux spéléothèmes. En plus de l'origine pédologique, l'atmosphère et la canopée peuvent fournir des matières organiques transférées vers les spéléothèmes. De même, nous avons pu montrer que dans un environnement en patchwork tel que l'on en trouve dans les zones karstiques, différents sols fournissent différentes matières organiques à différentes concrétions ; cette répartition semblant stable dans le temps (à l'échelle du millénaire). La recherche doctorale en cours de M. Quiers entre dans cette dynamique de recherche.

Les résultats ont été obtenus en grande partie par des suivis de terrain, de la calibration réalisée en collaboration avec le Laboratoire de Chimie Minérale et Environnementale (LCME-UdS), la fédération FLAME (UdS) et le laboratoire SPrAM (CNRS-CEA). Ces travaux, comme ceux développés sur les reconstitutions paléoclimatiques, sont de puissants vecteurs de lisibilité vers la communauté scientifique et le support de réseaux de recherche internationaux.

b - Chantiers en cours et dynamiques actuelles de recherche sur les spéléothèmes

Paléoenvironnements et paléoclimat holocène sur le front occidental des Alpes du nord

La connaissance des paléoenvironnements et du paléoclimat holocène dans les Alpes occidentales nécessitait une chronique locale établie à partir des

spéléothèmes. Cette lacune est en passe d'être comblée par l'étude d'une séquence de trois stalagmites couvrant ~11 000 ans pour ~1 m de spéléothème. Ces stalagmites sont étudiées à la fois du point de vue des indicateurs climatiques et environnementaux, notamment en relation avec le travail réalisé sur le lac de la Thuile (massif des Bauges) et le lac du Bourget en étroite interaction avec les collègues sédimentologues du laboratoire qui travaillent sur les lacs (Arnaud *et al.*, 20014, dans ce volume).

Les résultats préliminaires montrent à la fois des changements pédologiques vers 3 500 BP et montrent que cette séquence de spéléothème a parfaitement enregistré des événements de plus grande échelle comme l'épisode froid du 8 200 BP. Pour la partie organique, cette étude est au cœur de la thèse de M. Quiers. Une collaboration avec A. Blyth (Curtin University, WA) nous a permis de coupler la signature isotopique du carbone de la calcite à celle du carbone de la matière organique afin d'affiner l'interprétation paléoenvironnementale (Figure 7).

Paléohydrologie holocène à partir des stalagmites d'Orgnac

L'aven d'Orgnac, classé Grand Site de France, est étudié depuis de nombreuses années par des chercheurs du Laboratoire souterrain de Moulis et d'EDYTEM. Son microclimat, son hydrologie et sa géomorphologie sont désormais bien compris. Nous avons donc commencé un projet de reconstruction paléoclimatique à partir de spéléothèmes de cette grotte, couvrant la période Holocène. Ce projet contribuera notamment à mieux comprendre les variations hydrologiques dans le sud de la France et dans l'ouest du bassin méditerranéen à l'Holocène. Une attention particulière est portée aux événements hydrologiques extrêmes, de type cévenol, qui affectent la région, grâce à l'étude des lamines détritiques, piégées dans les spéléothèmes, qui se déposent à l'occasion de la mise en charge du karst (cf. événement de septembre 2002 ; Couchoud *et al.*, 2012).

Pedoséquence du dernier million d'années

Grâce à la collaboration avec R. Drysdale (Université de Melbourne - EDYTEM), I. Couchoud et Y. Perrette étudient actuellement un spéléothème collecté dans la grotte de Corchia (Italie, Alpes Apuanes) qui a enregistré un million d'années d'évolution environnementale et climatique. Cette étude en cours est notamment l'occasion de valider les développements réalisés sur la compréhension des sources de matières organiques dans les spéléothèmes mais également les développements méthodologiques et instrumentaux permettant de les suivre à haute résolution (Drysdale *et al.*, 2012).

Les premiers résultats d'ordre qualitatif et semi-quantitatif illustrent bien les concepts de rhexistase et biostase tels que proposés initialement par H. Erhart

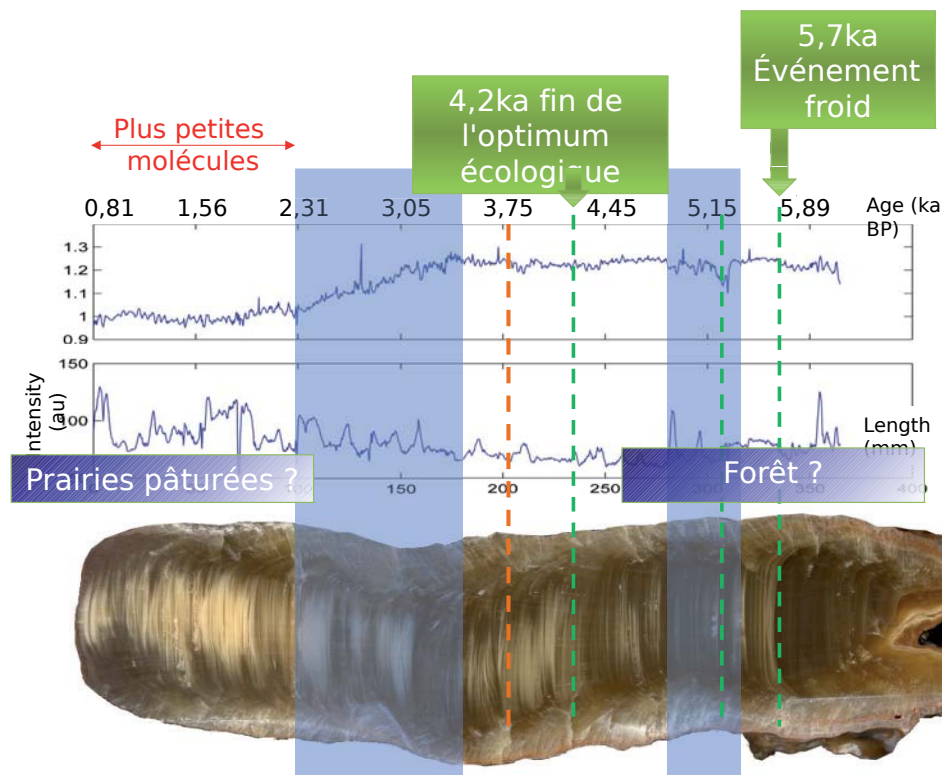


Figure 7 - Résultats préliminaires de la fluorescence mesurée sur une stalagmite des Bauges. La courbe du haut présente un indice de qualité des matières organiques fluorescentes, la courbe inférieure révèle la quantité de matière organique piégée dans le spéléothème. Les âges (calendaires) sont établis à partir de plusieurs dates U-Th.

(1956), avec des phases d'érosion et de reprise des sols associés aux différents cycles climatiques.

L'ensemble des recherches menées sur les spéléothèmes souligne l'implication d'EDYTEM sur cette archive continentale qui enregistre de nombreuses informations issues de l'environnement plus ou moins contraint par les usages anthropiques. Par leur richesse en termes d'indicateurs paléoenvironnementaux et paléoclimatiques et grâce aux calages chronologiques (datations), les spéléothèmes permettent de renseigner tant sur les usages passés, d'ordre historique voire pré-historique, que sur les pratiques actuelles de gestion de la couverture forestière ou des alpages (Perrette et al., 2008).

3 - La qualité des eaux karstiques : à la recherche des sources de matières organiques

À la croisée des recherches menées au sein du laboratoire en hydrogéologie, pédologie et paléoenvironnement, le suivi des flux de matières organiques dans les milieux karstiques a permis de préciser le fonctionnement des systèmes karstiques et plus particulièrement de sa partie superficielle (épikarst) grâce :

- à la description précise des différentes sources de matières organiques ;

- à la modélisation conceptuelle du fonctionnement des karsts en intégrant les compartiments de sub-surface et surface (épikarst et sols) ;
- à une approche multiparamètres intégrant des indicateurs organiques et minéraux.

Cette recherche a été appliquée à l'étude de l'impact de la sylviculture sur la qualité de l'eau des milieux calcaires. En effet, dans ces milieux, les eaux karstiques constituent la seule ressource disponible pour les différentes consommations (alimentation en eau potable, agriculture, tourisme). Le maintien de sa qualité constitue donc un enjeu important. Or, les karsts sont connus pour fournir une eau de qualité très variable liée à sa perméabilité en grand qui favorise un transit rapide des écoulements notamment lors d'événements météorologiques marqués par de fortes précipitations. La qualité des eaux karstiques est également très dépendante de l'utilisation des sols. Cette sensibilité du karst aux paramètres environnementaux se mesure également dans les informations contenues dans les spéléothèmes, ces derniers ayant la faculté d'enregistrer les changements dans l'environnement. Le laboratoire a souhaité développer une approche croisant les compétences des hydrogéologues et des chercheurs travaillant sur les spéléothèmes afin de pouvoir mieux appréhender les transferts de matières et de polluants depuis la surface jusqu'à l'endokarst et les eaux souterraines.

À l'intersection de l'étude de la dynamique hydrogéologique du karst et de celle des informations environnementales enregistrées dans les spéléothèmes, de nouveaux indicateurs, basés notamment sur les propriétés optiques (absorbance, fluorescence) des matières organiques présentes dans l'environnement, ont été identifiés (Figure 8). Ils ont notamment été utilisés pour décrire les différents rôles joués par les sols dans l'épuration/contamination naturelle des eaux karstiques. Ces travaux, en lien direct avec les recherches menées sur les spéléothèmes, ont été réalisés à différentes échelles, sur des systèmes karstiques de moyenne montagne des Bauges et du massif de l'Épine. S'appuyant sur la compréhension de l'infiltration dans l'épikarst (Perrette et al., 2013) ou l'analyse à l'échelle du système karstique (Quiers

et al., 2014 ; Tissier et al., 2013), les chercheurs du laboratoire ont pu mieux décrire les sources de matières organiques et minérales mobilisées par les eaux d'infiltration. La compréhension des transferts de matières depuis la surface jusqu'aux émergences a été affinée. Un des objectifs de ces recherches était de poser les bases et de proposer des clés pour une gestion durable de la ressource en milieu karstique. Elles ont, par exemple, fait l'objet d'une étude sur l'impact de la sylviculture et des différents modes de gestion forestière sur les ressources en eau karstique ; ce travail a été mené dans le cadre du projet INTERREG franco-suisse Alpeau dont l'objectif général visait à appréhender le rôle de la forêt sur la qualité des ressources en eau (<http://www.alpeau.org/>) (Figures 8 et 9).

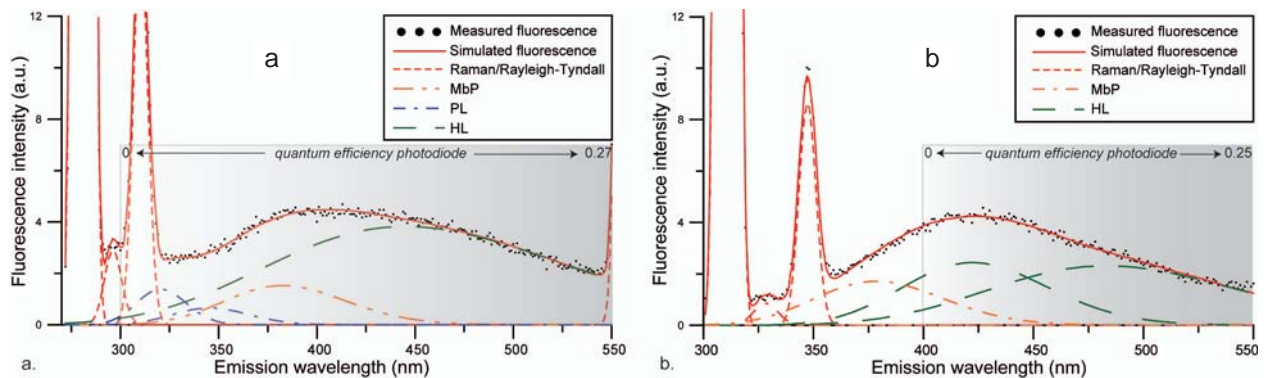


Figure 8 - Quelques-uns des indicateurs permettant de décrire la matière organique fluorescente utilisés dans le cadre des recherches sur les transferts vers le karst souterrain. L'émission totale de fluorescence des échantillons d'eau prélevés est décomposée en une somme de lois qui sont liées à de grandes familles de composés organiques rassemblées en deux grands types : (a) les types humiques HL et (b) les types protéiques PL.



Figure 9 - Transferts possibles de matières naturelles depuis la surface jusqu'à l'émergence d'un système karstique. Le suivi de la matière organique fluorescente (MOF) a permis, ici, d'identifier les sources pédologiques ou hypogées mobilisées vers les eaux souterraines. Il apporte une information supplémentaire qui vient compléter celles obtenues par d'autres indicateurs plus classiques tels que le carbone organique total (COT), la conductivité des eaux ou leur turbidité. Les graphiques illustrent la spécificité du comportement des matières organiques de types humiques (HL) et protéiques (PL) par rapport aux autres indicateurs lors d'un suivi temporel des eaux à l'émergence d'un système karstique (Tissier et al., 2013).

Ces quelques exemples illustrent la synergie mise en œuvre au sein du laboratoire, pour répondre aux questions de la compatibilité des usages anthropiques actuels (ici sylviculture) avec le maintien d'une bonne qualité des eaux karstiques.

4 - Les enjeux territoriaux des patrimoines et ressources du karst

Les espaces karstiques constituent des terrains privilégiés pour l'analyse des dynamiques touristiques et patrimoniales dans la mesure où les jeux d'acteurs se croisent avec des enjeux de protection et de mise en valeur spécifiques, liés aux caractéristiques mêmes de ces milieux (vulnérabilités de la ressource, milieu souterrain, verticalité des paysages, etc.). Les recherches conduites dans ce domaine ont porté sur différents terrains qui font toujours l'objet d'actions de suivi (fonction d'observatoire). Cette démarche, à la fois comparative et diachronique, a permis de traiter des dynamiques territoriales et des processus de (ré)agencement entre des enjeux de préservation et de développement touristique (Gauchon, 2006). Sur le socle des travaux qui ont été conduits aux grottes de Choranche (Vercors) au début des années 2000, des réflexions ont été développées sur d'autres régions karstiques comme le karst slovène (Duval, 2005 a, 2006 a, b, 2007 a, b, 2008 a, 2009, 2011) ou les grottes touristiques en particulier celles des gorges de l'Ardèche (Biot et al., 2007 ; Duval, 2005 b, 2006 a, 2007 a, 2008 b, 2009, 2010).

La thèse de V. Biot (2003) constitua une première étape des recherches sur le tourisme souterrain qui a été depuis développé au sein d'EDYTEM. Cette recherche avait pour objet l'analyse des dynamiques territoriales autour des grottes touristiques (Dordogne, Lot et Vercors) ; entraînent en jeu la perception des paysages souterrains, la place de la Préhistoire et la prise en compte des dimensions patrimoniales du monde souterrain (Biot, 2005, 2008). Une première synthèse de cette dynamique, alors nouvelle, a été publiée dans *Karstologia* (Biot et Gauchon, 2005) et dans *Espaces & Loisirs* (Biot, 2006).

Commencée en 2003, la thèse de M. Duval s'est centrée sur les gorges de l'Ardèche où les travaux sur la grotte Chauvet et sur l'aven d'Orgnac étaient déjà lancés, en même temps que sur le Karst slovène (2007 a). L'étude du tourisme souterrain croisait ici explicitement la question des espaces protégés avec à la fois la Réserve naturelle des Gorges de l'Ardèche, la grotte de Skočjan inscrite au Patrimoine mondial et les différents projets portant sur le lac saisonnier de Cerknica (Duval, 2007 b). La route touristique des gorges de l'Ardèche (Duval, 2006 c), l'Opération Grand site lancée sur les gorges puis réorientée sur l'aven d'Orgnac (Duval et Gauchon, 2006), la genèse

d'un territoire perçu à travers ses valeurs patrimoniales (Duval, 2005 b, 2008 b) sont autant de façons de poser la question des ressources paysagères du karst. Les acteurs se les sont appropriés et les arbitrages s'organisent à l'occasion des projets territoriaux.

Dans le même temps, l'implication du laboratoire sur le site des grottes de Choranche porte aussi sur le volant touristique : à plusieurs reprises, EDYTEM a été associé aux réflexions de la société d'exploitation sur les choix à faire quant à de nouveaux supports et circuits de visite, des aménagements, des animations... Le remplacement du son et lumières de la salle de la Cathédrale par un spectacle de projection sur les parois a donné l'occasion de réfléchir aux fonctions du tourisme souterrain, aux limites de sa plasticité, de même que les sessions de formation auprès des guides d'Orgnac ont aussi permis de réfléchir à la nature des discours à transmettre.

Plus récemment, Clémentine Eymery (2010, 2012) s'est intéressée aux parcours ludiques et sportifs qui sont une nouvelle voie explorée dans la diversification du tourisme souterrain : à Orgnac, aux Cuves de Sassenage (Vercors), aux grottes des Échelles (Chartreuse) ou encore dans les avens Yvon et des Jurassiens (Alpes-Maritimes), différents aménagements proposent des parcours qui donnent à étudier les cavités sous un angle nouveau : dans quelle mesure ces initiatives permettent-elles de attirer un nouveau public ? Quelle place prennent ces activités dans le système du tourisme souterrain ? Quelle est la signification de tels aménagements en terme d'artificialisation du milieu ? Et quelle est leur compatibilité avec les impératifs environnementaux ?

En 2013, Morgane Cadoux a initié des recherches sur la perception du paysage souterrain par les visiteurs de l'aven d'Orgnac : en fonction de la structuration du parcours, de l'orientation et de la puissance des éclairages, du temps passé sur chaque station et du transit entre les stations successives, du discours du guide, comment s'organise la mémorisation des paysages ? Qu'est-ce qui fait qu'une cavité va être perçue dans sa singularité ou confondue dans une idée générale de ce que peut être un paysage souterrain ?

Enfin, depuis 2011, C. Malgat a commencé une thèse CIFRE avec le Syndicat Mixte de l'Espace de Restitution de la Grotte Chauvet pour évaluer les retombées sur le territoire à la fois de l'inscription de la grotte Chauvet sur la liste du Patrimoine mondial et la construction d'une réplique de la grotte Chauvet (site du Razal-Vallon-Pont-d'Arc). En partant d'une demande d'expertise exprimée par le territoire, la réflexion porte à la fois sur les attentes en termes d'évolution du tourisme, sur la possibilité de définir un *tourisme de qualité* dans une région de tourisme de nature (Malgat, 2014) et sur des propositions d'indicateurs susceptibles d'être suivis à moyen terme lorsque l'ERGC aura ouvert au public (Cachat, 2007 ; Cachat et al., 2012 ; Malgat et al., 2012).

LES GORGES DE L'ARDÈCHE

L'ensemble régional constitué par les grottes touristiques et la réserve naturelle des gorges de l'Ardèche est l'un des terrains d'observation investis depuis une dizaine d'années par les membres du laboratoire.

Historiquement construit autour de la mise en valeur des paysages karstiques (grottes touristiques, paysage de surface avec le Pont d'Arc et les gorges de l'Ardèche) et du développement de pratiques récréo-touristiques de pleine nature (descente en canoë, baignade, randonnée), ce territoire est aujourd'hui marqué par des projets de développement touristique, en lien avec la découverte de la grotte Chauvet en 1994, la demande d'inscription au Patrimoine mondial (horizon 2014) et le projet d'un fac-similé (ouverture prévue début 2015). Pour les acteurs du territoire investis dans les projets de valorisation de la grotte Chauvet, l'objectif est de faire évoluer les pratiques touristiques vers un tourisme culturel, avec l'idée que ce dernier permettrait d'étendre une saison touristique aujourd'hui concentrée autour des gorges de l'Ardèche et sur la période estivale (Duval, 2010).

Après plusieurs années de litiges, marquées entre autres par l'échec relatif de la première convention signée en 2000 entre l'Etat et le département, et l'abandon du premier site d'implantation choisi pour le fac-similé, une nouvelle charte de coopération est signée en 2005 entre l'Etat, la région et le département. Ce document fixe les objectifs culturels, touristiques, économiques associés à la réalisation du fac-similé. Il est rapidement relayé par le CPER signé entre l'Etat et la région Rhône-Alpes pour la période 2007-2013, lequel a identifié le projet Chauvet comme faisant partie des Grands Projets de la région. Le Grand Projet Chauvet associe à la fois le projet de fac-similé et celui d'inscription au Patrimoine mondial par l'Unesco, ces deux actions venant se légitimer dans un processus de réciprocité (Figure a). Dans ce sillage, plusieurs démarches, encouragées par un programme d'accompagnement territorial, sont lancées en vue d'impulser de nouvelles dynamiques patrimoniales et touristiques à l'échelle du sud-Ardèche (Figure b). Celles-ci diffèrent tant par leur emprise spatiale que par les investissements qu'elles nécessitent. Un gradient s'observe alors entre des actions d'envergure comme la requalification des belvédères de la route touristique des gorges de l'Ardèche (Figure c), la rénovation du musée régional de la Préhistoire d'Orgnac appelé à devenir Cité de la Préhistoire ou encore le projet de réaménagement de la combe d'Arc avec la relance d'une Opération Grand Site en 2012, et des actions ponctuelles comme des mesures de requalification de l'offre patrimoniale et touristique : travaux de rénovation des espaces d'accueil dans les grottes de Saint Marcel ou de la Madeleine, valorisation du patrimoine bâti des villages sud-ardéchois, etc.



Figure a - Inscription au Patrimoine mondial par l'UNESCO et projet de fac-similé de la grotte Chauvet : logique interactive et justification réciproque (Photo juillet 2012).

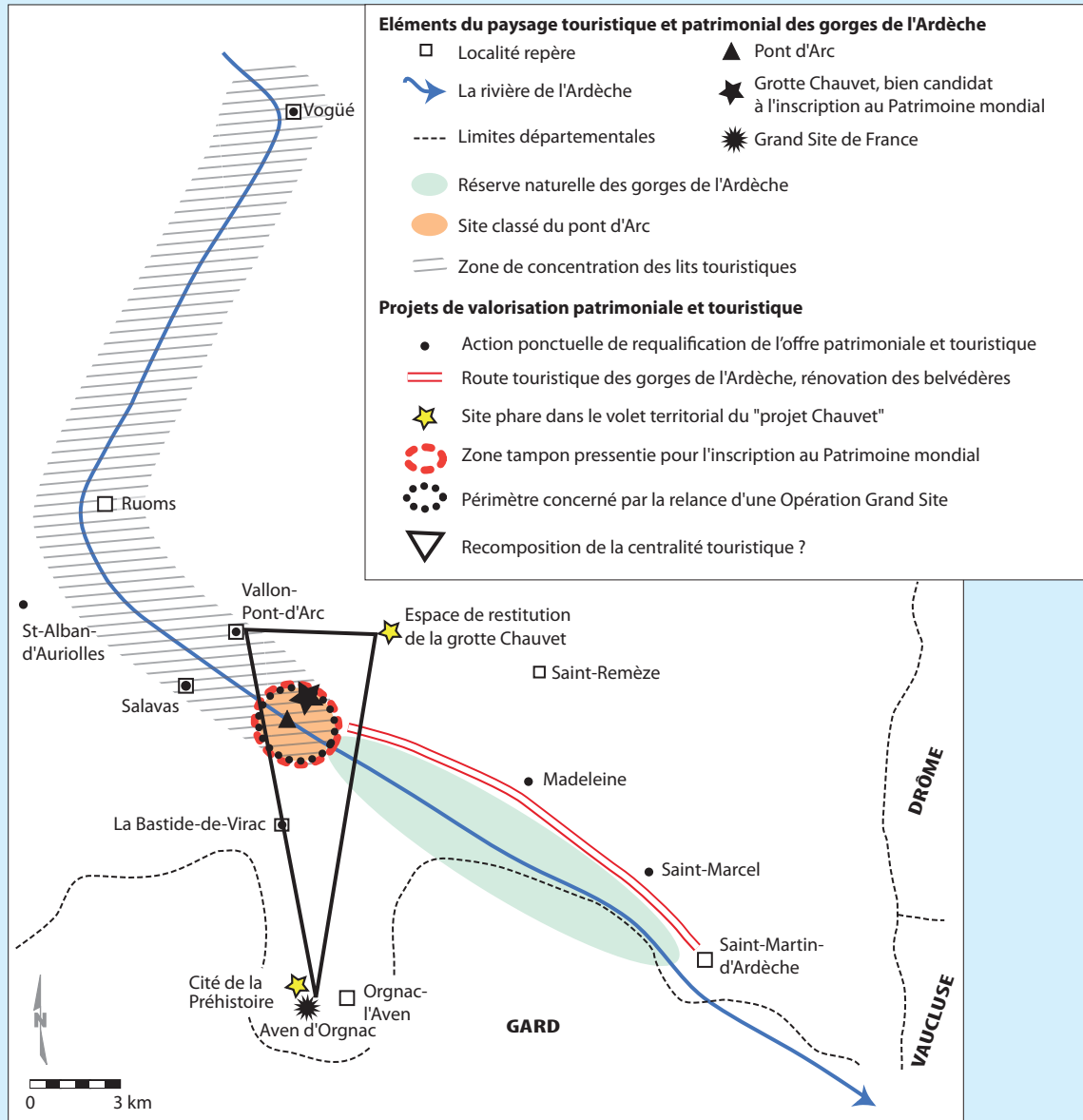


Figure b - Projets de valorisation patrimoniale et touristique à l'entrée des gorges de l'Ardèche.



Figure c - La requalification de la route touristique des gorges de l'Ardèche : réaménagement des belvédères en balcon au-dessus des gorges (Photo juillet 2012).

De plus, on constate une évolution du paysage patrimonial et touristique des gorges avec des fermetures de sites (grotte des Huguenots en 2007, puis celle des Tunnels), des effets de mise en réseaux tel que le réseau de médiation des patrimoines naturels et culturels d'Ardèche méridionale depuis début 2013, une diversification des produits touristiques existants avec la création des sentiers du Vertige à l'aven d'Orgnac par exemple (Figure d), l'apparition de nouveaux produits touristiques comme la mise en place de bus panoramiques sillonnant la route des gorges, des animations du territoire avec des cafés Unesco ou encore le déroulement des journées du patrimoine autour du site du Pont d'Arc.

Compte tenu de cette diversité, cet espace se révèle être particulièrement intéressant pour observer l'évolution des jeux d'acteurs, questionner les choix effectués, analyser les effets d'opérations d'aménagement du territoire ainsi que les logiques de mises en réseaux et au final, interroger dans quelle mesure les différents projets portés par les acteurs participent d'une évolution (recomposition ?) du territoire sud-ardéchois.

Les recherches actuellement conduites au sein du laboratoire visent précisément à analyser la réalité de ces évolutions territoriales, entre les projections/discours des acteurs et les réalités observables. Aujourd'hui, des décalages s'observent : alors que les acteurs appellent à un décentrage des dynamiques patrimoniales et touristiques en direction des plateaux karstiques encadrant les gorges, allant même jusqu'à invoquer cet argument pour justifier leurs actions, un processus de concentration s'observe à l'amont des gorges de l'Ardèche (Figure b). Un suivi dans le temps permettra de mesurer la réalité des effets de déconcentration/diffusion souhaités par les acteurs territoriaux. Tel est un des objectifs de la recherche doctorale de C. Malgat qui vise à mettre en place des indicateurs territoriaux à même de suivre l'évolution des dynamiques patrimoniales et touristiques suite à l'ouverture prochaine du fac-similé et l'obtention espérée du label Unesco.



Figure d - Diversification de l'offre touristique : création des sentiers du Vertige à l'aven d'Orgnac. Cliché D. Donzel, 28/04/2008.

On voit ainsi que les travaux menés par EDYTEM tendent à déborder largement le cadre strict des grottes touristiques pour envisager le karst en général comme un ensemble de ressources pour le territoire. On retrouve ici l'esprit même de la démarche développée au sein du laboratoire d'aborder le karst, ses ressources, ses valeurs, ses mémoires dans sa globalité.

5 - Une analyse 3D de l'endokarst

Le karst, par sa dimension souterraine, est un objet éminemment tridimensionnel. L'organisation des conduits et des drains à l'intérieur de la masse calcaire, l'étagement et la géométrie des galeries, le caractère replié des morphologies pariétales font de cet objet naturel un objet complexe d'appropriation et de compréhension en raison de ses différentes dimensions spatiales. Cette complexité est accrue dès lors que l'étude du karst s'inscrit dans une analyse plus globale (reconstitution paléogéographique, conservation...) et vise à extraire les informations issues de ses différentes mémoires (géomorphologiques, paléoenvironnementales, paléoclimatiques...) et ressources (hydrologique, patrimoniale). Afin de répondre à cette difficulté d'approche globale, le laboratoire EDYTEM a développé une double stratégie : inscrire l'ensemble des recherches dans une approche systémique et avoir recours à des outils d'analyse 3D. Le laboratoire a développé, sur les 10 dernières années, des approches novatrices, autant à l'échelle des réseaux qu'à celle des formes. Ce développement a été possible avec le soutien de la plateforme CTI3D, l'acquisition d'outils spécifiques et un investissement important de ses ingénieurs, chercheurs et doctorants.

Le karst : une nécessaire vision 3D

Les réseaux souterrains constituent des objets complexes, composés d'une structuration de vides issus du travail de la dissolution. Or, si on se réfère à la majorité des représentations cartographiques et topographiques d'une cavité (Gauchon et al., 2013), le regard proposé sur son organisation géométrique est paradoxalement celui d'une vue distanciée c'est-à-dire en dehors des conduits (à l'extérieur de ceux-ci) et le plus souvent en 2D (vue en coupe projetée ou en plan) impliquant de nombreuses distorsions dans la représentation de cet objet. Le recours à la 3D a changé les regards et la manière de travailler, de croiser les données spatiales (intra-karst mais également extérieur/intérieur) et aussi de diffuser les connaissances vers les autres champs de recherche, les acteurs des territoires concernés voire le grand public. Les outils 3D permettent d'appréhender la structure et l'organisation du karst et ceci à toutes échelles (système, conduits, micro-formes). Il importe de relever ici que la plupart des objets naturels supporte une représentation 2D ou 2,5 D. Ainsi un bassin versant, une montagne peut être représenté et analysé en 2,5D, c'est-à-dire que

pour toute position XY, il n'existe qu'une information d'élévation Z. L'objet peut être vu d'en haut selon un plan de référence horizontal XY. Le karst implique quant à lui plusieurs informations Z pour une même position XY (voûte et plancher, conduits pincés, galeries étagées) et nécessite dès lors un mode d'appréhension et de représentation en vraie 3D. Dans les années 2005, le laboratoire a reçu le soutien du CNRS et du Ministère de la Recherche dans l'acquisition d'un des premiers laserscans en France dédiés aux objets naturels et a mobilisé les compétences en travaillant avec des développeurs du 3D (cabinet Perazio avec la thèse CIFRE de B. Sadier).

Le développement conjoint d'outils informatiques (logiciels dédiés ou adaptés) et de méthodes d'acquisition de données a permis dans la décennie passée de mieux saisir et représenter la complexité des géométries karstiques en s'appliquant à la décliner sur différentes problématiques karstiques : paléogéographique (Jaillet et al., 2009 a ; Hobléa et al., 2011 a, Sadier 2013 ; Nehmé et al., 2013), hydrologique, conservatoire (Delannoy et al., 2007 b, 2008) et archéologique (Boche et al., 2011 ; Delannoy et al., 2012 a, b).

L'analyse 3D du karst ouvre de nombreuses perspectives de recherche et d'approches du karst. Ici deux points seront plus particulièrement développés et ce à deux échelles : celle du réseau endokarstique et celle des drains et des conduits. L'approche 3D permet de croiser ces deux échelles dans un même raisonnement karstogénique.

Analyse 3D à l'échelle des réseaux

Parcourir les conduits du karst consiste à dérouler un cheminement à l'intérieur des vides karstiques que sont les cavités, que seule la topographie spéléologique permet de démêler. Depuis une vingtaine d'années, le développement et la démocratisation de logiciels dédiés au traitement de ces données permet de produire des images projetées (plan et coupes), mais aussi des vues 3D (fixes ou animées). Le laboratoire EDYTEM a ainsi traité des lots de données pour des réseaux spéléologiques de grandes dimensions (Orgnac, système de Foussoubie, karst de l'interfluve Ardèche/Ibie, réseau du Granier...). Chaque fois, la stratégie a été de combiner en 3D des informations d'origine diverses et pouvant être confrontées utilement dans le cadre d'une étude fonctionnelle du karst (circulation des eaux souterraines) et/ou d'une approche paléogéographique (identification des niveaux étagés témoins de différents événements géomorphologiques). Les informations retenues dans la constitution du modèle 3D sont : les réseaux spéléologiques, la topographie, la géologie et des informations paléogéographiques.

Les réseaux spéléologiques sont une suite de segments 3D (coordonnées polaires) dont l'analyse statistique permet d'identifier des directions de galeries ou des niveaux repères (Jaillet et al., 2012 ; Sadier,

2013). La maille, c'est-à-dire la résolution de ce type d'information varie de 5 à 20 m selon les données. La topographie de surface est souvent issue de la BD Alti de l'IGN (25 m). La géologie est, quant à elle, digitalisée depuis les cartes géologiques ou des levés de terrain. Les contacts majeurs (mur et toit des ensembles carbonatés) sont souvent extrapolés avec une part d'interprétation allant parfois au-delà de l'information donnée par les cartes géologiques au 1/50 000. Enfin, les paléo-niveaux de base, les niveaux piézométriques... peuvent être ajoutés dans le modèle selon la problématique de recherche retenue. Cette approche globale a été expérimentée avec succès sur plusieurs systèmes endokarstiques majeurs comme celui du Granier (Chartreuse septentrionale). Dans ce système totalisant 90 km de galeries explorées sous une surface de 2,8 km², cinq niveaux repères ont été identifiés entre 1 200 et 1 900 m d'altitude, dont certains ont pu être rapportés à une paléogéographie néogène

bien différente de la structuration actuelle du relief (Figure 10 ; Hobléa et al., 2010 ; Hobléa et al., 2011 a)

Une analyse 3D à grande échelle : conduits, parois et microformes

Dans l'analyse 3D à grande échelle, des progrès importants ont été réalisés dans la dernière décennie. L'apparition récente des laserscanners terrestres (LiDAR) a permis d'acquérir des images 3D d'une très grande densité sur des conduits, des grottes complètes ou parfois des portions de drains. EDYTEM a fait l'acquisition d'un LiDAR longue portée en 2005 (Optech Ilris 3D) qui bien que peu adapté aux grottes, a été un vecteur de développement de l'acquisition 3D en cavités. Un partenariat technologique avec le cabinet Perazio a été rapidement mis en place compte tenu de son expérience et de son parc matériel mieux adapté aux objets souterrains (Scanner Leica HDS 6000 notamment). Récemment (2013), l'équipement

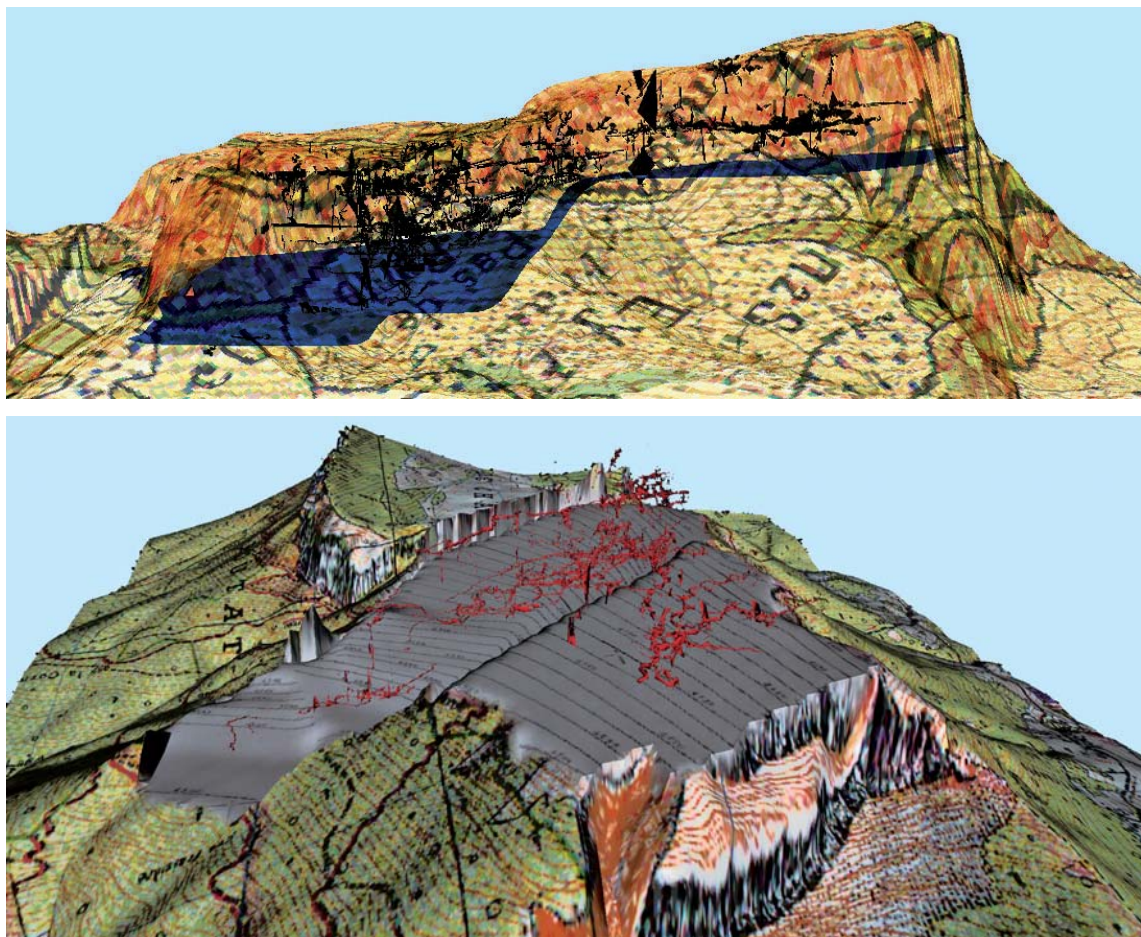


Figure 10 - Vue 3D du système karstique du Granier. Le modèle comprend les réseaux spéléologiques, la topographie et les contacts géologiques majeurs. Ainsi apparaît en bleu sur la figure du haut le contact, dénivélé par faille, entre les calcaires urgoniens et les marnes hauteriviennes sous-jacentes. Ce même contact est représenté en blanc avec courbes de niveaux issues des observations de terrain (spéléologiques et relevés de surface à la base des parois bordières) sur la figure du bas, dont l'Urgonien a été volontairement « décapité » pour ne laisser apparaître que le réseau karstique qu'il contient (en rouge). L'évolution du système sur le temps long est perceptible dans ces vues par la présence de plusieurs étages spéléologiques (données Spéléo-Club de Savoie ; IGN ; Hobléa et al., sous presse).

du laboratoire avec un scanner Faro Focus permet de gagner en légèreté et en rapidité d'acquisition et ainsi de redonner une nouvelle dynamique d'acquisition de données 3D en milieu souterrain. Au-delà de cet aspect matériel, nous avons développé une véritable chaîne opératoire comprenant les étapes d'acquisition, de traitement et de valorisation des données 3D acquises en milieu souterrain. Ce protocole, dont les étapes restent globalement similaires d'un modèle à l'autre, a toutefois été développé de façon à répondre aux spécificités des systèmes karstiques et des différentes problématiques qui s'y rapportent. En effet, l'expérience acquise sur les différents chantiers de recherche a permis de souligner qu'en amont de toute acquisition en milieu souterrain, logistiquement plus difficile à mettre en place que dans d'autres espaces, il est fondamental de bien définir la pertinence de l'outil 3D pour répondre à la problématique de départ.

C'est pourquoi, le chercheur doit être au cœur du dispositif de relevé et du traitement de données car lui seul peut vérifier si la donnée recueillie par lasergrammétrie sera suffisante quantitativement et qualitativement pour répondre à son objectif final. Ainsi, la mise en œuvre du scanner sur le terrain, le choix d'une résolution pertinente, les procédures d'assemblage, la consolidation, le maillage, la vérification, le nettoyage, la réduction et enfin l'édition du modèle, véritable clone numérique d'une grotte, d'une paroi, d'une stalagmite selon les cas, doit être supervisé par l'utilisateur final du modèle pour que celui-ci soit en adéquation avec la question posée au départ.

Plusieurs travaux sont actuellement menés à une échelle fine sur les objets karstiques. Ils concernent aussi bien des questions associant préhistoire et géo-

morphologie qui s'appuient systématiquement sur des relevés 3D comme à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Delannoy et al., 2012 a, b ; Sadier et al., 2012), à la grotte des Deux Ouvertures (Delannoy et al., 2012 c), à la grotte aux Points, à la grotte des Fraux (Burens et al., 2011), à la grotte des Gorges (Cailhol et Jaillet, 2012) ou en Australie à Nawarla Gabarnamang (Delannoy et al., 2013 b). Les travaux traitent des salles et galeries comme à Foussoubie ou Midroi (Jaillet et al., 2006, 2009 a, 2011 a, b, 2012 ; Sadier, 2013) ou d'identification d'objets de plus petites dimensions comme les stalagmites (Hajri et al., 2009, 2011) ou les stalactites (Chakroun et al., 2009 ; Hajri et al., 2011 ; Perrette et Jaillet, 2010 ; Sadier et al., 2011 ; Lacave et al., sous presse). Certains de ces travaux sont présentés dans le présent chapitre ou dans le cadre des activités de la plateforme CTI3D. Notons à titre d'exemple, le cas des banquettes limites, formes pariétales peu étudiées qui ont pu être utilement revisitées et comprises par le recours à l'analyse 3D (Figure 11).

Karst, grottes et préhistoire

L'implication de plusieurs membres du laboratoire (J.-J. Delannoy, Y. Perrette, A.-S. Perroux, É. Boche, S. Jaillet, B. Sadier) dans l'équipe scientifique de la grotte Chauvet - Pont d'Arc a été le point de départ d'une coopération scientifique avec les préhistoriens qui n'a cessé de se développer durant ces dix dernières années. Elle s'est traduite de différentes façons : (i) par une attractivité accrue du laboratoire qui a été marquée par l'arrivée de trois nouveaux membres (I. Couchoud, É. Chalmin et É. Boche) dont deux permanents qui avaient réalisé leur recherche

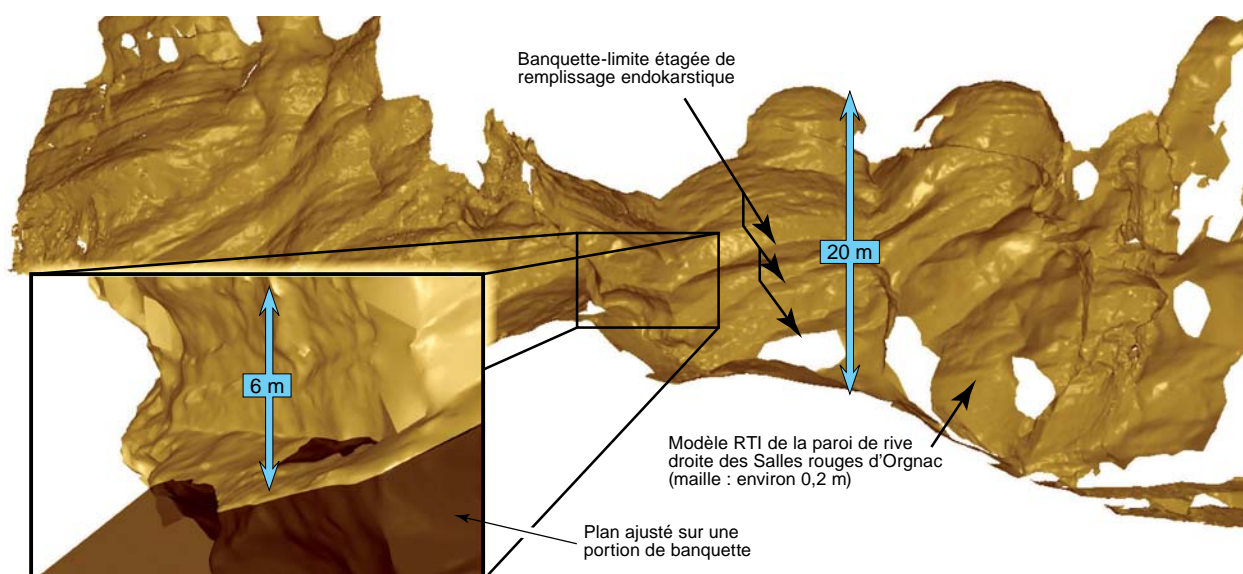


Figure 11 - Les banquettes limites sont des morphologies pariétales qui témoignent d'anciens niveaux du remplissage endokarstique dans un contexte de spéléogénèse noyée. Leur analyse en 3D a permis de reconnaître les étapes de mise en place du karst d'Orignac et de proposer une géométrie du conduit avec une reconstitution des paléo-écoulements au cours de sa genèse (Jaillet et al., 2011 a, b ; Sadier, 2013).

antérieure sur des grottes préhistoriques et ornées (Lascaux, Arcy-sur-Cure...) ; (ii) par le développement de programmes de recherche couplant approche karstologiques, géographiques et (ethno)archéologiques : les plus emblématiques sont ceux développés en Afrique du Sud (Drakensberg) dans le cadre d'un GDR CNRS, en Papouasie Nouvelle Guinée (Kikori river) et en Terre d'Arnhem (Australie ; David *et al.*, 2011, 2013) ; trois programmes conduits en étroit partenariat avec le Centre National de Préhistoire (Périgueux) ; et enfin (iii) par l'implication de membres du laboratoire sur des chantiers de fouille en milieu souterrain (grotte des Fraux, Dordogne ; grotte des Gorges, Jura ; grotte des Deux Ouvertures, Ardèche ; grotte Tempiette, Savoie).

Dans l'ensemble de ces actions, ce sont les compétences du laboratoire qui ont été sollicitées, notamment en géomorphologie, en géographie et en archéozoologie (Christophe Griggo). Au-delà des apports sur la reconstitution (géo)morphologique des cavités contemporaine de leurs fréquentations humaines et animales, une attention est de plus en plus portée sur les morphologies souterraines comme témoins des aménagements et des gestes des hommes de la Préhistoire (Delannoy *et al.*, 2012 a, b, 2013 b). Afin de faire connaître ces nouvelles dynamiques et nouveaux concepts (dont celui d'anthropo-géomorphologie), EDYTEM a organisé en 2012 les journées de l'Association Française de Karstologie sur le thème de *Karst, Paysages et Préhistoire* (Collection EDYTEM n° 13). Deux exemples dans la grotte Chauvet-Pont d'Arc sont ici donnés pour présenter les recherches développées au sein d'EDYTEM sur l'articulation Karst/Préhistoire.

a - Reconstitution des morphologies et paysages souterrains contemporains de leurs occupation préhistoriques

Travailler dans la grotte Chauvet-Pont d'Arc qui contient les plus anciennes images connues de l'Humanité (36 000 ans), c'est toucher au temps des Hommes. Investi dans des travaux en lien avec des sites à haute valeur patrimoniale archéologique, le laboratoire aborde fréquemment des objets pour lesquels les questionnements portent essentiellement sur ce qu'étaient les morphologies contemporaines des fréquentations et occupations humaines et animales préhistoriques et sur leurs évolutions postérieures. L'exemple le plus probant d'une reconstitution paléogéographique à haute résolution est celui du porche préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc et de sa fermeture brutale par effondrement de la corniche calcaire (Delannoy *et al.*, 2010 ; Sadier *et al.*, 2012 ; Sadier, 2013). Les résultats obtenus sur la fermeture du porche d'entrée de cette cavité et leurs implications sur la confirmation des périodes de fréquentations et pour la compréhension de la conservation exceptionnelle de cette grotte

constituent une avancée notable à la connaissance de ce site majeur de l'art pariétal paléolithique. En effet, au-delà des discussions sur le modèle chronologique des œuvres pariétales de la grotte croisant les objets anthropiques, paléontologiques et naturels (Bon *et al.*, 2008 ; Sadier *et al.*, 2012), il convenait de proposer une géométrie de l'entrée de la cavité au temps des fréquentations et de définir les modalités et les étapes de cette évolution (Figure 12). Le travail a été entrepris en croisant trois méthodes : (i) une analyse géomorphologique détaillée (avec cartographie au 1/50) de la zone d'entrée, des parois, des dépôts, tant sous terre qu'en surface, (ii) une modélisation 3D du site afin de quantifier les volumes (effondrés ou déposés) et de proposer une image 3D de la grotte avant sa fermeture et enfin (iii) une série de datation ³⁶Cl réalisée sur plusieurs échantillons prélevés sur la niche d'arrachement (collaboration CEREGE). Les travaux ont permis de reconstituer pour la première fois le porche d'entrée (Delannoy *et al.*, 2010) et de contraindre finement cette évolution entre 29 400 et 21 500 ans (Sadier *et al.*, 2012 ; Sadier, 2013).

Au-delà de la reconstitution du porche préhistorique de la grotte Chauvet et du calage chronologique de sa fermeture, les recherches géomorphologiques couplées aux outils 3D qui ont été menées dans cette cavité ont permis de restituer les paysages souterrains tels que les ont connus les Préhistoriques (Aurignacien et Gravettien) et ainsi de mieux appréhender l'inscription des œuvres pariétales dans leur environnement souterrain. De telles approches novatrices sont au cœur des travaux actuels du laboratoire au sein de l'équipe scientifique de la grotte Chauvet - Pont d'Arc (financement Ministère de la Culture).

b - Retrouver les gestes des Hommes de la Préhistoire par l'approche géomorphologique

Les recherches développées tant dans la grotte Chauvet-Pont d'Arc que sur les sites d'art rupestre aborigènes de Terre d'Arnhem (Australie) ont mis en avant une nouvelle dimension de la géomorphologie karstique : celle qui permet de révéler des aménagements réalisés par les Hommes de la Préhistoire dans les cavités et abris sous-roche. Par sa démarche reposant sur la définition des différents processus à l'origine de tel ou tel morphologie ou dépôt, la géomorphologie karstique à haute résolution spatiale permet de souligner dans le paysage souterrain la présence d'éléments jugés aberrants d'un point de vue purement morphogénique (ex. de blocs accumulés sous un plafond agencé en régime phréatique). L'analyse de ces éléments (accumulation de blocs, déplacement de blocs, extraction d'argile) a permis de mettre en évidence de très anciens aménagements anthropiques. Dans la grotte Chauvet ont été ainsi mis en évidence (i) des structures constituées d'amas de blocs à proximité des principaux panneaux parié-

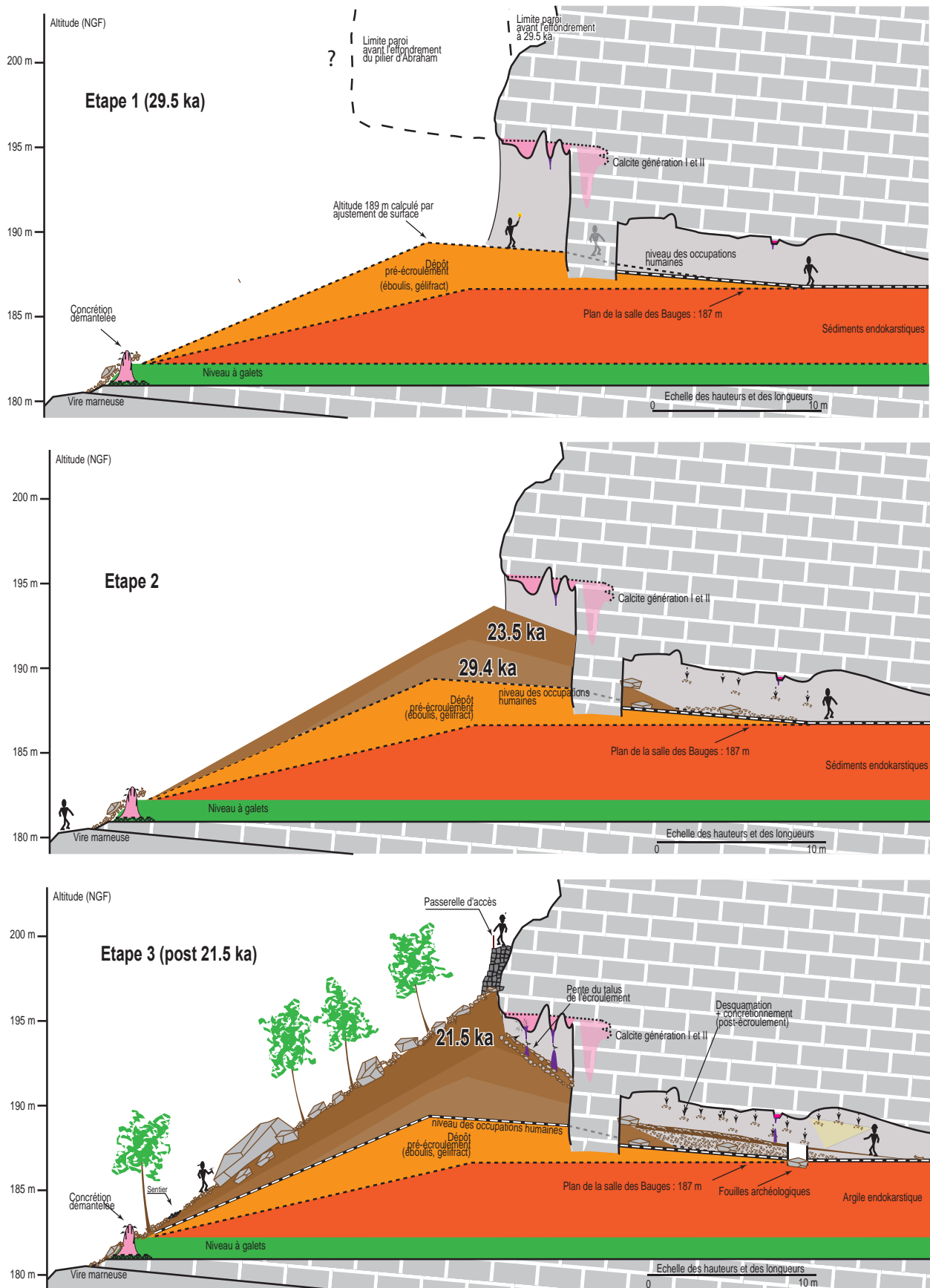


Figure 12 - Reconstitutions des étapes de fermeture de l'entrée de la grotte Chauvet entre 29,4 et 21,5 ka avant le présent. Ce type de reconstitution est basé sur le croisement d'une analyse géométrique (supporté par la 3D), d'observations géomorphologiques (en grotte et à l'extérieur) et d'une série de datations ^{36}Cl qui ont permis de contraindre les surfaces identifiées (Delannoy et al., 2010 ; Sadier et al., 2012 ; Sadier, 2013).

taux, (ii) des aménagements facilitant le cheminement dans la cavité, (iii) la construction de bassins (Figure 13) ainsi que des (iv) accumulations osseuses (crânes, os plantés) (Delannoy *et al.*, 2012 a, b). L'analyse des blocs mobilisés dans ces différents aménagements et l'étude de leurs dispositions ont permis de retrouver la provenance de ces blocs, l'énergie nécessaire à leur déplacement (un ou plusieurs hommes) et les gestes de la construction de ces édifices.

Une démarche similaire a été développée sur les sites d'art rupestre aborigènes. Elle a mis en évidence

que ceux-ci portent la marque d'aménagements très anciens dont certains remontent à plus de 40 000 ans (Delannoy *et al.*, 2013 b).

Cette approche de la géomorphologie sur sites préhistoriques est novatrice et offre de nouvelles perspectives de recherche notamment avec les outils 3D et de réalité virtuelle ; le concept d'anthropo-géomorphologie a été défini sur la base de ces travaux portés par le laboratoire EDYTEM et ses principaux partenaires, le Centre National de Préhistoire et l'Université de Monash (Melbourne, Australie).

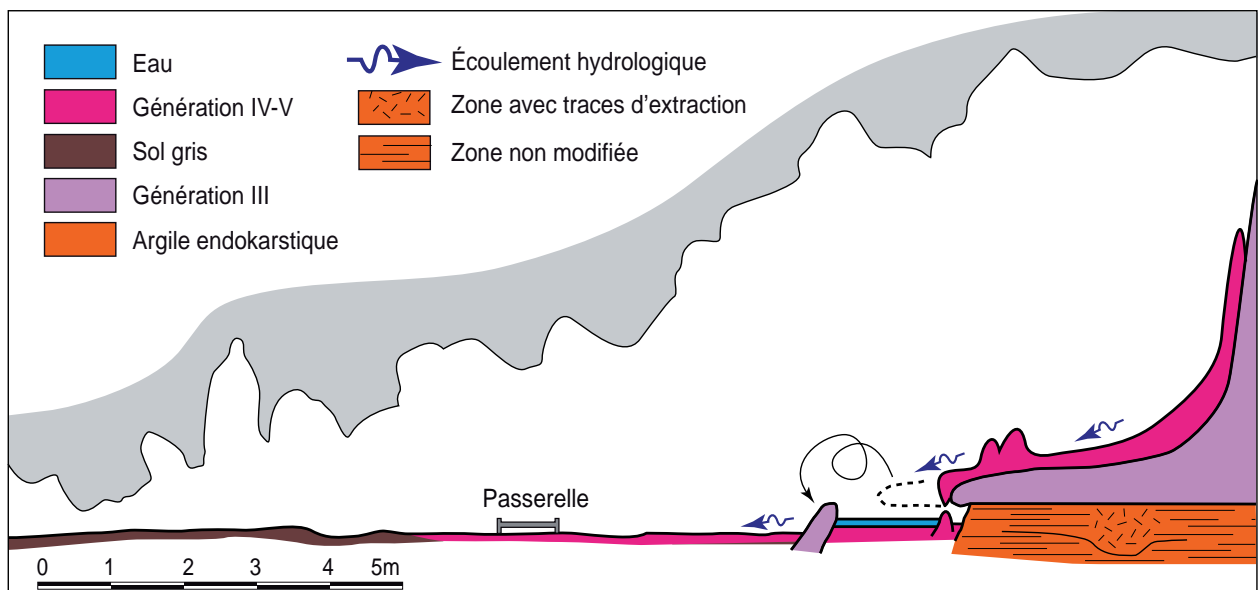


Figure 13 - Bassins préhistoriques de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche)

Sur la photo, on relève l'alignement de deux gros blocs qui bloque la circulation de l'eau. L'étude géomorphologique de ces blocs indique que leur situation et disposition ne sont pas liées à des processus naturels. Ils ont été déplacés par les Hommes de la Préhistoire depuis le rebord d'un plancher stalagmitique cassé (cf. figure). Les interblocs ont été colmatés par de l'argile afin de renforcer l'étanchéité de ce barrage protohistorique. La fonction de ces bassins reste à déterminer.

UN KARST DE L'EXTRÊME ENTRE GLACIER, LAPIÉS ET HOMMES : L'ARCHIPEL DE PATAGONIE OCCIDENTALE

Entre 50° et 51° de latitude sud, en pleine façade pacifique, battu par des vents violents et ininterrompus, et soumis à une pluviosité exceptionnelle (près de 10 m d'eau par an), s'étend un karst méconnu, sculpté dans des calcaires et des marbres primaires. Au cours de la dernière décennie, l'association Centre Terre y a organisé plusieurs expéditions d'exploration et de recherche scientifique. Plusieurs laboratoires français et étrangers (chiliens notamment) ont été associés à celles-ci. C'est dans ce cadre que le laboratoire EDYTEM a développé trois axes de recherches : (i) l'évolution des surfaces lapiazées suite au retrait glaciaire, (ii) les occupations en grotte des indiens Kaweskars et (iii) l'identification de la valeur patrimoniale des paysages façonnés par les éléments naturels en vue d'une inscription future sur la liste du Patrimoine mondial.



a - Les surfaces lapiazées de Madre de Dios comptent parmi les plus spectaculaires du monde. Le rabotage glaciaire et l'unicité du processus d'érosion (la dissolution) explique la pureté de ces paysages parfois dénomé « les Glaciers de Marbre ». Cliché S. Jaillet – Centre Terre.

b - Champ de comètes de roche sur la surface lapiazée de Madre de Dios. Le vent oriente les écoulements superficiels et favorise la préservation d'un relief en arrière des blocs erratiques. Cliché S. Jaillet – Centre Terre.

c - Champignons spectaculaires de l'île de Madre de Dios. Les blocs erratiques non carbonatés ont préservé de la dissolution les calcaires sous jacents, favorisant leur maintien au sommet d'un pied, ici incliné sous l'effet du vent. Cliché F. Hobléa – Centre Terre.



d - Tube phréatique ascendant dans la grotte du Masque. Les vagues d'érosion témoignent de paléo-écoulements ascendants associés aux dernières phases d'englacement. Cliché B. Tourte – Centre Terre.

e - Peintures rupestres (dont un anthropomorphe) découvertes en 2006 à la grotte du Pacifique et attribuées aux indiens Kaweskars. Cliché L.-H. Fage – Centre Terre.

f - Station hydrologique et météorologique mise en place sur le site de Tarlton pour étudier les modalités d'écoulement et la vitesse de dissolution dans les cannelures de lapiaz. Cliché Centre Terre.

Ce qui marque l'attention dans les espaces étudiés en Patagonie est l'émergence et la forte présence dans le paysage de morphologies spectaculaires postérieures au retrait des glaciers.

A la suite de ce retrait entre le dernier maximum du froid et le début de l'Holocène, les surfaces calcaires à nu ont subi l'action des eaux météoriques dont on peut ici mesurer l'efficacité. Le développement de formes d'érosion y est très spectaculaire (cannelures, comètes de roches, erratiques sur socle...) (Maire *et al.*, 2009 a, b). Au-delà de leur description, le laboratoire EDYTEM a instrumenté, entre 2008 et 2010, un site expérimental pour évaluer le travail de la dissolution (Jaillet *et al.*, 2008 ; 2011c ; Morel *et al.*, 2011).

Par ailleurs, cet archipel désolé et aujourd'hui désert fut parcouru, il y a encore peu de temps, par des indiens Kaweskars dont la culture reste mal connue (Empereur, 1955). La découverte de plusieurs sépultures lors de ces missions de recherche (Legoupil et Sellier, 2004), et notamment de la première grotte ornée de l'archipel patagonien a permis de redonner la place de ce peuple dans ce qui a été son territoire de chasse (Fage, 2006 ; Jaillet *et al.*, 2009 b, 2010). L'ensemble de ces découvertes touchant autant au façonnement des paysages qu'à la présence humaine passée font de l'archipel calcaire de Patagonie et notamment de l'île de Madre de Dios un territoire aux potentialités patrimoniales exceptionnelles. L'identification de ces spécificités et l'analyse de leur caractère constituent aujourd'hui un ensemble solide pour une proposition d'inscription à la liste du Patrimoine mondial (Hobléa *et al.*, 2013 a).

III - LE LABORATOIRE ET LA COMMUNAUTÉ SPÉLÉO-KARSTOLOGIE : UN RÔLE D'INTERFACE ET DE DIALOGUE ENTRE LES ACTEURS SCIENTIFIQUES, INSTITUTIONNELS ET ASSOCIATIFS

Par ses recherches sur le karst et plus spécifiquement sur le milieu souterrain, le laboratoire a eu dès sa création des liens privilégiés avec la Fédération Française de Spéléologie et l'Association Française de Karstologie. L'implication d'EDYTEM sur des actions concrètes de recherche autour des ressources et des valeurs patrimoniales, de projets de classement et de (re)valorisation touristique a contribué à faire du laboratoire un interlocuteur auprès d'institutions régionales et nationales (ministères de la Culture et de l'Écologie). Sont ici rapportés les principaux éléments de ces dix dernières années.

En 1998, R. Maire a souhaité transmettre la rédaction de *Karstologia* qu'il assumait depuis la création de la revue en 1983. Il s'est alors tourné vers l'Université de Savoie et le relais a été passé à partir du n° 33 (1999). *Karstologia* s'est donc trouvée dans la corbeille de baptême d'EDYTEM. Principale revue francophone de karstologie et de spéléologie physique, *Karstologia* a donc installé le laboratoire, dès sa création, dans le paysage karstologique et spéléologique scientifique, et a été un fort facteur de visibilité qui perdure jusqu'aujourd'hui, 27 numéros plus tard (Figure 14). L'équipe de rédaction est, depuis plus de 10 ans, constituée majoritairement de membres du laboratoire qui en assurent ainsi l'animation. Comme la revue est co-éditée par la Fédération Française de Spéléologie et par l'Association Française de Karstologie les liens avec ces deux structures ont été renforcés. D'ailleurs, plusieurs membres du laboratoire ont assumé (i) la charge de président de la commission scientifique de la FFS (F. Hobléa, C. Gauchon, S. Jaillet ; D. Cailhol), (ii) l'organisation des stages d'équipiers scientifiques au sein de l'Ecole Française de Spéléologie (Jaillet, 2012), et (iii) une participation active auprès de l'autre revue fédérale *Speunca* (C. Gauchon). Enfin, nous avons été également acteurs dans l'Association Française de Karstologie en participant à son bureau (J.-J. Delannoy) et en assumant tout récemment sa présidence (S. Jaillet).

La création du Centre de documentation sur le Karst a été un moment important pour le laboratoire. Un an après la naissance du laboratoire, EDYTEM est devenu le légataire de la très riche bibliothèque de spéléo-karstologie de Jacques Choppy (2004). Ce fonds était appelé à devenir le plus important centre de documentation sur le Karst de France adossé à une bibliothèque universitaire et de recherche (cf. *infra*). Son inauguration en juin 2012 a rassemblé de nombreux acteurs de la documentation spéléologique et karstologique, tant nationaux (FFS, CNRS) qu'euro-péens. Ce centre est associé depuis 2011 au Bulletin Bibliographique Spéléologique, base de données bibliographiques internationales publiée chaque année par l'Union Internationale de Spéléologie.

Par son implication dans plusieurs actions liées à l'évaluation patrimoniale des paysages karstiques tant de surface que souterrains, le laboratoire a été sollicité pour participer à différents groupes de travail, de réflexion et d'évaluation sur les différentes valeurs et vulnérabilités des patrimoines des (ou contenues dans) grottes. Plusieurs membres du laboratoire siègent à la commission des grottes ornées du ministère de la Culture (C. Gauchon, J.-J. Delannoy), dans des conseils scientifiques de grottes ornées (Lascaux : J.-J. Delannoy, Y. Perrette ; Chauvet : J.-J. Delannoy). Aux côtés des représentants de la FFS, nous avons siégé au Comité national du patrimoine souterrain (Ministère de l'Écologie) entre 2007 et 2011 (F. Hobléa, C. Gauchon, J.-J. Delannoy).

À côté de ces implications dans des instances nationales associatives ou institutionnelles, le laboratoire s'est également investi à des échelles plus locales ou plus centrées sur des attentes de formation et de transfert des connaissances. C'est ainsi qu'en 2011, a été créé *Speus*, le Spéléo-club de l'Université de Savoie, qui a pour vocation d'initier les étudiants et les personnels de l'université à la pratique de la spéléologie et de fournir un appui aux travaux scientifiques que le laboratoire conduit dans le milieu souterrain. Par ailleurs,



Figure 14 - Quelques couvertures de *Karstologia*

plusieurs membres du laboratoire se sont aussi investis dans la formation des guides de grottes touristiques (Y. Perrette à Choranche ; S. Jaillet et J.-J. Delannoy à Orgnac), tandis que D. Cailhol participe régulièrement aux sessions de formation de Brevetés d'État spéléo au CREPS de Vallon-Pont-d'Arc.

Dans cette philosophie de partage des savoirs et des connaissances sur le karst, le laboratoire EDYTEM par son implication dans l'étude scientifique de la grotte ornée de Chauvet-Pont d'Arc (J.-J. Delannoy, Y. Perrette, S. Jaillet, B. Sadier) est aujourd'hui fortement impliqué dans la construction de la réplique de cette grotte destinée au grand public ; le laboratoire est un acteur majeur dans le contenu de cette réplique, dans les méthodes de restitution des paysages souterrains (parois, sols, spéléothèmes...) et dans l'évaluation des différents éléments (géologiques et pariétaux) qui seront intégrés dans ce fac-similé (Delannoy *et al.*, 2011 ; Delannoy *et al.*, 2013 a ; Sadier, 2013) ; le laboratoire participe également au contenu du centre de découverte qui accompagnera la réplique de la grotte Chauvet ainsi que sur les impacts territoriaux de cet équipement (thèse en cours de C. Malgat).

Ainsi, en dix ans, par l'ensemble de ces actions, le laboratoire EDYTEM est devenu, sur les questions touchant au karst, un interlocuteur des pouvoirs publics (Ministères de la Culture et de l'Écologie), des administrations régionales (DREAL), des collectivités territoriales (Parcs naturels régionaux, Réserves naturelles, Conseil général de l'Ardèche) et des milieux associatifs (FFS, AFK) et professionnels et, en même temps, un passeur de nouveaux regards sur les objets karstiques, leurs valeurs et leurs vulnérabilités.

Enfin, dans le cadre des travaux de recherches menés sur le territoire ardéchois, le laboratoire est

depuis peu engagé dans un ambitieux projet de mise en place d'un centre de ressources (recherche, formation, conseil, hôtel à projet) sur le karst et les grottes qui pourrait voir le jour en sud Ardèche autour de la dynamique liée à la création de l'espace de restitution de la grotte Chauvet. Ce projet de centre de ressources a pour vocation de favoriser le développement de nouvelles recherches interdisciplinaires sur le milieu souterrain naturel, de former les différents acteurs et pratiquants qui ont pour mission de gérer les ressources et patrimoines du karst et d'être une interface entre les gestionnaires des cavités et des ressources karstiques, les scientifiques et les professionnels. L'idée de ce centre de ressources repose à la fois sur (i) l'expérience des différents travaux menés sur le karst, tant dans le cadre de programmes scientifiques, de collaborations que de participations à des commissions et conseils scientifiques et sur (ii) un constat : nombre de problèmes de gestion des ressources du karst et de conservation des patrimoines souterrains (naturels et préhistoriques) supposent une mobilisation de plusieurs champs disciplinaires (géologie, hydrogéologie, karstologie, chimie, écologie souterraine, mécanique des fluides, géomorphologie, géographie...) et la conduite de recherches résolument intégratives et interdisciplinaires. Une des vocations de ce centre sera de favoriser les collaborations entre les différents champs de recherche travaillant sur le milieu souterrain et d'impulser de nouvelles dynamiques de recherche. Le laboratoire EDYTEM sera un des acteurs de ce centre dédié au milieu souterrain dont la réussite passera par l'adhésion d'autres unités de recherche et acteurs scientifiques. C'est là l'un des futurs défis dans lequel le laboratoire souhaite être acteur.

CONCLUSION : LE KARST DEMAIN À EDYTEM

Cette rétrospective sur ces dix dernières années de recherche sur le karst avait différents objectifs. Tout d'abord, montrer que dans ses débuts le laboratoire a permis impulser des recherches sur le karst possédant un dénominateur commun : appréhender, étudier, analyser chaque objet karstique comme un indicateur, une mémoire, un informateur des conditions (paléo)géographiques, environnementales et anthropiques, passées, récentes et actuelles. Cette démarche a été un fort vecteur d'interdisciplinarité au sein du laboratoire et au-delà. Nombre de projets et programmes de recherche actuels reposent sur cette dynamique que ce soit dans le cadre de la fédération de recherche FLAME, du DIPEE, des programmes des ministères de l'Environnement et de la Culture ou des projets internationaux (Australie, Afrique du Sud, Chili, Liban). Cette dynamique a été à la fois fédératrice et moteur de nouvelles recherches liées à l'arrivée de nouveaux membres titulaires et asso-

ciés. Cette dynamique se lit également dans la production de la recherche doctorale ces dix dernières années : 10 thèses dont trois sont actuellement en cours. L'objet karst a pu être perçu comme un objet à part au sein du laboratoire dédié aux thématiques de la montagne. Cette rétrospective souligne que les recherches menées sur le karst nourrissent et nourrissent les problématiques des différentes équipes d'EDYTEM, autour des notions larges et fédératrices que sont l'étude des archives continentales, les dynamiques environnementales et l'établissement de projets de territoires.

Les six focus présentés avaient pour objectif de souligner la diversité des recherches menées sur le karst. Une lecture objective de ces recherches permet de relever que le laboratoire a été pionnier tant dans la mise en forme de problématiques pour lesquelles le karst est à même d'apporter des informations de premier ordre que dans le développement de métho-

dologies permettant d'extraire le plus d'informations possibles inscrites dans les morphologies, les sédiments et les paysages karstiques. Ces recherches et développements méthodologiques constituent de

solides assises pour les travaux à venir et de réels moteurs d'attractivité et de développement de la coopération scientifique au même titre que les autres objets emblématiques du laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

Les références bibliographiques présentées sont classées par ordre alphabétique. Les productions scientifiques des membres du laboratoire sont également organisées dans une bibliographie thématique, mise en ligne sur le site web du laboratoire Edytem. <http://edytem.univ-savoie.fr/objets-emblematisques/oe-karst/>

- ARNAUD F., GIGUET-COVEX C., WILHELM B., JENNY J.-P., SABATIER P., POULENARD J., DESMET M., ENTERS D., RÉVILLON S., MILLET L., DEBRET M., PIGNOL C., MALET E., FANGET B., 2014. L'objet emblématique lacs de Montagne - L'étude des sédiments lacustres au laboratoire EDYTEM. In ASTRADE L., DELANNOY J.-J. (dir), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 105-116.
- BEAUQUIS A., 2003. Le site touristique de Saint-Christophe-la-Grotte : diagnostic et perspectives d'avenir. Université de Savoie, mémoire de master 1, 279 p.
- BERSIHAND J.-L., 2006. étude géomorphologique des salles rouges. Réseau 1 d'Ornac Issirac (Ardèche, France). Contribution à l'étude spéléogénique et karstogénique de l'aven d'Ornac. Université de Savoie, mémoire de master, 85 p.
- BILLAUD Y., JAILLET S. (sous la direction de L. CAROZZA). 2012 L'âge du Bronze à la grotte des Fraux. Saint Martin de Fressengeas (Dordogne). Rapport DRAC Aquitaine, 3 volumes.
- BIOT V., 2003. Étude géographique d'une forme ancienne de durabilité : l'exemple du tourisme souterrain en France. Université de Savoie, thèse de doctorat de géographie, 317 p.
- BIOT V., 2005. Le développement de nouveaux espaces récréatifs : les grottes, les gouffres et Edouard Alfred Martel. *Montagnes Méditerranéennes*, 22, 167-174.
- BIOT V., 2006. Grottes et cavernes, un patrimoine à (re) valoriser. *Espaces Tourisme et Loisirs*, 238, 15-21.
- BIOT V., 2008. Les cavités naturelles : du fond du gouffre à la reconnaissance patrimoniale. *Géographie et Culture*, 66, 79-96.
- BIOT V., GAUCHON C., 2005. État des lieux du tourisme souterrain en France : la fin d'un cycle ? *Karstologia* 45-46, 41-54.
- BIOT V., DUVAL M., GAUCHON C., 2007. L'aven d'Ornac : Identification d'un haut lieu du tourisme souterrain. In DELANNOY J.-J., GAUCHON G., JAILLET S. (dir.), L'Aven d'Ornac. Valorisation touristique, apports scientifiques. *Collection EDYTEM*, 5, 12-32.
- BOCHE É., GAMBERI ALMENDRA DE CARVALHO L., JAILLET S., SADIÉ B., 2011. Enregistrement et modélisation 3D de la fouille archéologique et paléontologique du cône d'entrée d'Ornac (Ardèche, France). In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMEN T. (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 131-136.
- BON C., CAUDY N., DE DIEULEVEULT M., FOSSE P., PHILIPPE M., MAKSUD F., BERAUD-COLOMB E., BOUZAID E., KEFI R., LAUGIER C., ROUSSEAU B., CASANE D., VAN DER PLICHT J., ELALOUF J.-M., 2008. Deciphering the complete mitochondrial genome and phylogeny of the extinct cave bear in the paleolithic painted cave of Chauvet. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105, 17447-17452.
- BURENS A., GRUSSENMEYER P., GUILLEMIN S., CAROZZA L., BOURRILLON R., PETROGNANI S., 2011. Numérisation 3D de la grotte ornée des Fraux, Saint Martin de Fressengeas, Dordogne, France. In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMEN T. (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 183-189.
- CACHAT S., 2007. Processus et enjeux de localisation d'une infrastructure touristique. L'exemple de l'Espace de Restitution de la Grotte Chauvet. Université de Savoie, mémoire Master 1, 162 p.
- CACHAT S., DUVAL M., GAUCHON C., 2012. Ici, là ou ailleurs ? Les enjeux liés à la localisation d'un grand équipement, l'Espace de restitution de la Grotte Chauvet. *Mondes du Tourisme*, 5, 13-30.
- CADOUX M., 2013. Les paysages touristiques souterrains d'Ornac 1 (Ardèche) : Cartographie 3D, analyse de discours enquêtes. Université de Savoie, mémoire Master 1, 82 p.
- CAILHOL D., JAILLET S. (sous la direction de S. DAVID), 2012. La grotte des Gorges, Amanges (Jura) Rapport DRAC Franche Comté, 2 volumes.
- CARCAILLET C., PERROUX A.-S., GENRIES A., PERRETTE Y., 2007. Sedimentary charcoal pattern in a karstic underground lake, Vercors massif, French Alps: implications for palaeo-fire history. *The Holocene*, 17, 845-850.
- CHAKROUN A., SAULNIER G.-M., DELANNOY J.-J., 2009. Analyse spatiale et morphologique d'une forêt de stalagmites par modélisation 3D dans le réseau d'Ornac (Ardèche, France). *Karstologia*, 53, 1-14.
- CHALMIN É., PERRETTE Y., FANGET B., SUSINI J., 2012. Investigation of Organic Matter Entrapped in Synthetic CarbonateA Multimethod Approach. *Microscopy and Microanalysis*. FirstView, 1-13.
- CLAUZON G., 1982. Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du « Desiccated deep-basin model » [Hsu, Cita, Ryan, 1973]. *Bull. de la Soc. Géol. de France*, 24, 3, 597-610.
- CLAUZON G., 1996. Limites de séquences et évolution géodynamique. *Géomorphologie*, 1, 3-22.
- COUCHOUD I., 2007. Intérêt de l'analyse pétrographique des spéléothèmes pour les reconstitutions paléo-environnementales. *Karstologia*, 50, 9-18.

- COUCHOUD I., 2008a. Les spéléothèmes, archives des variations paléoenvironnementales. *Quaternaire*, 19, 4, 273-292.
- COUCHOUD I., 2008b. Les isotopes stables de l'oxygène et du carbone dans les spéléothèmes : des archives paléoenvironnementales. *Quaternaire*, 19, 4, 293-309.
- COUCHOUD I., GENTY D., HOFFMANN D. L., DRYSDALE R. ET BLAMART D., 2009. Millennial-scale climate variability during the Last Interglacial recorded in a speleothem from South-western France. *Quaternary Science Reviews*, 28, 3263-3274.
- COUCHOUD I., GENTY D., BOURGES F., DRYSDALE R., JAILLET S., 2012. Les spéléothèmes de l'aven d'Orgnac, potentialités et études en cours. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 139-148.
- DAVID B., GENESTE J.-M., WHEAR R. L., DELANNOY J.-J., KATHERINE M., GUNN R., CLARKSON C., PLISSON H., LEE P., PETCHEY F., 2011. Nawarla Gabarnmang, a 45,180±910 cal BP Site in Jawoyn Country, Southwest Arnhem Land Plateau. *Australian Archeology*, 73, 73-77.
- DAVID B., GENESTE J.-M., PETCHEY F., DELANNOY J.-J., BARKER B., ECCLESTON M., 2013. How old are Australia's pictographs? A review of rock art dating. *Journal of Archaeological Science*, 40, 3-10.
- DELANNOY J.-J., 1986. Contribution à l'étude des circulations aquifères dans le géosystème Coulmes-Choranche : présentation du site expérimental de la grotte de Couffin. *Revue de Géographie Alpine*, LXXIV n°1-2, 83-92.
- DELANNOY J.-J., 1997. Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la transversale de Ronda (Andalousie). Les apports morphogéniques du karst. Université de Grenoble, thèse de Doctorat d'Etat, Ed. le Septentrion, 678 p.
- DELANNOY J.-J., PERRETTE Y., DEBARD E., FERRIER C., KERVAZO B., PERROUX A.-S., JAILLET S., QUINIF Y., 2004. Intérêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale : la grotte Chauvet (Ardèche). *Karstologia*, 44, 25-42.
- DELANNOY J.-J., GAUCHON C., HOBLÉA F., JAILLET S., PAILLET A., PERRETTE Y., PLOYON E., 2007a. Grottes de Choranche et massif des Coulmes : Enjeux de protection. Rapport scientifique et paysager, Rapport DIREN Rhône-Alpes, 199 p.
- DELANNOY J.-J., JAILLET S., FUDRAL S., GASQUET D., KAUFMANN O., SABAUT M., PLOYON E., 2007b. L'Aven d'Orgnac : un jalon karstique pour la reconstitution paléogéographique de l'interfluve Ardèche/Cèze. In DELANNOY J.-J., GAUCHON G., JAILLET S. (dir.), L'Aven d'Orgnac. Valorisation touristique, apports scientifiques. *Collection EDYTEM*, 5, 117-148.
- DELANNOY J.-J., DUVAL M., GAUCHON C., JAILLET S., PAILLET A., PERRETTE Y., PLOYON E., SADIÉ B., 2008a. Étude préalable au projet d'extension de classement du site des abords de Pont d'Arc - Ardèche. Rapport scientifique, 120 p.
- DELANNOY J.-J., GAUCHON C., 2008b. Lascaux et la conservation de l'art préhistorique en milieu souterrain. *Karstologia*, 52, 51-56.
- DELANNOY J.-J., GAUCHON C., HOBLÉA F., JAILLET S., MAIRE R., PERRETTE Y., PERROUX A.-S., PLOYON E., VANARA N., 2009. Karst : from palaeogeographic archives to environmental indicators. *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 2, 83-94.
- DELANNOY J.-J., SADIÉ B., JAILLET S., PLOYON E., GENESTE J.-M., 2010. Reconstitution de l'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France) : les apports de l'analyse géomorphologique et de la modélisation 3D. *Karstologia*, 56, 17-34 + carte hors-texte.
- DELANNOY J.-J., JAILLET S., PAILLET A., SADIÉ B., 2011. Identification colorimétrique des écailles de l'anamorphose de la grotte Chauvet. Construction d'un référentiel méthodologique, 84 p.
- DELANNOY J.-J., GENESTE J.-M., DAVID B., KATHERINE M., GUNN R.J., WHEAR R.L., 2012a. Apports de la géomorphologie dans l'aménagement et la construction sociale de sites préhistoriques. Exemples de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (France) et de Nawarla Gabarnmang (Australie). *PALEO, Revue d'archéologie préhistorique*, 23, 85-104.
- DELANNOY J.-J., GENESTE J.-M., JAILLET S., BOCHE É., SADIÉ B., 2012b. Les aménagements et structures anthropiques de la grotte Chauvet - Pont-d'Arc : apport d'une approche intégrative géomorpho-archéologique. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 3, 43-62.
- DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (sous la direction de J. MONNEY), 2012c. Projet Datation Grottes Ornées. Grotte des deux Ouvertures, Grotte aux Points. Rapport DRAC Rhône-Alpes, 2 volumes.
- DELANNOY J.-J., CLAUDE M., HUGET D., 2013a. Carnet de facès de l'anamorphose de la grotte Chauvet Pont d'Arc + Carte HT + modèle 3D texturé, 119 p.
- DELANNOY J.-J., DAVID B., GENESTE J.-M., KATHERINE M., BARKER B., WHEAR R.L., GUNN R.G., 2013b. The social construction of caves and rockshelters: Chauvet Cave (France) and Nawarla Gabarnmang (Australia). *Antiquity*, 87, 335, 12-29.
- DELANNOY J.-J., JAILLET S. (dir.) 2013. Aven d'Orgnac : Topographie, cartographie, sédimentologie et 3D. Rapport étude 2011-2012. Orgnac, Grand site de France. DREAL Rhône-Alpes. 2 volumes.
- DESTOMBES J.-L., CORDONNIER M., GADAT J.-Y., DELANNOY J.-J., 1997. Periodic and aperiodic forcing of water flow through sodastraw stalactites. Proc. 12th Int. Cong. Speleol., La Chaux-de-Fonds, 2, 69-73.
- DOUMIT L., 2007. La valorisation du patrimoine endokarstique libanais. Thèse de doctorat de Géographie, Université de Savoie & Université Saint-Joseph, Beyrouth, 280 p ; <http://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00273992/>
- DRYSDALE R. N., HELLSTROM J., ZANCHETTA G., FALICK A.E., SANCHEZ GOÑI M.F., COUCHOUD I., McDONALD J., MAAS R., LOHMANN G., ISOLA I., 2009. Evidence for obliquity forcing of glacial Termination II. *Science*, 325, 527-1531.
- DRYSDALE R. N., PAUL B. T., HELLSTROM J. C., COUCHOUD I., GREIG A., BAJO P., ZANCHETTA G., ISOLA I., SPÖTL C., BANESCHI I., REGATTIERI E., WOODHEAD J. D., 2012. Precise microsampling of poorly laminated speleothems for U-series dating. *Quaternary Geochronology*, 14, 38-47.

- DUVAL M., 2005a. Mobilisation des ressorts culturels dans le développement du tourisme souterrain. Approche comparative de deux grottes touristiques du karst slovène : les grottes de Postojna et de Škocjan. *Montagnes Méditerranéennes*, 22, 167-174.
- DUVAL M., 2005b. La réserve naturelle des gorges de l'Ardèche : mobilisation et évolution des logiques de patrimonialisation dans une perspective de développement durable. *Mosella*, 30, 1-4, 59-274.
- DUVAL M., 2006a. Tourism and preservation policies in karst areas: Comparison between the Škocjan Caves (Slovenija) and the Ardeche Gorge (France). *Acta Carsologica*, 35, 2, 23-35.
- DUVAL M., 2006b. Les grottes de Škocjan, Slovénie. Logiques de développement territorial. *Revue Espaces*, 236, 41-44.
- DUVAL M., 2006c. Ressource touristique et enjeux territoriaux : évolution et re-définition de la route touristique des gorges de l'Ardèche. In BERNIER X., GAUCHON C. (dir.), Actes du colloque de Chambéry, Transport et tourisme. *Collection EDYTEM*, 4, 253-266.
- DUVAL M., 2007a. Dynamiques spatiales et enjeux territoriaux des processus de patrimonialisation et de développement touristique. Etude comparée des gorges de l'Ardèche et du Karst slovène. Université de Savoie, thèse de doctorat de Géographie, 514 p. ; <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/20/05/63/PDF/These-Melanie-Duval-TEL.pdf>
- DUVAL M. 2007b. Valorisation patrimoniale et dynamiques territoriales autour d'un site karstique emblématique : le poljé de Cerknica (Slovénie). *Karstologia*, 50, 39-48.
- DUVAL M., 2008a. Protection, valorisation touristique de la ressource karstique et implications territoriales : les grottes de Škocjan (Slovénie) ». In HOBLÉA F., REYNARD E., DELANNOY J.-J. (dir.), Karsts de montagne : géomorphologie, patrimoine et ressources. *Collection EDYTEM*, 7, 81-92.
- DUVAL M., 2008b. Patrimonialisation et mise en tourisme des espaces naturels : l'exemple des gorges de l'Ardèche. *Géographie et cultures*, 66, 61-78.
- DUVAL M., 2009. Patrimoine, tourisme et ressource karstique : les enseignements d'une approche comparative franco-slovène autour des gorges de l'Ardèche (France) et des grottes de Škocjan (Slovénie). In BARTHES A., SANDOZ A. (dir.), Vie locale, ruralité, tourisme et paysages dans l'aire méditerranéo-alpine. Regards croisés franco-slovènes sur la durabilité. Dignes-les-Bains, Université de Provence, 183-201.
- DUVAL M., 2010. Dynamiques territoriales et développement culturel : la grotte Chauvet comme facteur de réorganisation des gorges de l'Ardèche et outil de légitimation des jeux d'acteurs ? In FOURNIER L.S., BERNIÉ-BOISSARD C., CROZAT D., CHASTAGNER C. (dir.), Développement culturel et territoires. Paris, l'Harmattan, 123-149.
- DUVAL M., 2011. A la recherche du Karst slovène : logiques patrimoniales, dynamiques touristiques et enjeux territoriaux. In FURT J.-M., FAZI A. (dir.), Vivre du patrimoine, un nouveau modèle de développement ? Paris, l'Harmattan, 65-86.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2006. Une réhabilitation volontariste : l'Opération Grand Site à l'aven d'Orgnac. *Revue Espaces*, 236, 36-38.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2013. Le patrimoine : une affaire de choix. La candidature de la grotte Chauvet au patrimoine mondial. *Ardèche Archéologie*, 30, 89-94.
- EMPERAIRE J., 1955. Les Nomades de la mer. Paris, Le Serpent de Mer (ré-éd. de 2003), 344 p.
- ERHART H., 1956. La genèse des sols en tant que phénomène géologique : esquisse d'une théorie géologique et géochimique, biostasie et rhexistasie. Paris, Masson, 90 p.
- EYMERY C., 2010. Les parcours ludiques et sportifs en milieu souterrain. Enjeux et impacts soulevés par une pratique s'inscrivant dans la démocratisation de la spéléologie. Université de Savoie, mémoire Master 2, 54 p.
- EYMERY C., 2012. Les parcours ludiques et sportifs en milieu souterrain. *Karstologia*, 56, 35-44.
- FAGE L.-H., 2006. Résultats archéologiques, chapitre XIV. Rapport scientifique préliminaire Ultima Patagonia 2006, 88-91.
- FERRATON M., en cours. L'approche participative pour la Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE) dans les Parcs Naturels Régionaux du Sud Est. Université de savoie, doctorat de géographie de l'école doctorale SISEO, direction F. Hobléa, 2013-2016.
- GALLINO S., 2007. Hydrogéologie, géochimie et modélisation hydrodynamique-thermique d'un système thermominéral associé un contact structural alpin (Aix-les-Bains - Savoie). Université de Savoie, thèse de doctorat de géologie, 338 p.
- GAUCHON C., 2006. Le tourisme, facteur de protection du patrimoine souterrain ?, *Espaces, tourisme & loisirs*, 236, 28-32.
- GAUCHON C., PLOYON E., DELANNOY J.-J., HACQUARD S., HOBLEA F., JAILLET S., PERRETTE Y., 2006. The concepts of Heritage and heritage resource applied to karsts: protecting the Choranche caves (Vercors, France). *Acta Carsologica*, 35/2, 37-46.
- GAUCHON C., PRUD'HOMME F., 2007. L'aven d'Orgnac, une caverne privilégiée pour l'élaboration des connaissances karstologiques. In DELANNOY J.-J., GAUCHON G., JAILLET S. (dir.), L'Aven d'Orgnac. Valorisation touristique, apports scientifiques. *Collection EDYTEM*, 5, 39-50.
- GAUCHON C., BIOT V., 2010. Fiches Valorisation touristique du karst et Karst et tourisme : le cas des Pyrénées. In AUDRA P. (dir.), Grottes et Karsts de France. *Karstologia-Mémoires*, 19, 114-117.
- GAUCHON C., JAILLET S., PRUD'HOMME F., 2012. Dynamique de la construction topographique et toponymique à l'aven d'Orgnac (Ardèche, France). In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 157-176.
- GAUCHON C., BOCHE É., JAILLET S., 2013. A masterpiece of historic cave surveying : several representations of Miremont-Rouffignac cave (Dordogne, France), XVIII-XIXTH centuries. 16th International Congress of Speleology, Brno : Tchèque, République (2013).
- GUYOMARD A., 2006. Étude structurale et hydrogéologique de la terminaison occidentale du Massif des Mémises et de ses relations avec le complexe détritique quaternaire d'Evian. Université de Savoie, thèse de doctorat de géographie physique, 336 p.

- HAJRI S., 2010. Modélisation des surfaces rocheuses naturelles à partir d'une scannérisation laser 3D et extraction automatique de formes caractéristiques : Applications aux spéléothèmes et surfaces géologiques. Université de Savoie, thèse de doctorat de Géographie.
- HAJRI S., SADIÉ B., JAILLET S., PLOYON E., BOCHE É., CHAKROUN A., SAULNIER G.-M., DELANNOY J.-J., 2009. Analyse spatiale et morphologique d'une forêt de stalagmites par modélisation 3D dans le réseau d'Orgnac (Ardèche, France). *Karstologia*, 53, 1-14.
- HAJRI S., SADIÉ B., JAILLET S., THOMAS M., DELANNOY J.-J., 2011. Identification et extraction par segmentation de spéléothèmes de l'aven d'Orgnac (Ardèche, France). In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T. (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 145-154.
- HEZ G., 2012. Approche géomorphologique : Observations et cartographie de la grotte du Faubourg dans les Pyrénées-Orientales. Université de Savoie, mémoire Master 1, 68 p.
- HOBLEA F., 2008. La protection et la valorisation des patrimoines du karst. *Géosciences*, 7-8, 101.
- HOBLEA F., 2009. Karstic geomorphosites: managing subterranean natural-cultural heritage sites. In REYNARD E., CORATZA P., REGOLINI-BISSIG G. (dir.), Geomorphosites: assessment and management. IAG. Pfeil Verlag, Munich, p. 189-200.
- HOBLEA F., 2010. Les sites et paysages karstiques français : une ressource patrimoniale. In AUDRA P. (dir.), Grottes et Karsts de France. *Karstologia-Mémoires*, 19, 110-111.
- HOBLEA F., NANT J., DURAND R., SIBERT E., BOURGEOIS D., 2010. Le karst du Granier, Chartreuse, et son méga-réseau souterrain. In AUDRA P. (dir.), Grottes et Karsts de France. *Karstologia-Mémoires*, 19, 210-211.
- HOBLEA F., HAUSELMANN P., KUBIK P., 2011 a. Cosmogenic nuclide dating of cave deposits of Mount Granier (Hauts de Chartreuse Nature Reserve, France): morphogenic and palaeogeographical implications. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 395-406.
- HOBLEA F., DZIKOWSKI M., TISSIER G., CAILHOL D., 2011 b. De la quantification des impacts anthropiques à la discrimination des sources de perturbation de la qualité des eaux captées en milieu karstique : études alpines. In Actes de la Conférence internationale Groundwater 2011 : gestion des ressources en eau souterraine, Orléans, 14-16 mars 2011, p. 41-42.
- HOBLEA F., JAILLET S., MAIRE R., MALARD A., MOREL L., FAGE L. H., MARBACH G., TOURTE B., 2013 a. The geomorphosites of Madre de Dios island (Patagonia, Chile): « marble glaciers », painting caves and hydro-aolian karst landforms. A singular heritage unique in the world. Abstracts Volume of the 8th International Conference (IAG) on Geomorphology, Paris 2013, Geomorphology and sustainability, p. 535.
- HOBLEA F., DZIKOWSKI M., NICOU D., TISSIER G., 2013 b. Karst waters vs. French Water Policy and Directive 2000/60/EC: how to reconcile standardisation and peculiarity? In ARNAUD-FASSETTA G., MASSON E., REYNARD E. (dir.), European Continental Hydrosystems under Changing Water Policy. Pfeil Verlag, Munich, p. 47-57.
- HOBLEA F., CAYLA N., BERTHET J., BILLAUD Y., BIOT V., COUTTERAND S., DELANNOY J.-J., GASQUET D., GUYOMARD A., MOREAU L., PEYRACHE-GADEAU V., PERRET A., PRUD'HOMME F., RAVANEL L., RENAUP P., ROCHAS J., SADIÉ B., 2014. L'objet emblématique Géopatrimoine - Révéler, protéger, valoriser : affirmation d'un champ de recherche transversal et collaboratif. In ASTRADE L., DELANNOY J.-J. (dir.), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 117-140.
- HOBLEA F., DELANNOY J.-J., JAILLET S., PLOYON E., SADIÉ B., sous presse. Digital tools for managing and promoting karst geosites in southeast France. *Geoheritage*.
- JABBOUR-GÉDÉON B., 2009. La cartographie géomorphologique souterraine : Application à la grotte -112m de Houet Attine Azar, Haut-Metn. Université de Savoie, mémoire de Master 2, 65 p.
- JAILLET S., 2012. La spéléologie, entre sport et science : un éclairage proposé par la formation scientifique des cadres dans la seconde moitié du XX^e siècle. *Spelunca*, 128, 15-24.
- JAILLET S., BERSIHAND J.-L., DELANNOY J.-J., SADIÉ B., TOCINO S., 2006. Les banquettes limites de l'aven d'Orgnac : témoin d'une phase paragenétique majeure du réseau. Apport de l'analyse 3D par laserscanning. In Actes de la 16^{ème} rencontre d'Octobre, Méaudre, 64-70.
- JAILLET S., DELANNOY J.-J., BERSIHAND J.-L., NOURY M., SADIÉ B., TOCINO S., 2007. L'Aven d'Orgnac : un grand réseau paragenétique, étude spéléogénétique des grands volumes karstifiés. In DELANNOY J.-J., GAUCHON G., JAILLET S. (dir.), L'Aven d'Orgnac. Valorisation touristique, apports scientifiques. *Collection EDYTEM*, 5, 57-78.
- JAILLET S., MAIRE R., BREHIER F., DESPAIN J., LANS B., MOREL L., PERNETTE J.-F., PLOYON E., TOURTE B., 2008. Englacement, eustatisme et réajustements karstiques de la bordure sud de l'archipel de Madre de Dios (Patagonie, Province Ultima Esperanza, Chili). *Karstologia*, 51, 1-24.
- JAILLET S., SADIÉ B., DELANNOY J.-J., PLOYON E., 2009 a. Identification de morphologies pariétales en grotte à partir d'un lever laser 3D. Application aux salles rouges de l'Aven d'Orgnac (Ardèche, France). *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, Colloque Lidar ESGT, France*, 191, 3-8.
- JAILLET S., FAGE L.-H., MAIRE R., TOURTE B., Ultima Patagonia 2006 E. T. L. M. D. L., 2009 b. Découverte d'une grotte ornée dans l'archipel de Patagonie chilienne : la grotte du Pacifique. *Spelunca Mémoire*, 34, 189-199.
- JAILLET S., FAGE L.-H., MAIRE R., TOURTE B., Ultima Patagonia 2006 et 2008 E. T. L. M. D. L., 2010. Découverte : La grotte du Pacifique (Chili). Première grotte ornée de l'archipel de Patagonie. *International Newsletter On Rock Art (INORA)*, 58, 1-8.
- JAILLET S., SADIÉ B., HAJRI S., PLOYON E., DELANNOY J.-J., 2011 a. Une analyse 3D de l'endokarst : applications lasergrammétriques sur l'aven d'Orgnac (Ardèche, France). *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 4, 379-394.
- JAILLET S., SADIÉ B., ARNAUD J., AZÉMA M., BOCHE É., CAILHOL D., FILIPPONI M., LE ROUX P., VARREL E., 2011 b. Topographie, représentation et analyse morphologique 3D de drains, de conduits et de parois du karst. In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T. (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 119-130.

- JAILLET S., MOREL L., MAIRE R., MALET E., HOBLÉA F., PLOYON E., Ultima Patagonia T. L. M. D. L., 2011c. Instrumentation et dissolution superficielle des karsts subpolaires océaniques de l'Archipel de Madre de Dios (Patagonie, Chili). In Actes du 9ème Colloque d'hydrogéologie en pays calcaire, 229-232.
- JAILLET S., CAILHOL D., ARNAUD J., ASTRADE L., BELINGARD C., BOCHE É., CORNILLON T., COUCHOUD I., DUGUET R., FRANCK N., GAUCHON C., HELLSTROM J., LE ROUX P., MONTEIL P., PEYRONEL O., PONS-BRANCHU E., SADIÉ B., THOMAS M., 2012. Les crues du système karstique de Foussoubie (Ardèche, France). Une analyse morphologique et hydrodynamique des circulations dans la zone épinoyée du Karst. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karst, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 115-138.
- JAILLET S., LIGNIER V., COUCHOUD I., THOMAS M., HOFFMANN D., PERRETTE Y., (sous presse). Temps et durée du «réajustement karstique» : l'effondrement de la Cathédrale et l'enneolement du siphon de Chevaline (Grottes de Choranche, Vercors, France). In Actes de la 23ème rencontre d'octobre, Le Châtelard, Spéléo-Club de Paris.
- LACAVE C., SADIÉ B., DELANNOY J.-J., NEHME C., EGOZCUE J. J., sous presse. The use of speleothems to better constrain long return period seismic hazard in Lebanon - Comptes rendus de la Conférence Mondiale de Génie Parasismique - 15th World Conference on Earthquake Engineering, Portugal (2012).
- LASLAZ L., DUVAL M., GAUCHON C., HERITIER S., CHANTELOUP L., PERRIN-MALTERRE C., TOLLIS C., GIRAULT C., 2014. L'objet emblématique Espaces Protégés - Jalons d'une réflexion collective sur les choix politiques de naturalité. In ASTRADE L., DELANNOY J.-J. (dir.), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 83-104.
- LEGOUPIL D., SELLIER P., 2004. La sepultura de la cueva ayayema (Isla Madre de Dios, Archipiélago occidentales de Patagonia). *Anales des Instituto de la Patagonia*, 32, 115-124.
- LIGNIER V., JAILLET S., PERROUX A.-S., THOMAS M., MALET E., DEVES G., MOREL L., DELANNOY J.-J., 2012. Dynamique sédimentaire et effets de site en zone noyée du karst : l'exemple du siphon de Chevaline (Grottes de Choranche, Vercors, France). *Karstologia*, 60, 25-44 + carte hors-texte.
- LOPEZ M., 2002. Le système karstique des Echelles : ses caractéristiques morphologiques et hypothèses d'évolution, Master 1 Université de Savoie, 260 p. + cartes géomorphologiques
- MAIRE R., TOURTE B., JAILLET S., DESPAIN J., LANS B., BREHIER F., FAGE L.H., MOREL L., POUILLY M., DATRY T., MASSAULT M., GENTY D., MOREAU C., WAINER K., RIDOUX V., DABIN W., PERNETTE J. F., AGÜERO FARIDONI M., MANNESI M.J., 2009a. Geomorphic and archeological features of coastal caves in madre de dios archipelago (Patagonia, Chile). *International Congress of Speleology*, 1, 516-52.
- MAIRE R., JAILLET S., HOBLÉA F., 2009b. Karren in Patagonia. A natural laboratory for hydroaolian dissolution. In GINÉS A., KNEZ M., SLABE T., DREYBRODT W. (dir.), Karst rock features - Karren sculpturing. Ljubljana, Založba ZRC, 329-348.
- MALGAT C., 2010. Les enjeux territoriaux autour de l'espace de restitution de la grotte Chauvet, Entrée patrimoniale et systémique. Université de Savoie, mémoire Master 2.
- MALGAT C., 2014. Quelle évaluation pour quelle durabilité ? Enseignements à partir du projet Unesco de la grotte Chauvet (Ardèche, France). In GRAVARI-BARBAS M., JACQUOT S., (dir.), Patrimoine mondial et développement au défi du tourisme durable. Québec, Presses de l'Université du Québec, p. 223-246.
- MALGAT C., en cours. Analyse des modifications territoriales liées aux projets de valorisation des patrimoines de la grotte Chauvet. Université de Savoie, doctorat de géographie de l'école doctorale SISEO, direction J.-J. Delannoy, co-direction C. Gauchon et M. Duval, 2011-2014.
- MALGAT C., DUVAL M., GAUCHON C., 2012. Donner à voir un patrimoine invisible : de l'original à la copie. Le cas de l'Espace de restitution de la Grotte Chauvet. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 99-114.
- MALGAT C., DUVAL M., sous presse. La labellisation Unesco de la grotte Chauvet, une démarche internationale pour une reconfiguration locale. In Actes du colloque Labellisation et mise en marque des territoires, CERAMAC, 8, 9 et 10 Novembre 2011.
- MENNERON Y., 2003. Etude géomorphologique du cirque d'Estre (Vallon Pont d'Arc Ardèche). Mémoire d'IUP 1 Montagne, 51p. + carte géomorphologique
- MOCOCHAIN L., CLAUZON G., BIGOT J.-Y., 2006. Réponse de l'endokarst ardéchois aux variations eustatiques générées par la crise de salinité messinienne. *Bull. Soc. Géol. France*, 177, 1, 27-36.
- MOCOCHAIN L., JAILLET S., 2014. The Lower Ardèche River Karst Landscapes and Caves (Lower Rhône Valley): Unique Morphologies Induced by the Messinian Salinity Crisis. In FORT M., ANDRÉ M.-F. (dir.), Landscapes and landforms of France, 195-205.
- MOREL L., JAILLET S., MAIRE R., ULTIMA PATAGONIA T. L. M. D. L., 2011. Etude des crues souterraines des karsts subpolaires océaniques de l'Archipel de Madre de Dios (Patagonie, Chili). In Actes du 9ème Colloque d'hydrogéologie en pays calcaire, 359-362.
- NEHMÉ C., 2013. Apport de l'endokarst dans l'évolution des environnements et des sociétés du Liban. Université de Savoie & Université Saint-Joseph, Beyrouth, thèse de doctorat de géographie, 466 p. ; <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/85/93/95/PDF/VFTheseCNehme.pdf>
- NEHMÉ C., JABBOUR-GÉDÉON B., GÉRARD P.-C., SADIÉ B., DELANNOY J.-J., 2009. Reconstitution spéléogénique de la grotte de Kanaan (Antélias, Liban) : contribution à la morphogenèse du nahr Antelias. *Karstologia*, 54, 21-30.
- NEHMÉ C., VOISIN C., MARISCAL A., GÉRARD P.-C., CORNOU C., JABBOUR-GÉDÉON B., AMHAZ S., SALLOUM N., BADARO-SALIBA N., ADJIZIAN-GÉRARD J., DELANNOY J.-J., 2013. The use of passive seismological imaging in speleogenetic studies; an example from Kanaan Cave, Lebanon. *International Journal of Speleology*, 42, 2, 97-108.
- NOURY M., 2005. Cartographie géomorphologique de la salle Plane Ornac/Issirac (Ardèche, France). Étude comparative de deux grands vides karstiques (salle II et salle Plane). Université de Savoie, mémoire Master 1, 86 p.

- NOURY M., 2007. L'ouverture au milieu extérieur des volumes karstiques. Détritisme, construction de cône et reconstitution paléo environnementale. Université de Savoie, mémoire Master 2, 65 p.
- OYANÇABAL B., 2005. Explos à Coufin Chevaline 2001-2005. *Speleos, bulletin du Groupe Spéléologique Valentinois*, 94, 13-43.
- PASCAL M., ELMI S., BUSNARDO R., LAFARGE D., TRUC G., VALLERON M. M., CHEDHOMME J., COMBIER J., 1989. Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Bourg-Saint-Andéol (889), Orléans, BRGM.
- PAVLIK M., 2008. Apports et limites des systèmes d'information géographique dans l'évaluation de vulnérabilité des systèmes karstiques : application au projet d'extension du site classé des Abords du Pont d'Arc. Université de Savoie, mémoire Master 2, 58 p.
- PERRETTE Y., 2000. Étude de la structure interne des stalagmites : contribution à la connaissance géographique des évolutions environnementales du Vercors (France). Thèse de doctorat, Université de Savoie, 321 p.
- PERRETTE Y., POULENARD J., SABER A.-I., FANGET B., GUITTONNEAU S., GHALEB B., GARAUDEE S., 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in stalagmites: Occurrence and use for analyzing past environments. *Chemical Geology*, 251, 67-76.
- PERRETTE Y., JAILLET S., 2010. Spatial distribution of soda straws growth rates of the Coufin Cave (Vercors, France). *International Journal of Speleology*, 39, 61-70.
- PERRETTE Y., POULENARD J., DURAND A., QUIERS M., MALET E., FANGET B., NAFFRECHOUX E., 2013. Atmospheric sources and soil filtering of PAH content in karst seepage waters. *Organic Geochemistry*, 65, 37-45.
- PERROUX A.-S., 2005. Les remplissages détritiques endokarstiques. Contribution méthodologique à la lecture des mémoires paléogéographiques et environnementales. Application aux systèmes karstiques de Choranche (Vercors) et d'Ornac (Bas-Vivarais). Université de Savoie, thèse de doctorat de Géographie, 429 p. ; <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011125>
- PERROUX A.-S., 2006. Intérêt des sédiments détritiques endokarstiques en tant qu'archive naturelle ? Discussion autour des dépôts lacustres souterrains (Grottes de Choranche-Vercors). *Karstologia*, 47, 7-20.
- PERROUX A.-S., DEBARD E., DELANNOY J.-J., FERRIER C., KERVAZO B., PERRETTE Y., 2010. Géoarchéologie et karstologie de la grotte Chauvet. In AUDRA P. (dir.), Grottes et Karsts de France. *Karstologia-Mémoires*, 19, 98-99.
- QUIERS M., BATIOU-GUILHE C., BICALHO C., PERRETTE Y., SEIDEL J.-L., VAN EXTER S., 2014. Characterisation of rapid infiltration flows and vulnerability in a karst aquifer using a decomposed fluorescence signal of dissolved organic matter. *Environmental Earth Sciences*, 71, 553-561.
- QUIERS M., en cours. Évolution et transfert des HAPs dans les géosystèmes de montagne. Une rétrospective sur les derniers mille ans dans les spéléothèmes. Université de Savoie, doctorat de l'école doctorale SISEO, direction Y. Perrette, 2011-2014.
- ROSSI M., DOUBLET C., DZIKOWSKI M., GASQUET D., JOSNIN J.-Y., MÉNARD G., MOMMESSIN G., TARRIEU L., 2014. L'objet emblématique Systèmes Hydrothermaux - De l'hydrothermalisme profond aux eaux thermales, une décennie de convergence scientifique. In ASTRADE L., DELANNOY J.-J. (dir), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 29-48.
- SABAUT M., 2005. Géomorphologie de l'interfluve Ardèche/Cèze : cartographie et emboitements de surface. Université de Savoie, mémoire Master 1, 85 p.
- SABAUT M., 2006. Apport des modélisations 3D et analogiques dans l'étude des surfaces lapiazées karstiques. Université de Savoie, mémoire Master 2, 31 p.
- SADIER B., 2004. Étude géomorphologique d'un grand vide karstique. Exemple de la salle 2 du réseau II d'Ornac-Issirac. Université de Savoie, mémoire Master 1, 84 p.
- SADIER B., 2005. La morphogenèse karstique. Apports de l'approche multi-échelles de la géométrie 3D des systèmes karstiques. Université de Savoie, mémoire Master 2, 25 p.
- SADIER B., 2013. 3D et géomorphologie karstique : la grotte Chauvet et les cavités des gorges de l'Ardèche. Université de Savoie, thèse de doctorat de Géographie.
- SADIER B., PERROUX A.-S., PERRETTE Y., DELANNOY J.-J., QUINIF Y., KAUFFMAN O., 2007. L'aven d'Ornac : études des remplissages, mémoires des dynamiques post-paragénétiques. *Collection EDYTEM*, 5, 79-97.
- SADIER B., LACAVE C., DELANNOY J.-J., JAILLET S., 2011. Relevés lasergrammétriques et calibration sur calcite de morphologies externes de spéléothèmes pour une étude paléo-sismologique du Liban. In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T. (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 137-144.
- SADIER B., DELANNOY J.-J., BENEDETTI L., BOURLÈS D., JAILLET S., GENESTE J.-M., LEBATARD A.-E., ARNOLD M., 2012. Further constraints on the Chauvet cave artwork elaboration. *Proceeding of the national academy of sciences*, 109, 21, 8002-8006.
- SERROI B., en cours. À la croisée d'un massif et de ses bassins versants : développement d'un système d'observation participative pour la gestion intégrée des ressources en eau en Chartreuse-Guiers. Université de Savoie, doctorat de géographie de l'école doctorale SISEO, direction F. Hobléa, 2013-2016.
- TAYEBI A., 2007. Création et évolution des formes exokarstique et l'écosystème géomorphologique, végétation, sol dans le massif des Coulmes (Vercors). Université de Savoie, mémoire Master 2, 55 p.
- TAYEBI A., 2011. Vulnérabilité des ressources en eau karstiques en milieu méditerranéen semi-aride : le massif des Beni Snassen (Maroc oriental). Approche pluridisciplinaire et utilisation des méthodes 'SIG'. Université de Savoie, thèse de doctorat de géographie, 386 p. ; <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00710157>
- TAYEBI A., JAILLET S., GASQUET D., BOUABDELLAH M., 2010. Analyse spatiale de l'infiltration en domaine karstique méditerranéen de type semi-aride : cas du Massif des Beni Snassen (Maroc nord oriental). *Karstologia*, 55, 19-26.

THOMAS M., 2009. Apport de la cartographie topographique et géomorphologique dans l'étude spéléogénique d'un système karstique. Exemple du système karstique aval du réseau Coufin-Chevaline (Vercors). Université de Savoie, mémoire Master 1, 127 p.

THOMAS M., 2010. Les pièges endokarstiques à sédiments détritiques fin. Fonctionnement, typologie et intérêt. Apport aux études paléogéographiques et paléoenvironnementales. Université de Savoie, mémoire de Master 2.

TISSIER G., 2012. Ressource et gestion intégrée des eaux karstiques de montagne : analyse des impacts du changement climatique et de l'anthropisation des bassins versants. Université de Savoie, thèse de doctorat de Géographie, 261 p. ; <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00808614>

TISSIER G., PERRETTE Y., DZIKOWSKI M., POULENARD J., HOBLÉA F., MALET E., FANGET B., 2013. Seasonal changes of organic matter quality and quantity at the outlet of a forested karst system (La Roche Saint Alban, French Alps). *Journal of Hydrology*, 482, 139-148.

WILHELM B., 2007. Contribution à la connaissance des systèmes karstiques dans les Préalpes septentrionales (réseau Garde-Cavale, la Féclaz, Bauges). Université de Savoie, mémoire Master 1, 173 p.

L'OBJET EMBLÉMATIQUE ESPACES PROTÉGÉS

JALONS D'UNE RÉFLEXION COLLECTIVE SUR LES CHOIX POLITIQUES DE NATURALITÉ

LIONEL LASLAZ, MÉLANIE DUVAL, CHRISTOPHE GAUCHON, STÉPHANE HERITIER, LAINECHANTELOUP,
CLÉMENCE PERRIN-MALTERRE, CLAIRE TOLLIS, CAMILLE GIRAULT

Contact : lionel.laslaz@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

L'ÉTUDE DES ESPACES PROTÉGÉS DE MONTAGNE À EDYTEM : GENÈSE ET TERRAINS

Du début des années 2000 à 2013, le champ d'étude des espaces protégés s'est considérablement étendu au sein d'EDYTEM : élargissement et multiplication des terrains de recherche, augmentation du nombre de chercheurs impliqués, nombre de thèses soutenues, élargissement et diversification des thématiques. Cette évolution accompagne celle de l'étude de cet objet en France, notamment par les géographes, très timide jusqu'au début des années 2000, et désormais largement établie et structurée.

1 - L'apparition de la question des espaces protégés dans le champ de la géographie française et à EDYTEM

La recherche sur les espaces protégés en géographie commence à se structurer et se diffuser au début des années 2000, bien que des publications bien antérieures, plus isolées, aient existé. Pour rappel, on peut citer les travaux de P. Préau (1964) qui s'intéressent au parc national de la Vanoise et ceux de C. Avocat (dès 1977), M. Thénoz et G. Daudé, notamment sur le parc national des Écrins. Ces derniers ont donné lieu à des numéros thématiques spéciaux dans la *Revue de Géographie de Lyon* (1976, n°2 ; 1981, n°3 ou 1982 n°4). G. Janin envisage la genèse du parc national du Grand Paradis sous l'angle des conflits (1985, n° spécial de la *Revue de géographie alpine*).

La thèse d'État de G. Richez, publiée en 1992, marque un tournant dans l'étude des espaces protégés européens, étudiés alors dans leur rapport aux activités (en l'occurrence ici, le tourisme). L. Laurens, par ses travaux sur les parcs naturels régionaux (1995, 1997, direction d'un numéro spécial du *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*) a également pris part à cette analyse des espaces protégés sous l'angle de leur ruralité. Au début des années 2000, d'autres thèses traitent du tourisme (Grenier, 1996, sur les îles Galapagos, publiée en 2000) ou, notamment en Afrique, envisagent la dimension participative des politiques de conservation (Rodary, 2001) et

les conflits environnementaux (Guyot, 2003) ; celle de Stéphane Héritier (2002) aborde la relation entre tourisme et patrimoine, angle retenu dans les premiers articles du laboratoire, qu'ils soient de ce dernier ou de Christophe Gauchon sur les sites classés (2002). Le doctorat de H. Marchand (2003) sur les espaces protégés marins, insulaires et littoraux souligne la diversité des contextes à étudier, comme l'ont montré S. Depraz (2005) pour les parcs nationaux d'Europe centrale et orientale au lendemain de la chute du Rideau de fer et Lionel Laslaz pour les parcs nationaux des Alpes françaises (2004, à l'occasion des 40 ans du parc national de la Vanoise ; 2005, thèse de l'Université de Savoie). Par la suite, de nombreuses thèses en géographie ont été soutenues sur ce thème, dont celles de Mélanie Duval (2007), Justine Pasquier (2011) et Laine Chanteloup (2013), sans oublier l'HDR de Christophe Gauchon (2010) sur l'articulation tourisme et patrimoine. Ces thèses peuvent être mentionnées à la fois par leur caractère innovant permettant d'approfondir et de renouveler la recherche sur ces questions, mais aussi par la qualité de leur réalisation qui leur a valu de nombreuses reconnaissances nationales (prix du CNFG, de l'ASDRLE, du comité scientifique de la montagne...).

2 - Les lieux de recherche d'EDYTEM

Ces recherches doctorales ont notamment traité de terrains alpins, mais aussi d'autres espaces dans le cadre de conventions avec des universités étrangères ou de programmes de recherche (Canada, Liban, Slovénie) (Figures 1 et 2).

3 - Quelles actions de recherche et quels thèmes développés depuis 10 ans ?

En lien avec les objets thématiques qui ont constitué l'ossature de la recherche au sein du laboratoire, les principales entrées choisies au sein des espaces

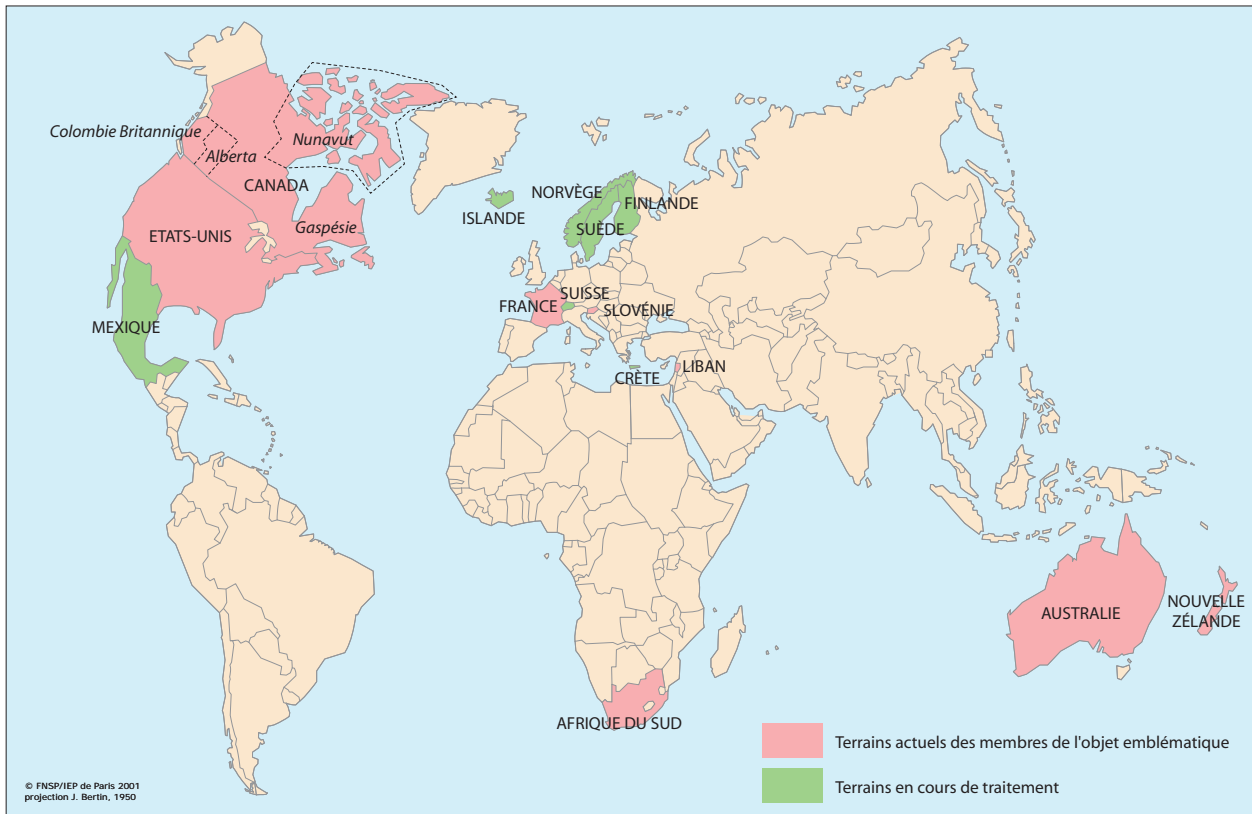


Figure 1 - Les terrains de recherche d'EDYTEM sur les espaces protégés dans le Monde.

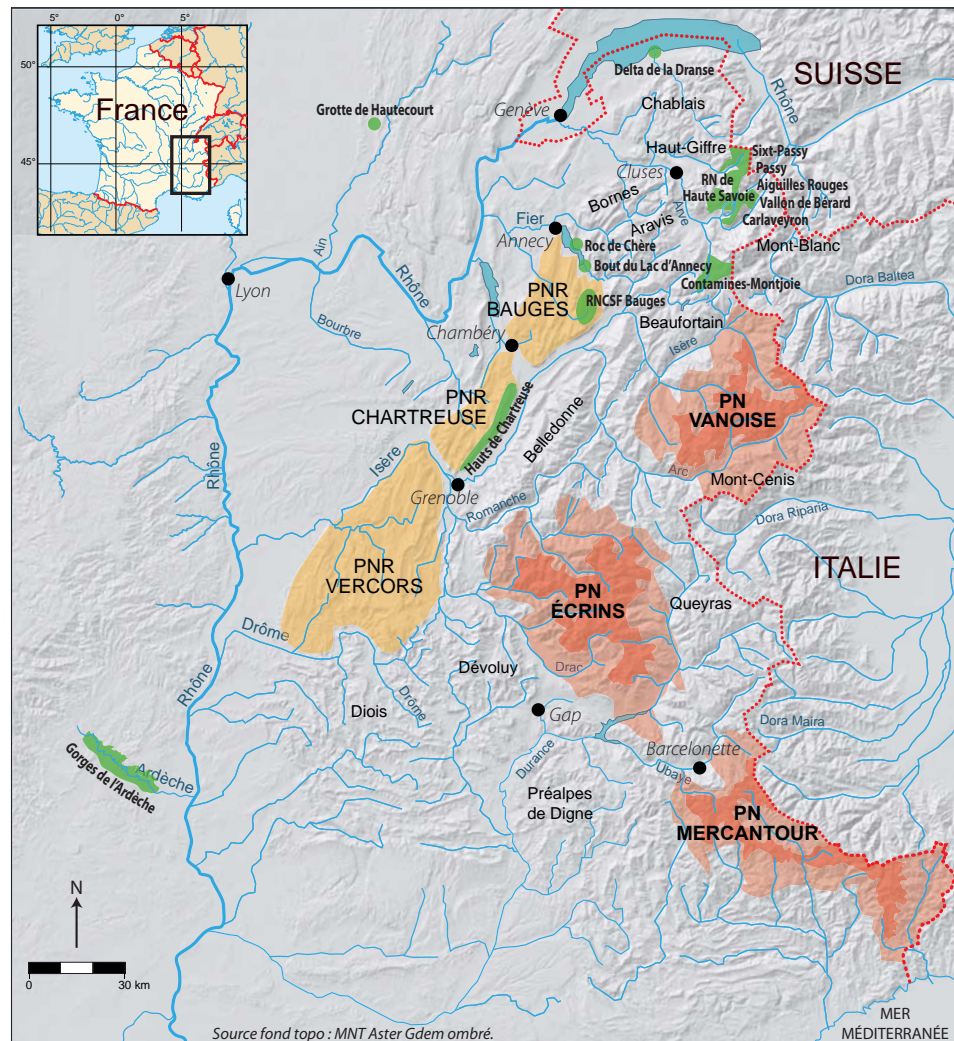


Figure 2 - Les terrains de recherche d'EDYTEM sur les espaces protégés en France.

- Parc National
 - Aire optimale d'adhésion
 - Cœur de parc
- Parc Naturel Régional
 -
- Réserve Naturelle
 -

protégés reposaient sur le tourisme et le patrimoine (Héritier ; Gauchon ; Duval, *op. cit.*). Les notions de ressources territoriale et patrimoniale ont été questionnées ; un certain nombre d'entre elles se trouve dans leurs périmètres, et l'émergence de la notion de géopatrimoine au sein du laboratoire s'est produite en parallèle (Hobléa *et al.*, 2014). Ce n'est que plus tard, en lien avec les thèses consacrées aux conflits et l'acceptation sociale au sein des espaces protégés (Laslaz, 2005) et avec l'organisation du colloque reprenant ces entrées (Chambéry, 2009) que le fonctionnement de l'espace protégé, ses modalités d'organisation territoriale ont fait l'objet d'études spécifiques. Durant ces 10 années, le laboratoire a donc fait glisser une partie de ses centres d'intérêt du contenu (ce que comprennent les espaces protégés) au contenant (qu'est-ce qu'un espace protégé ? ; comment fonctionne-t-il ?). De ce point de vue, un travail de définition et de précision de cet objet spatial spécifique a été entrepris (Héritier et Laslaz, 2008 ; Laslaz *et al.*, 2010 ; Laslaz, 2012), tentant de dépasser les définitions des ONG – telles que l'UICN – ou celles des biologistes. La déclinaison de la notion de *front écologique* (Guyot, 2009) au

sein des terrains traités par certains membres du laboratoire a fait l'objet d'un numéro spécial de *l'Espace politique* (n° 9, 2009-3) qui s'inscrit dans la foulée de la question des espaces protégés transfrontaliers préalablement abordée (Héritier, 2004b).

Ce chapitre propose une lecture des travaux conduits sur les espaces protégés en trois temps, correspondant à autant de niveaux d'actions du laboratoire.

La première partie présente les trois principales thématiques qui ont structuré les recherches, tout en précisant le type d'espaces protégés et la nature des terrains concernés.

Dans un deuxième temps, ces actions sont replacées dans un contexte de collaborations nationales et internationales qui souligne combien l'objet « Espaces Protégés » a gagné en visibilité au sein du laboratoire dont la mise en lumière est désormais assurée sur ce type d'espaces, notamment de montagne.

Enfin, la troisième partie retient quelques actions collectives fortes conduites durant ces années, qui ont contribué à asseoir cette visibilité sur ces champs de recherche.

I - L'ACQUISITION DES COMPÉTENCES EN MATIÈRE D'ESPACES PROTÉGÉS : UNE LARGE PALETTE DE TYPES D'ESPACES PROTÉGÉS ET DE THÉMATIQUES D'ÉTUDES

Cette première partie propose de regrouper les travaux conduits depuis une dizaine d'années en trois axes transversaux à l'ensemble des membres du laboratoire impliqués sur cet objet. Le premier axe regroupe les actions conduites sur les patrimoines au sein des espaces protégés, qu'il s'agisse de l'art rupestre, du karst, du contexte de patrimonialisation libanais ou encore de la faune sauvage. Le deuxième axe aborde la place des populations autochtones et leur reconnaissance ; leur lien avec le thème de la faune, développé dans l'axe précédent, réside dans un terrain partagé, le Canada. Enfin, pour l'essentiel en France jusqu'alors, le dernier se penche sur les questions de gouvernance et de gestion des espaces protégés, à travers les réformes législatives et réglementaires et les analyses conduites sur les politiques participatives.

1 - Patrimoines et espaces protégés : des lectures croisées

Qu'il s'agisse d'objets en particulier (art rupestre et faune sauvage), de type de milieu (karst), de contexte culturel et socio-économique spécifique (Liban), ce premier axe propose d'étudier de manière articulée leurs patrimonialisation et les espaces protégés qui les ont abrités, pouvant favoriser, par leurs réglementations et leurs compétences, ce processus.

a - Art rupestre et grottes ornées dans les espaces protégés

Étudier les sites d'art rupestre, ou tout autre objet dit culturel, au sein d'espaces protégés pose la question de l'articulation nature/culture à différentes échelles. Alors que les processus sociaux à l'œuvre invitent à dépasser cette opposition obsolète et à considérer les objets contenus au sein des espaces protégés comme des productions sociales, il n'en va pas de même pour les acteurs territoriaux qui tendent à opposer les entrées naturelles et culturelles, ce rapport dialectique évoluant en fonction des lieux, des héritages historiques mais également des jeux d'acteurs. En ce sens, les recherches conduites dans des espaces protégés marqués par la présence de sites d'art rupestre permettent d'observer différentes logiques et formes d'articulation entre les registres culturels et naturels.

En Afrique du Sud, des collaborations avec le *Rock Art Research Institute* (GDRI STAR) ont conduit à investir le massif de l'uKhahlamba-Drakensberg, site inscrit au patrimoine mondial Unesco depuis 2000 en tant que bien mixte, au titre de ses richesses paysagères et culturelles, avec une récente extension intégrant le parc national de Sehlathebe au Lesotho (juillet 2013). Engagée depuis 1994 par l'agence provinciale en charge des questions environnementales, *Ezemvelo KwaZulu-Natal Wildlife* (EKZNW), la démarche Unesco s'inscrit dans la continuité d'un double pro-

cessus de protection/patrimonialisation du massif et plus particulièrement de ses ressources paysagères (Duval, 2013). Depuis le début du 20^e siècle, une dizaine d'espaces protégés a, en effet, été créée tout le long de cet escarpement (réserves de chasse, réserves naturelles, parc national, forêts d'État), avec comme finalité la protection de la biodiversité, de la ressource en eau mais également d'un massif pittoresque propice aux activités récréatives de nature. Les limites du bien Unesco viennent en épouser les contours, intégrant les divers espaces protégés qui le composent dans un seul et même document de gestion.

Dans le même temps, l'inscription au patrimoine mondial marque un élargissement du spectre patrimonial, avec la prise en compte des sites d'art rupestre (plus de 600 sites aujourd'hui répertoriés, les plus anciennes productions sont datées de 3000 BP ; les plus récentes remontent au 19^e siècle avec la mise en scène de l'arrivée des colons). Jusqu'alors protégés à l'échelle nationale par des lois génériques, ils restaient secondaires dans les valeurs patrimoniales attribuées au massif. L'inscription en tant que bien mixte va les placer sur le même plan que les paysages et les richesses naturelles du massif.

Les recherches conduites à l'échelle de ce massif permettent alors d'observer l'évolution de la prise en compte des sites d'art rupestre dans la construction de l'espace protégé (Duval, Smith, 2013). L'approche diachronique met en avant un changement de statut des sites d'art rupestre, lesquels passent de peintures grossières à des sites emblématiques justifiant/favorisant l'inscription au patrimoine mondial. Les sites d'art rupestre apparaissent, en effet, de manière centrale dans l'argumentaire de l'inscription à l'Unesco, et leur mobilisation a vraisemblablement permis l'obtention du label. Pour qu'un bien soit inscrit sur la liste du patrimoine mondial, ce dernier doit, entre autres, démontrer son caractère exceptionnel. Or, pour autant que les paysages du Drakensberg soient majestueux, force est de constater qu'à l'époque, la liste du patrimoine mondial comptait déjà plusieurs paysages de ce genre. À eux seuls, les critères (vii) et (x) relatifs aux dimensions naturelles du massif n'auraient pas suffi pour obtenir l'inscription au patrimoine mondial.

Pour autant, les sites d'art rupestre restent en retrait sur le plan touristique et le Drakensberg est une destination marquée par les activités de pleine nature. Moins de 10% des touristes fréquentant le massif visitent un site d'art rupestre (environ 29 000 pour une fréquentation globale de l'ordre de 700 000 touristes pour 2010). Ce décalage entre le discours patrimonial et la réalité des pratiques touristiques est directement lié aux jeux d'acteurs, mettant à jour des dysfonctionnements entre les services en charge des questions culturelles et des entrées environnementales (Duval, accepté). Sur ce point, le massif du Drakensberg n'échappe pas à des modes de fonctionnement bicéphale que l'on retrouve également sur des

terrains français : alors que les entrées environnementales et paysagères sont gérées par EKZNW, les ressources culturelles sont du domaine de l'agence provinciale en charge de la culture, *Amafa*. Entre les deux, des comités de liaison sont mis en place, avec un succès limité. En effet, deux cultures d'entreprises très différentes se côtoient, les uns ne comprenant pas les impératifs et les modes d'intervention des autres, et inversement. L'une des principales conséquences est une inadéquation des missions des uns et des autres d'une part, et des systèmes mis en place pour assurer la protection des sites d'art rupestre d'autre part, posant, à plus ou moins long terme, la question de leur protection (Duval, Smith, 2013, *op. cit.*).

In fine, les recherches conduites sur le massif du Drakensberg interrogent les relations nature/culture en Afrique du Sud (Giraut et al., 2005) sous l'angle des catégories d'inscription au patrimoine mondial de l'Unesco, avec ici le cas spécifique d'un bien mixte. En juxtaposant les entrées naturelles et culturelles, ce type de bien marque en même temps qu'il encourage une division des compétences entre les acteurs du secteur environnemental et ceux de la culture, favorisant de fait des modes de gestion binaire. Sur ce point, des études comparatives seraient à conduire avec des biens inscrits au titre des paysages culturels (catégorie de l'Unesco en vigueur depuis 1992), où une intégration des deux registres semble *a priori* davantage s'observer comme le souligne M. Roué (2010) en comparant les modalités de gestion et de fonctionnement d'un site inscrit en tant que bien mixte (Région de Laponie) et un second inscrit en tant que paysage culturel (les Causses et les Cévennes, paysage culturel de l'agro-pastoralisme méditerranéen). Cette approche permettrait de vérifier dans quelle mesure la division nature/culture est pour partie fonction de la catégorie du bien inscrit, elle-même miroir des jeux d'acteurs.

b - Karst et espaces protégés, croisement entre deux objets emblématiques

Les terrains investis en Slovénie ont permis de croiser deux objets emblématiques du laboratoire : les espaces protégés et le karst (Delannoy et al., 2014). Sur un territoire restreint, 20 000 km², la Slovénie présente une grande densité d'espaces protégés, avec une large palette de statuts, les uns hérités de l'histoire yougoslave, les autres mis en place depuis l'indépendance en 1991. Le corpus documentaire est riche, et l'ancrage alpin à travers le réseau *Alparc* permet d'utiles comparaisons.

Ainsi, le travail mené au cours de l'été 2007 sur le parc national du Triglav a permis l'écriture d'un chapitre d'ouvrage (Héritier, Laslaz, 2008). Les redécoupages successifs du parc depuis sa première création en 1924 jusqu'en 1981 interrogent en effet les conditions territoriales de la construction d'un parc national et l'évolution de la conception même d'espace protégé

dans un pays qui ne possède qu'un seul parc national, couvrant la plus grande partie des Alpes slovènes, dont leur point culminant, le Triglav (2864 m). La valorisation des vestiges historiques liés aux champs de bataille de la guerre de 1915-1918, situés à plus de 2000 m, amène aussi à réfléchir à la diversité des ressources patrimoniales dans un espace protégé de montagne. Par ailleurs, également dans la zone centrale du parc, les alpages de Bohinj figurent sur la liste indicative du patrimoine mondial déposée par la Slovénie auprès de l'Unesco.

Mais c'est surtout la thèse de M. Duval, soutenue en 2007, qui a le plus interrogé la place des espaces protégés dans le Karst italo-slovène *stricto sensu* et dans le karst de Notranjska autour des sites majeurs de Postojna ou de Cerknica. Sous la co-direction d'Andrej Kranjc de l'Institut du Karst, et dans une optique de comparaison avec le terrain des gorges de l'Ardèche, il s'agissait d'étudier les dynamiques territoriales dans des régions où l'activité touristique entre en synergie avec les logiques de patrimonialisation. Entre 1986 et 2011, les grottes de Skočjan et les pertes de la Recca ont été le seul bien en Slovénie inscrit au patrimoine mondial, ce qui éclaire sur l'importance que les Slovènes accordent aux paysages karstiques dans la représentation de leur patrimoine. Le lac saisonnier de Cerknica, au-delà des interrogations liées à son fonctionnement et qui lui ont valu une grande célébrité, a aussi fait l'objet de multiples projets d'aménagement et de protection, jusqu'à la création en 2002 d'un parc régional qui intégrera la convention Ramsar sur les zones humides en 2005. Mais à l'opposé, la grotte de Postojna, site touristique le plus fréquenté de la région, et la grotte de Predjama, ne sont pas inclus dans les périmètres de ces espaces protégés, ce qui crée une combinaison riche de situations mettant en jeu les aspects touristiques et patrimoniaux.

Au-delà de ces travaux, d'autres pistes de recherche se présentent : en effet, deux biens ont été récemment inscrits sur la liste du patrimoine mondial, à savoir les palafittes de Ljubljana (2011, dans un bien concernant l'ensemble des pays alpins) puis les mines de mercure d'Idrija (2012, en lien avec un autre site minier en Espagne). Ces inscriptions de biens sériels renouvellent la question sur les liens entre patrimoine et territoire, conduisent à repenser la notion de ressource patrimoniale (autour de la thématique des patrimoines invisibles) et, *in fine*, contribuent à recomposer le paysage patrimonial de la Slovénie.

c - Des sociétés libanaises en quête de patrimonialisation

Les différents programmes développés pendant ces dix années avec les collègues libanais de l'Université Saint-Joseph de Beyrouth ont produit deux travaux doctoraux portant sur la question des espaces protégés et des patrimoines. Les deux thèses ont été conduites

en co-tutelle par les deux établissements, la première par une doctorante libanaise qui a souvent séjourné à EDYTEM, la seconde par une doctorante de l'Université de Savoie ayant passé un semestre d'études au Liban.

La thèse de Laudy Doumit (2003-2007, *La valorisation du patrimoine endokarstique libanais*), se plaçait clairement en amont du processus de patrimonialisation, car dans les faits, les grottes libanaises sont exceptionnellement constituées en espaces protégés. Or, une enquête exhaustive conduite dans toutes les régions du pays montrait que trois quarts des Libanais ont visité au moins une grotte, et apprécient les paysages souterrains. Pendant la guerre civile (1975-1990), la grotte de Jeïta, joyau du tourisme, a été fermée et protégée de façon efficace. Mais le principal problème est le manque de prise de conscience patrimoniale, ce qui laisse la porte ouverte à une dégradation des richesses karstiques. Que ce soit à l'échelle nationale ou à l'échelle locale, l'appropriation de ce type de ressource est encore très faible, et les pouvoirs publics ont davantage misé sur la patrimonialisation des grands ensembles monumentaux hérités de l'antiquité et de la riche histoire du Liban. Le travail de L. Doumit éclairait donc d'un jour intéressant la question de la sélection patrimoniale.

La thèse de J. Pasquier (2007-2011, intitulée *Valorisation et redéfinition du patrimoine religieux dans les espaces protégés en montagne*), se positionnait différemment, d'abord parce qu'elle envisageait une comparaison entre deux espaces protégés dans les Préalpes du Nord (le Désert de la Grande-Chartreuse) et au Liban (la vallée de la Qadisha et les Cèdres de Dieu) ; ensuite parce qu'elle interrogeait la dimension particulière du patrimoine religieux et de sa place dans les espaces protégés. Une approche diachronique a permis d'identifier l'évolution des valeurs patrimoniales qui rendent compte de l'attachement des sociétés à ces éléments du patrimoine, à travers un dialogue renouvelé entre un sacré religieux, un sacré profane et un intérêt touristique désacralisé. Le site de la Qadisha étant inscrit sur la liste du patrimoine mondial, il a été possible de documenter les enjeux de gestion dans un contexte qui laisse une large place à la fois aux rivalités locales et aux appartenances communautaires. La dimension religieuse largement mise en avant occulte en partie d'autres pans du patrimoine tel qu'il avait d'abord été envisagé au moment du premier dossier de candidature, si bien que l'on retrouve ici une autre modalité de la sélection patrimoniale. Cette thèse a reçu le 1^{er} prix de thèse du CNFG en 2011.

d - Espaces protégés et faune sauvage : le vivant comme patrimoine

En s'appuyant sur différentes études de cas portant sur la réserve nationale de chasse et de faune sauvage des Bauges et divers espaces administrés en

Haute-Gaspésie (Québec, réserve faunique et parcs nationaux), les travaux menés par L. Chanteloup s'intéressent aux interrelations entre faune et espaces protégés (Chanteloup, 2013 b). L'animal sauvage est fréquemment associé à ces derniers, soit par lien causal direct (création d'un espace protégé pour conserver ou rétablir une espèce), soit par lien indirect (création d'un espace protégé visant à protéger des milieux spécifiques, ce qui participera *in fine* à protéger la faune).

Ce lien entre espèces sauvages et espaces protégés s'apprécie au regard de l'histoire de ces derniers, comme les parcs nationaux ou les réserves de chasse. Dans les Alpes, par exemple, suite à la très forte pression exercée sur le gibier de montagne et sa quasi-disparition, des mesures de protection des espèces ont été promues à travers une mise en défens de l'espace : les parcs nationaux du Grand Paradis en Italie et du Mercantour ont été créés sur d'anciennes réserves royales instituées pour la protection du bouquetin et/ou du chamois (Laslaz, 2005 a et 2009 b). Ce lien entre espèces et espaces se retrouve également au sein d'autres zones, comme au Québec où le parc national de la Gaspésie a été créé dès 1937 pour la protection du caribou. Les travaux effectués sur fonds d'archives ont cependant montré que la protection de l'espèce par la mise en œuvre de ce parc n'a été effective que lors de sa refondation, à partir des années 1980. Le premier parc avait dans les faits donné une priorité au développement de l'activité touristique par rapport aux fonctions de protection de l'environnement (Chanteloup, 2013 a). À l'inverse, l'analyse des archives sur l'évolution de la faune sauvage et de sa gestion au sein de la réserve nationale de chasse et de faune sauvage des Bauges démontre une diversification des pratiques et des objectifs attribués à cet espace de protection qui passe d'un sanctuaire pour chamois à un espace multifonctionnel où se développent la formation et l'information du public (Figure 3).

Les espaces protégés sont en effet des lieux privilégiés pour la rencontre de la faune sauvage. Si une même espèce est donnée à voir aux visiteurs, ceux-ci n'accéderont pas au même sauvage en fonction de l'aménagement touristique développé. L'analyse des pratiques et des aménagements pour se confronter au sauvage montre comment l'animal sauvage est modelé, la rencontre avec la faune sauvage pouvant en effet être organisée spatialement et temporellement. L'aménagement dépend alors de l'éthique territoriale développée par les gestionnaires des espaces protégés (Chanteloup, 2013 b, c). Les réflexions développées autour de la ressource faunique permettent d'interroger les effets d'emboîtements spatio-temporels entre des dynamiques globales et locales liées aux espaces protégés et plus particulièrement d'analyser comment les valeurs des ressources fauniques et les enjeux qui y sont attachés se traduisent dans l'espace et participent à la construction des territoires. L'entrée par la faune sauvage et les différentes pratiques qui lui sont

associées complètent ainsi les travaux sur cet objet emblématique.

2 - Autochtonie et espaces protégés

a - La singularité de l'intégration des Maoris dans la gestion des espaces protégés en Nouvelle-Zélande

En matière de conservation de la nature, la Nouvelle-Zélande a consacré un effort tout particulier au développement d'un système d'espaces protégés. Ainsi, 30% de sa superficie terrestre et 7 % de sa superficie marine relèvent du Ministère de la conservation, le DOC (*Department of Conservation*).

La thématique de l'intégration des peuples autochtones (dans le cas présent, les Maoris¹) et plus largement des populations locales (Héritier, 2010 et 2011 a) s'inscrit au cœur des enjeux contemporains néo-zélandais, comme dans de nombreux pays issus de la colonisation britannique. Les implications en termes juridiques, fonciers et financiers sont considérables et concernent directement les espaces protégés, en ce sens qu'ils constituent un espace foncier public, investis par deux types d'attentes. D'un côté, celle de la société contemporaine qui a progressivement associé les aires protégées aux aménités qui s'y trouvent ; et de l'autre, celle de la (les) société(s) dite(s) autochtone(s), conservant un attachement traditionnel à des espaces aux fonctions rituelles, mémorielles, ou plus largement culturelles très importantes. En dépit de la conquête coloniale et des décennies d'acculturation, des conceptions radicalement opposées de la nature se perpétuent, confrontant également les groupes d'acteurs dans leur appréhension des espaces protégés.

Ce tableau dressé, l'une des questions majeures de la recherche menée en Nouvelle-Zélande consistait à apprécier la réalité de l'implication des Maoris dans la gestion d'un parc national, en l'occurrence le plus ancien du pays (1894), le Tongariro. Le cas demeure certes singulier, mais il présente l'avantage d'être caractérisé par un moment fondateur à portée mythologique, puisque l'histoire officielle retient que ce parc a été créé à partir des parties sommitales de trois volcans du centre de l'île du Nord à la suite du don d'un chef maori à la Couronne britannique en 1881, destiné à assurer la protection de lieux sacrés des Maoris (Héritier, *in* Laslaz, 2012, p. 76-77). Les Maoris n'ont pas vu leur rôle réduit à la simple exclusion (comme en Australie ou aux États-Unis), puisqu'ils sont en quelque sorte à l'origine de la création de ce premier parc, dont la gestion a été confiée à des services gouvernementaux. Très concernés par ce parc, certains groupes maoris ont souhaité, avec le bénéfice d'un

¹ Ils ne sont pas « autochtones » au sens strict. Selon les connaissances historiques existantes, les Maoris ont colonisé les îles du nord à partir du milieu du XI^e siècle.

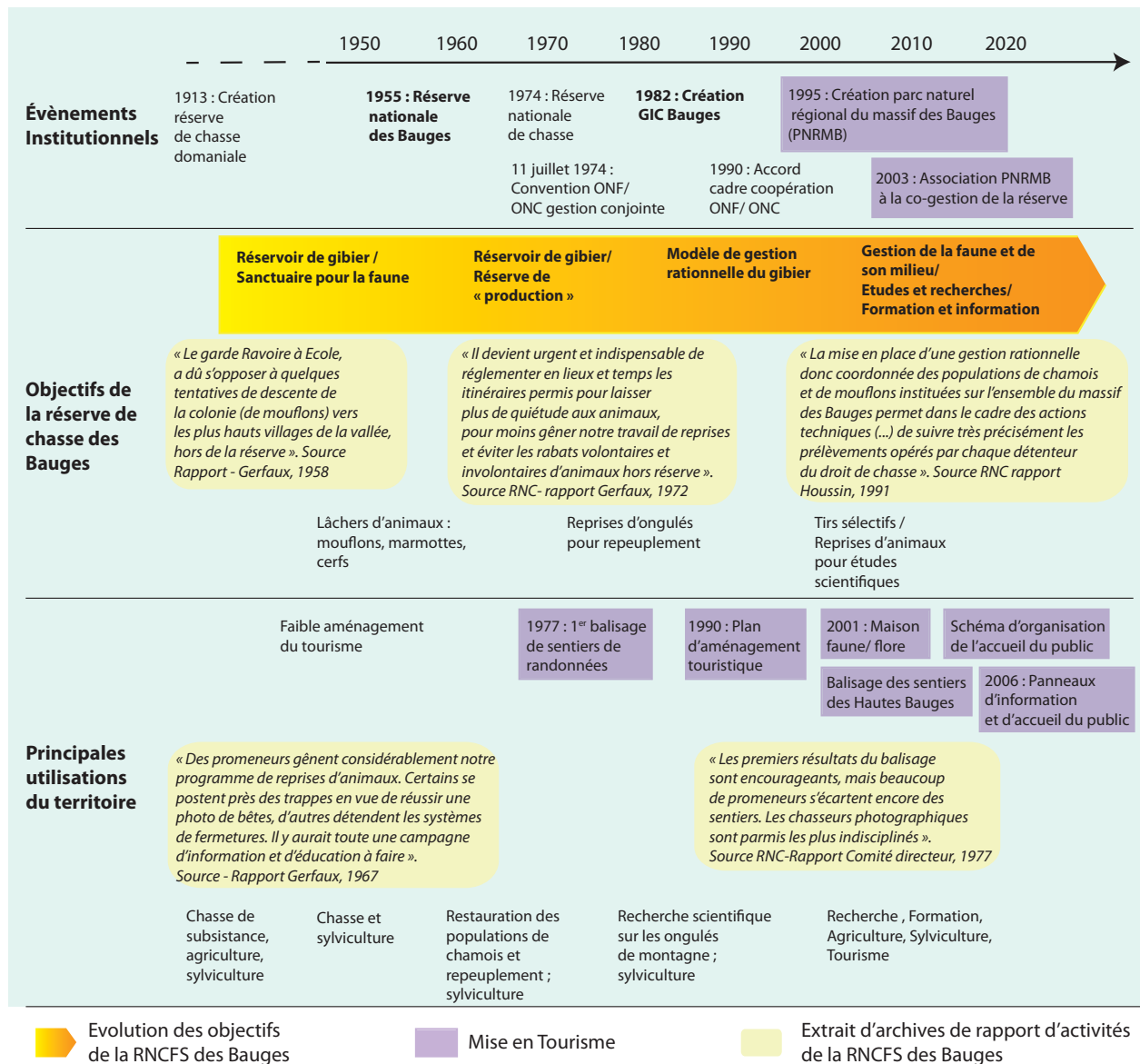


Figure 3 - Évolution de la RNCFS des Bauges au cours du temps : vers un développement de l'activité touristique (L. Chanteloup, 2013).

contexte politique gouvernemental nouveau caractérisé par la mise en place du Tribunal de Waitangi² en 1975, participer plus activement à la gestion du parc. Celui-ci constitue un laboratoire intéressant mettant en évidence la manière dont les acteurs se positionnent et s'agencent dans un contexte relativement pacifié. L'un des groupes maori s'inscrit dans la perspective d'une relation de partenariat avec l'administration du parc, qui se traduit dans les emplois et dans l'impor-

² Le tribunal de Waitangi est une commission destinée à recevoir l'ensemble des plaintes et des revendications – notamment foncières – des Maoris. Il a pour objectif de résoudre les conflits de revendication foncière qui ont été créés, notamment après la principale guerre de la seconde moitié du 19^e siècle (en 1870 et 1886) et en s'appuyant sur le texte de l'entente fondatrice, c'est-à-dire le traité de Waitangi (signé en 1840) ; s'il fait encore l'objet de vives controverses, il constitue une pierre angulaire des relations entre Maoris et gouvernement néo-zélandais.

tance accordée aux sites sacrés maoris, aux valeurs spirituelles qui y sont attachées et qui ont par ailleurs joué leur rôle dans l'inscription de ce site sur la liste du patrimoine mondial par l'Unesco au titre du patrimoine culturel et naturel en 1990 (extension en 1993).

La constellation locale des acteurs s'avère complexe et permet l'identification d'un « champ de la participation » (Héritier, 2011 a). Deux groupes maoris importants sont à l'œuvre, de même que des associations de différentes natures, certaines consacrant leur action à la protection d'espèces (avifaune notamment), d'autres se concentrant sur le maintien de l'accès aux aménités disponibles dans les parcs, d'autres enfin s'attachent à des questions de régulation des espèces considérées comme nuisibles en lien avec les pratiques récréatives de chasse. Le cas néo-zélandais a ceci d'intéressant qu'il ne se résume pas à des oppositions classiques

entre les conversationnistes et les développementistes – ou plus exactement que les lignes de fractures habituelles entre ces deux groupes ne marquent pas les mêmes limites entre les groupes d'acteurs. L'un des principaux est bien les Maoris, qui bénéficient à Tongariro d'une position symbolique renforcée par l'origine officielle de la création du parc. Leur participation partenariale est également soutenue localement par la personnalité et la volonté du directeur du parc, qui a su créer des liens de confiance avec des membres éminents de l'une des deux communautés maories, la plus impliquée dans le parc.

b - La renaissance autochtone au Canada

Depuis les années 1980, le passé colonial du Canada induit que les services fédéraux sont contraints de gérer des revendications autochtones – c'est-à-dire celles émanant des Premières Nations, des Métis et des Inuit – dans tout le pays. En dépit du partage des compétences entre le niveau fédéral et le niveau provincial hérité de l'Acte de l'Amérique du Nord Britannique en 1867, les questions autochtones relèvent, d'une manière générale – ce qui n'empêche pas quelques spécificités provinciales comme au Québec, au Manitoba ou au Nunavut – de la compétence fédérale et un ministère leur est spécifiquement consacré. Ce préalable posé, il faut ajouter que l'histoire canadienne a conduit à une prise de possession du territoire conduisant à deux types de situations territoriales, celles où des traités ont été signés entre le 16^e siècle et 1921 entre des représentants de nations autochtones et les représentants légaux du moment au Canada, et celles où aucun traité n'a été signé. Les conditions de signature de ces traités avec les Autochtones, relevant d'une situation de pouvoir parfaitement asymétrique, ont conduit à la réduction de leur autorité sur des espaces qui leur furent attribués à l'issue des négociations (réserves).

Les dernières décennies du 20^e siècle ont été celles d'une «renaissance autochtone» qui s'est traduite par la contestation des traités et de la légitimité de l'appropriation historique des territoires amérindiens antérieurs à la colonisation. Dans les espaces protégés et notamment dans les parcs nationaux du Canada (relevant du fédéral), deux stratégies ont émergé : (i) les espaces protégés existants ont vu une augmentation croissante des revendications d'usages et d'ordre foncier (Héritier, 2011 a) ; (ii) dans les espaces protégés qui devaient être créés, s'engageaient d'après négociations destinées à obtenir des dédommagements conséquents ou à faire valoir ce que les Nations autochtones concernées considéraient comme leurs droits traditionnels légitimes d'accès aux ressources (halieutiques, cynégétiques, du sous-sol, etc.).

Ces évolutions ont modifié les relations dans les espaces protégés d'où les groupes autochtones avaient été exclus. Les situations sont très variables et étroitement liées à l'histoire de chaque Nation. Dans le

parc national Wood Buffalo (Alberta et Territoire du Nord-Ouest, Canada), les Premières Nations Cri et les Métis sont consultées par l'administration et des actions de collaboration sont effectivement mises en place (Héritier, 2011 b). La condition fondamentale de l'implication des Autochtones est le résultat d'une articulation délicate entre la confiance entre les acteurs (Autochtones, gestionnaires du parc, autres acteurs locaux), la volonté ou la possibilité des gestionnaires de favoriser les actions de coopération et l'état des contentieux fonciers. Là où ces derniers sont portés devant la justice, les conditions d'une coopération sont délicates à mettre en place, comme dans le parc national Banff (Héritier, 2010). Les actions de partenariat sont souvent le fait d'ententes entre personnes avant de l'être entre les représentants du gouvernement et des Nations autochtones. Dans tous les cas, l'examen de la situation dans les parcs créés avant 1930 souligne que la singularité de chacune s'inscrit dans une histoire singulière et des mémoires souvent à vif. Dans ce contexte, les recherches menées sur certains parcs de l'Ouest canadien ont montré que la période actuelle est caractérisée par une phase de règlement des tensions héritées des anciennes situations de domination (historique, culturelles, foncières notamment), dont l'issue réside principalement dans les compensations accordées aux Nations autochtones par décision de justice ou par décision politique.

3 - Gouvernance et gestion des espaces protégés

Les dix dernières années ont constitué un tournant pour les parcs nationaux en France. A l'issue de la publication du rapport du député Jean-Pierre Giran (2003), l'État a engagé un mouvement de recomposition de leur gouvernance (majorité des élus au conseil d'administration, création du conseil économique, social et culturel en contrepoint du conseil scientifique, entre autres), et de redéploiement spatial (cœurs pouvant être discontinus, possibilité d'extension de ces derniers dans certains parcs, extension des zones périphériques renommées aires optimales d'adhésion, etc.). Ce rapport parlementaire et les réactions qu'il a occasionnées (Laslaz, 2005 a, b) expliquent le temps de gestation de la loi réformant les parcs nationaux qui n'arrive qu'en avril 2006. Ce temps de l'analyse s'est conjugué avec une phase d'exhumation. Le contenu de cette loi et ses difficultés potentielles de mise en œuvre ont été approfondis (Laslaz, 2007 a) et faisaient craindre la réminiscence de tensions enfouies expliquant les conditions structurelles de faible acceptation sociale de certains parcs nationaux. Force est de constater que cette prévision, sans verser dans la prospective, s'est avérée juste par les options, les choix et les blocages constatés depuis : discussions autour de la notion de *caractère* du parc national et sur le sens à donner aux *vocations* des différentes parties du terri-

NOUVELLES ORIENTATIONS ET ÉCLAIRAGES PERMIS PAR L'ARRIVÉE DE NOUVEAUX MEMBRES (2012-2013)

Les travaux de Clémence Perrin-Malterre s'intéressent à la régulation des conflits liés au développement des sports de nature dans les espaces protégés. Plus précisément, en référence au cadre théorique de l'action organisée de Friedberg (1993), une analyse de l'activité canyoning dans les parcs naturels régionaux du Vercors et du Massif des Bauges a identifié les logiques d'acteurs et le degré d'organisation des différents contextes d'action afin de comprendre la régulation des conflits d'usage et d'aménagement sur les sites de pratique les plus fréquentés (Perrin-Malterre, Mounet, 2010). Par ailleurs, une étude sur les sports motorisés dans les parcs naturels régionaux a mis en évidence les différentes formes de régulation de cette activité en fonction des acteurs en présence (Perrin-Malterre, 2007). Ces travaux s'intéressent également à la participation des sports de nature au développement économique des espaces protégés. Plus précisément, l'analyse de l'activité canyoning dans les parcs naturels régionaux du Vercors et du Massif des Bauges a souligné l'implication des prestataires sportifs dans la structuration de l'offre touristique des parcs (Perrin, 2005 ; Perrin, Mounet, 2004).

Camille Girault (2010) étudie les espaces naturels protégés de Göteborg et leur insertion dans le territoire de cette ville suédoise. Au-delà des logiques d'aménagement spécifiques au sein de ces 18 aires protégées, leur présence entraîne plus largement une réflexion sur l'organisation et le fonctionnement de l'espace urbain. Ainsi, un éclairage est proposé pour comprendre les liens, parfois conflictuels, entre le désir de protection de certains acteurs et la demande sociale de naturalité émanant d'une grande partie de la population. Dans le cadre d'un projet de thèse, sous la direction de L. Laslaz, ses recherches le conduiront à approfondir l'étude des spécificités de la protection des espaces naturels urbains au prisme des contextes culturels nordiques. Les enjeux sociaux et environnementaux qui gravitent autour de ces espaces protégés révèlent plus largement les problématiques actuelles liées à l'urbanisation (périurbanisation/densification ; mobilité/accessibilité ; modes de gouvernance...). En complément de Göteborg, Oslo, Helsinki, Malmö et Stockholm seront étudiées. Ces terrains urbains d'Europe du Nord permettront à EDYTEM de dépasser le cadre montagnard pour mieux y revenir et le comprendre dans une démarche comparative. Ce regard croisé semble d'autant plus pertinent que les espaces protégés de montagne sont de plus en plus concernés par les processus d'urbanisation.

Claire Tollis a soutenu en décembre 2012 une thèse de géographie à l'Université de Grenoble sur la gestion des espaces de nature (jardins, parcs régionaux et nationaux ainsi qu'un espace de wilderness en Oregon, États-Unis). Dans ce travail, elle interroge les activités de gestion à l'heure où les acteurs sont sommés d'écologiser leurs pratiques, c'est-à-dire de prendre en compte un nombre croissant d'entités et de phénomènes qui débordent très largement le périmètre dont ils ont la charge. Il apparaît que la responsabilité du devenir des espaces de nature étudiés se trouve distribuée entre une multiplicité d'acteurs et d'actants (Lussault, 2007). Les gestionnaires comptent, par exemple, sur des insectes pour lutter contre les ravageurs, sur des ordinateurs pour calculer et prévenir nombre de dysfonctionnements, mais aussi sur l'avènement de feux de forêt qui redistribueront les flux de visiteurs. Dans la géographie des associations hétérogènes (Murdoch, 1997) que Claire Tollis s'approprie et réactualise, ces entités n'existent pas à côté des relations sociales qui se tissent dans les espaces de nature : elles les sous-tendent. Il convient donc de remettre la matérialité de ces espaces au cœur de la recherche géographique. En parallèle, il ressort de l'analyse que leurs gestionnaires font appel à un public élargi (d'experts, de militants, d'usagers et de riverains) pour prendre soin de la nature. Et le contexte de crise environnementale et économique les rend de plus en plus dépendant de ces adjuvants bénévoles. Des soucis de gestion mais aussi de gouvernance apparaissent. Pour prolonger ses recherches sur cette gouvernance des espaces protégés, C. Tollis a rejoint le laboratoire EDYTEM en tant que chercheuse associée.

toire ; ambiguïté dans la perception de la notion de *solidarité écologique* entre le cœur et l'aire d'adhésion ; retard dans l'instauration des chartes. Initialement prévues pour fin 2010, elles ont été récemment adoptées par les collectivités territoriales dans le Mercantour ou dans les Écrins et vient d'être votée (27 novembre 2013) par le conseil d'administration du parc national de la Vanoise. Les réticences des communes à intégrer l'aire optimale d'adhésion (Laslaz, 2011 b) se sont traduites par leur refus d'adhésion : le 12 août 2013,

c'était le cas de 7 des 28 communes du Mercantour ; 13 sur 59 communes des Écrins et 23 communes du parc national des Pyrénées sur 86 ont de même quitté l'ancienne zone périphérique. Ainsi, le temps de la participation promu par la loi ne se révèle pas toujours être la panacée que l'on veut souvent présenter (Laslaz, 2010). Cet étirement des inflexions législatives sur 10 ans a permis de suivre les méandres de leur gestation et de leur application, parfois de l'intérieur (au sein des conseils scientifiques, cf. *infra*), et annonce dans les

mois qui viennent (en Vanoise, par exemple) l'aboutissement d'un long processus par le vote des collectivités locales concernées sur leur adhésion ou non à une aire optimale qui deviendra *aire d'adhésion*, tout court. Nul doute que les stratégies engagées pour dépasser les crispations et les conflits et conduire à leur constitution mériteront une étude détaillée et distanciée.

Les Opérations Grands Sites (OGS) offrent un second éclairage des enjeux de gouvernance dans les espaces protégés. Elles se définissent comme des opérations d'aménagement du territoire visant à requalifier des espaces protégés ayant le statut de site classé (Duval, Gauchon, 2007). L'OGS se présente avant tout comme une opération : celle-ci vise à corriger certains dysfonctionnements observés sur des sites classés et faisant l'objet de fréquentation touristique considérée comme trop importante. Aussi, il ne s'agit pas d'une mesure de protection entraînant son lot de servitudes supplémentaires mais d'un programme de réhabilitation. La loi de 1930 sur les sites classés ne prévoyant pas systématiquement de mesures d'accompagnement budgétaire pour assurer la restauration et l'entretien des sites, l'Opération Grand Site va permettre de réunir l'ensemble des partenaires concernés : collectivités territoriales, services de l'Etat, gestionnaires et utilisateurs. À ce titre, l'étude des OGS permet d'affiner la question de la gouvernance des espaces protégés en observant les arbitrages effectués (et l'évolution de ces derniers) entre les impératifs de protection et des projets de développement, essentiellement touristiques. Cette entrée conduit également à déconstruire ce que doit être un espace protégé connaissant une forte fréquentation touristique et à analyser des processus de diffusion/réappropriation d'injonctions nationales/internationales en matière de développement durable à une échelle locale.

Ces problématiques ont plus particulièrement été investies à l'échelle du Sud de l'Ardèche où deux espaces situés à proximité ont fait l'objet de telles opérations : le pont d'Arc et les gorges de l'Ardèche d'une part, l'aven d'Orgnac d'autre part. Dans les gorges, deux OGS ont été successivement lancées (1994, 2012), la seconde ayant comme objectif de dépasser les blocages observés lors de la première. En effet, alors que la première OGS a permis de financer des actions de réhabilitation dans la réserve naturelle et sur la route touristique, peu d'initiatives ont abouti au niveau du

pont d'Arc situé à l'amont de la réserve. Et pour cause, c'est là que se concentrent les enjeux économiques, fonciers et paysagers. Depuis, un projet d'inscription au patrimoine mondial de l'Unesco de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (espérée en 2014), elle-même localisée dans la combe d'Arc, vient complexifier la donne et amène les acteurs à qualifier d'inacceptables les parkings sauvages dans cette combe et les embouteillages estivaux (Malgat, Duval, sous presse). La relance d'une seconde OGS vise dès lors à réhabiliter cette seule combe et à lui donner un aspect conforme à « ce que doit être » un espace protégé candidat à l'inscription au patrimoine mondial, dans la mesure où celui-ci se trouve être l'écrin de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, contenant à ce jour les plus vieilles images de l'Humanité.

Dans le même temps, à quelques kilomètres de là, l'aven d'Orgnac a bénéficié d'une telle opération, dont la rapidité d'exécution contraste avec celle des gorges. En 1996, la commune qui possède et exploite le site annonce son intention de lancer de grands travaux de rénovation ; comme l'aven est classé, ces travaux doivent recueillir l'autorisation des services de l'Environnement, lesquels saisissent l'opportunité pour lancer une OGS (signature de la convention en 2000). Les travaux assez rondement menés aboutissent à l'inauguration du site rénové en 2003, puis à l'obtention du label Grand Site de France en 2004, lequel vient certifier la qualité de la réhabilitation effectuée.

La mise en perspective de ces deux OGS permet tout à la fois d'analyser les limites de la concertation en matière de réhabilitation des espaces protégés, mais également d'observer des glissements dans la finalité des OGS, avec notamment des effets de télescopage avec le projet d'inscription au patrimoine mondial de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Sur le plan touristique, les recherches sur l'obtention du label Grand Site de France conduisent également à approfondir la question des effets retours des opérations de réhabilitation dans les processus de distinction/différenciation des espaces protégés.

La production sur des thématiques diverses, l'étendue des terrains d'étude ont contribué à la visibilité du laboratoire sur cet objet devenu emblématique. Elles nécessitent désormais d'être replacées dans un cadre scientifique, d'actions et de collaborations, mais aussi de méthodes mises en œuvre.

II - EDYTEM ET LES ESPACES PROTÉGÉS : FAISCEAUX DE COLLABORATIONS ET VISIBILITÉ

Comment identifier les compétences d'un laboratoire sur un champ d'étude ? C'est cette question qui a présidé à la construction de cette deuxième partie. Pour y répondre, nous proposons de scinder par commodité deux volets largement complémentaires : d'une part, la dimension scientifique de l'activité de recherche, traduite dans les colloques, les confé-

rences invitées, les évaluations d'articles, l'expertise de projets de recherche ; d'autre part, servie par cette approche scientifique et permettant en retour de la faire mûrir, le champ de l'expertise et la participation institutionnelle (conseils scientifiques d'espaces protégés, participation à des formations, restitution aux acteurs locaux).

1 - Une reconnaissance scientifique accrue dans le champ des espaces protégés

a - Quelques communications dans des colloques marquants

Il n'est pas possible de mentionner au sein de ce chapitre l'ensemble des participations à des colloques. Nous n'avons donc retenu que les colloques internationaux, ceux qui ont regroupé une délégation significative d'EDYTEM et ceux qui ont impliqué, en termes d'organisation, des chercheurs du laboratoire. C'est le cas du colloque international du 30^e anniversaire de l'AFEC (*Association Française d'Études Canadiennes*) (8 au 10 juin 2006) sur le thème *Parcs nationaux et régionaux, grands espaces et nature sauvage au Canada et en France*, dont la conférence introductive a été prononcée par Stéphane Héritier et qui a donné lieu à des actes (Héritier, 2009) retenant les textes de ce dernier et de L. Laslaz.

A l'international, le colloque *ACES 2011, Conservation Conflicts: strategies for coping with a changing world*, organisé une fois tous les deux ans à Aberdeen par l'*Aberdeen Centre for Environmental Sustainability*, du 22 au 25 août 2011 a sélectionné, parmi les 105 communications, celles de L. Chanteloup et de L. Laslaz, deux des six Français au sein des 200 participants d'une trentaine de nationalités.

Les recherches conduites sur les sites d'art rupestre sud-africains dans les espaces protégés se sont traduites par des communications dans des colloques internationaux ciblés sur les problématiques archéologiques du continent africain, permettant d'asseoir les collaborations avec les partenaires internationaux travaillant sur ces terrains (*Association Panafricaine d'Archéologie et Disciplines Associées*, 20^e Réunion - *Société des Archéologues Africanistes*, Préservation du Patrimoine Culturel Africain, Dakar, Sénégal, novembre 2010 ; *The Society of Africanist Archaeologists (SAfA) 11th Biennial conference - Exploring Diversity, Discovering Connection*, Toronto, Canada, juin 2012). Un colloque international organisé par l'Unesco a abordé les espaces protégés dans le contexte spécifique des sites inscrits au patrimoine mondial de l'Unesco (*Living with world heritage in Africa, 40th celebrations of UNESCO's declaration of WHS*, Johannesburg, South Africa, septembre 2012).

A l'échelle nationale, on peut retenir deux grandes manifestations récentes : le colloque *Patrimonialiser la nature : valeurs et processus* qui s'est déroulé à Pau des 7 au 9 septembre 2011 et a compté parmi ses 80 participants, Français et Espagnols pour l'essentiel, trois représentants du laboratoire, M. Duval, S. Héritier et L. Laslaz. Un colloque très bien organisé, de bon niveau, dont les revues retenues pour publier les textes sélectionnés (notamment *Vertigo* et

L'Espace Géographique) permettent une valorisation très satisfaisante.

Enfin, le colloque *Labellisation et mise en marque des territoire* (CERAMAC, Clermont-Ferrand, du 8 au 10 Novembre 2011) a accueilli les communications portées par C. Gauchon d'une part, et Charlotte Malgat et M. Duval d'autre part, qui ont abordé les effets de labellisation induits par les procédures de classement des espaces protégés, que ce soit dans le cadre des parcs naturels régionaux (le rôle des toponymes dans la labellisation avec l'exemple du PNR des Baronnies) ou des sites candidats à l'inscription au patrimoine mondial par l'Unesco (les effets locaux d'une course à la labellisation Unesco dans le projet grotte Chauvet-Pont d'Arc).

b - Participation à des conseils scientifiques de colloques

Les membres du laboratoire ont été également sollicités pour le travail d'expertise des propositions de communications qui relèvent des conseils scientifiques des colloques ; dans la foulée de ces derniers, l'évaluation des textes avant publications des actes du colloque constitue une des charges attenantes. Ainsi, L. Laslaz a fait partie du conseil scientifique du colloque international *BiodiverCities, Enjeux et stratégies de gestion durable des aires protégées urbaines et périurbaines au Nord et au Sud* (Paris, Institut d'Études Politiques, 6-8 septembre 2010) pour lequel il a assuré la co-rédaction de la conclusion des actes (Landy, Laslaz, 2012). Organisé par l'*Institut Libertas* et le Laboratoire GECKO (EA 375, devenu depuis MOSAÏQUES) de l'Université de Paris Ouest-Nanterre-La Défense, dans le cadre du programme de recherche (ANR UNPEC - *Urban National Park in Emerging Countries* - coord. F. Landy) et du Réseau *Aires Protégées Urbaines*, le colloque, étape de rencontres qui se tiennent tous les deux ans (les dernières ont eu lieu à Rio de Janeiro en octobre 2012), disposait d'une forte dimension internationale associant gestionnaires et chercheurs travaillant sur les espaces protégés urbains des Nord (Etats-Unis et Europe, notamment) et des Sud (Inde, Kenya, Afrique du Sud, Brésil, entre autres).

Le colloque international *Géographie, écologie, politique : un climat de changement ?* (Orléans, 6-8 septembre 2012) organisé par le Laboratoire CEDETE (Université d'Orléans) et l'IRD s'appuyait sur les différents laboratoires de géographie travaillant sur les questions d'environnement en France. Une procédure originale qui avait permis de multiplier les financements et de faire un comité d'organisation et scientifique multi-laboratoires associant ADES, SET, GECKO, PALOC, GRED, TEVS, EVS, LADYSS, PACTE, CEDETE et EDYTEM. Ce colloque a eu comme vertu de conforter certains partenariats et actions communes conduites par EDYTEM avec d'autres laboratoires (Figure 4).

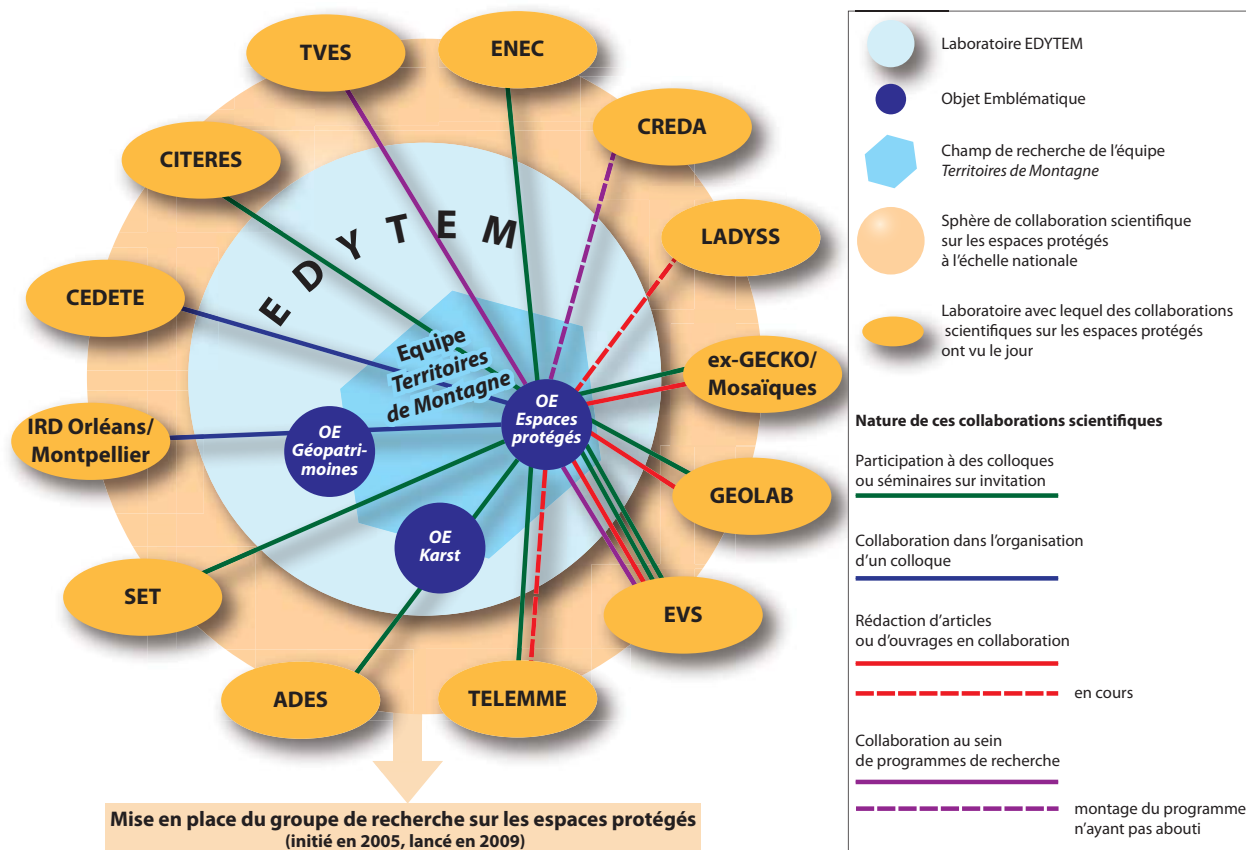


Figure 4 - Les espaces protégés dans un faisceau de collaborations au sein du laboratoire EDYTEM et d'autres laboratoires de géographie en France (L. Laslaz, 2013).

Enfin, S. Héritier a également été sollicité en tant que membre du conseil scientifique pluridisciplinaire du colloque international intitulé *La naturalité en mouvement : environnement et usages récréatifs en nature. Le sauvage est-il une dimension forte des pratiques récréatives actuelles et à venir ?*, et organisé par le Cermosem et l'UMR PACTE (20-22 mars 2013, Le Pradel, Ardèche). Ce colloque a concentré la réflexion sur l'évolution des pratiques nécessitant de reposer les paradigmes concernant la place de la nature dans les sociétés contemporaines et celle du sauvage dans ces pratiques récréatives. C. Perrin-Malterre est aussi intervenue dans le cadre des ateliers.

c - Des conférences invitées à l'international

Ces sollicitations soulignent la reconnaissance du travail conduit par le laboratoire sur la thématique et sa visibilité à l'international. Deux exemples, parmi d'autres, peuvent l'illustrer.

Le congrès international sur l'histoire et l'avenir des parcs nationaux européens *One hundred years of European and Italian national parks. History,*

problems and prospect, Conference on European national parks), organisé par L. Piccioni avec le parc national de Sila et l'Université de Calabre s'est tenu des 11 au 13 février 2010 en Calabre (Italie). Pour donner corps à une remise en perspective européenne des parcs italiens, le colloque regroupait des chercheurs italiens, suisses, britanniques, suédois et français, dont L. Laslaz (*French National Parks : from historical delay to european model ?*). Il s'est révélé très riche par la diversité des situations exposées et par l'immersion dans le contexte des parcs nationaux italiens, en proie à de lourdes difficultés de financement et de fonctionnement.

Sous une autre forme, les recherches conduites sur les sites d'art rupestre dans les espaces protégés ont donné lieu à une conférence à l'*Origins Centre*, université de Witwatersrand, Johannesburg (février 2011). Cette présentation des travaux menés dans le massif du Drakensberg a proposé un éclairage avec les dynamiques observées à l'échelle des gorges de l'Ardèche autour de la grotte Chauvet-Pont d'Arc et des grottes ornées environnantes. Elle s'est également accompagnée d'interventions radiophoniques sur les ondes nationales sud-africaines.

d - Des conférences dites de vulgarisation

Les espaces protégés constituent un champ scientifique intéressant le grand public et « facilement » vulgarisable. Par leur pratique des espaces protégés, les auditeurs véhiculent certaines représentations et ont souvent des positionnements très tranchés sur la question. Tout le travail du scientifique réside dans la prise de recul et la remise en perspective de ces derniers, qu'il s'agisse de conférences pour le cycle de l'Université de Savoie *Amphi pour tous*, pour la *Maison des Parcs et de la Montagne* inaugurée en décembre 2006 à Chambéry, ou dans le cadre de *Cafés Géo*. Cette association nationale, disposant d'un site internet annonçant les différents cafés se tenant en France et publiant ensuite leurs comptes rendus, ont ainsi permis à six reprises à des membres du laboratoire d'évoquer la question des espaces protégés.

e - Les évaluations d'articles

La sollicitation d'un chercheur par des revues scientifiques pour une relecture anonyme d'une proposition d'article est un indicateur que le champ de compétence est maîtrisé par ce dernier ; l'augmentation forte, ces dernières années, de ces demandes est un signe de l'intérêt croissant pour les espaces protégés, donnant lieu de plus en plus à des propositions d'articles. Parmi les revues reconnues par l'AERES ayant sollicité des chercheurs du laboratoire pour une évaluation, on peut ainsi compter : *Revue de géographie alpine*, *Mappemonde*, *VertigO*, *Géocarrefour*, *Annales de Géographie*, *Journal of Environmental Management*, *Geografiska Annaler B*, *Journal of Sustainable Tourism*, *Current Issues in Tourism*, *Acta Carsologica*.

f - L'expertise de projets de recherche

Les membres du laboratoire (S. Héritier) ont également été sollicités par des organismes institutionnels pour l'évaluation de projets de recherche français (Agence Nationale pour la Recherche : projet UNPEC évoqué plus haut, accepté) et canadiens (Conseil pour la Recherche en Sciences Humaines : Projet AAP - consacré aux *Aires Protégées privées* ; projet accepté).

2 - Une sollicitation institutionnelle et une reconnaissance en matière d'expertise et de formation

Cette dimension ne nous semble pas secondaire, bien au contraire. Pour un laboratoire, les missions d'expertise et de conseil scientifique, mais aussi de contact avec les acteurs locaux, les gestionnaires d'espaces protégés sont la marque de son ancrage ter-

ritorial et la traduction d'une réflexion scientifique appliquée et en phase avec les réalités de terrain.

a - Une forte présence au sein de conseils scientifiques

La Figure 5 présente l'implication des chercheurs d'EDYTEM dans les instances nationales chargées des questions d'environnement (Conseil National de la Protection de la Nature ; Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie), dans les conseils scientifiques des réserves naturelles (Gorges de l'Ardèche ; ASTERS, Haute-Savoie), des parcs naturels régionaux (Chartreuse, Bauges) et d'un parc national (Vanoise). Deux présidences et deux vice-présidences sont assurées au sein de ces instances. La connaissance fine de ces territoires qui sont aussi des terrains de recherche, la maîtrise des questions relatives à la protection et aux politiques publiques sont ainsi reconnues par ce biais.

b - Des formations sur les espaces protégés

Au-delà des conseils scientifiques, et par le biais de ce dernier, les membres d'EDYTEM ont été impliqués dans plusieurs formations de professionnels de terrain, soit directement des espaces protégés, soit appelés à les faire découvrir dans leur activité professionnelle. Parmi les quelques exemples que nous pouvons mentionner ici, la formation effectuée pour les personnels du parc national de la Vanoise, à la demande de ce dernier, par Xavier Bernier, C. Gauchon, Fabien Hobléa et L. Laslaz en 2007. Celle-ci s'est tenue à Lanslevillard et avait pour thème *Paysage et aménagement en Haute-Maurienne : de la pratique du terrain aux finalités politiques*. La quinzaine de personnels présente a bénéficié d'une approche plurielle de la notion de paysage, déclinée à travers plusieurs thèmes (évolutions législatives et réglementaires, mappe sarde, transports, développement touristique, agriculture). Dans le même esprit, S. Héritier a également été sollicité en 2006 pour participer à un atelier de formation des guides du patrimoine intervenant dans le périmètre concerné par l'inscription du Val de Loire au patrimoine mondial par l'Unesco au titre de Paysages Culturels (formation coordonnée par l'Institut International Fleuves et Patrimoine de Saumur).

c - L'information, la concertation et la restitution auprès des acteurs locaux

En 2005-2006, la direction régionale de l'Environnement confia au laboratoire EDYTEM le dossier de classement des grottes de Choranche. Cette commande se rattachait à la conduite d'un dossier de candidature de 19 grottes françaises au patrimoine mondial, ce qui supposait que chacun de ces sites bénéficie au préalable d'une protection efficace. Or

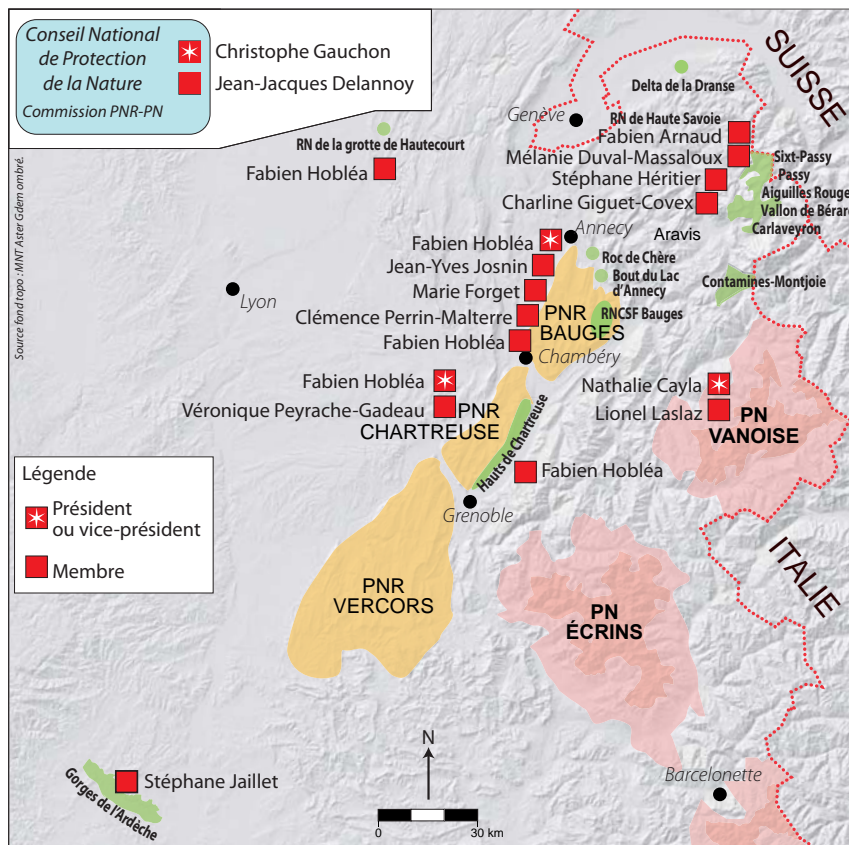


Figure 5 - Implication des membres d'EDYTEM dans les conseils scientifiques d'espaces protégés.

les grottes de Choranche, haut lieu du tourisme dans le massif du Vercors et grand réseau karstique investi par la recherche scientifique au moins depuis les années 1960, ne font l'objet d'aucune mesure réglementaire ni contractuelle (Gauchon et al., 2006). Le projet de classement au titre des sites naturels comportait bien sûr un volet scientifique, mais aussi un travail de concertation avec les acteurs du territoire qui ont rapidement fait entendre leur désaccord : animation des comités de pilotage souvent houleux, réunions d'information, et surtout rédaction avec les acteurs concernés des cahiers de gestion qui devaient fixer les orientations pour toutes les activités (agriculture, élevage, activités physiques de pleine nature, activités résidentielles...) une fois que le site serait classé. Certes, nous étions aux premières loges pour observer un conflit environnemental, mais pas forcément dans la position la plus confortable. EDYTEM rendra le dossier préconisant le classement des réseaux et du plateau sus-jacent. Finalement, le climat très tendu et l'échec de la candidature auprès de l'Unesco aboutiront à l'abandon (provisoire ?) de ce projet de classement.

En outre, les recherches conduites sur les différents espaces protégés s'accompagnent de restitutions auprès des acteurs locaux impliqués dans la gestion de ces derniers. Sans être automatique, l'organisation de tels moments d'échanges dépend des collaborations mises en place et des attentes des acteurs, lesquels sont demandeurs ou non de tels

retours. Cette volonté d'échanger avec les scientifiques varie selon les acteurs et le caractère conflictuel de l'espace protégé investi, selon le mode de financement des travaux de recherche mais également selon les cultures d'entreprise : à ce titre, les anglo-saxons s'avèrent être plus friands de tels retours que leurs homologues français. Ainsi, les travaux conduits sur les sites d'art rupestre du massif du Drakensberg ont fait l'objet d'une dizaine de présentations (entre février 2009 et février 2010) auprès des différents acteurs investis dans la gestion du bien inscrit au patrimoine mondial par l'Unesco, lesquels, sans être pourtant financeurs du projet de recherche, ont suivi de près l'évolution du projet et les résultats obtenus. À l'échelle nationale, les recherches conduites sur les espaces protégés du sud-Ardèche ont fait l'objet d'une conférence grand public donnée par C. Gauchon et M. Duval sur les *Grands sites et Classements UNESCO* (Conférence organisée par les Amis de l'Histoire de la Région de Vallon, en partenariat avec la Municipalité de Vallon-Pont-d'Arc et les Amis du Musée de Préhistoire d'Ornac, le 27 avril 2012). Celle-ci est revenue sur l'OGS des gorges de l'Ardèche et le projet d'inscription au patrimoine mondial par l'Unesco de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, avec comme objectif une mise en perspective des choix effectués par les acteurs territoriaux dans ces deux dossiers avec d'autres configurations territoriales (autres OGS françaises ; autres sites d'art rupestre inscrits au patrimoine mondial de

l'Unesco). Les réflexions développées sur l'inscription Unesco ont donné lieu à une publication dans *Ardèche Archéologie* n° 30 (Duval, Gauchon, 2013).

Il résulte de cette partie une multitude de méthodes et des situations favorisant l'approche des espaces

protégés dans des contextes très différents, l'implication sur le terrain, et une multiplicité de médias et de supports afin de restituer les travaux conduits. Un focus sur un certain nombre d'entre eux guidera la dernière partie.

III - QUELQUES RÉALISATIONS MAJEURES DU LABORATOIRE AUTOUR DES ESPACES PROTÉGÉS

Passer en revue l'ensemble des publications et recherches n'est pas envisageable dans le cadre de ce chapitre ; cette partie insiste donc principalement sur les actions collectives ayant impliqué plusieurs membres du laboratoire tout en permettant d'accroître sa visibilité nationale sur cet objet.

1 - Un des premiers colloques français sur la thématique des espaces protégés

Le colloque *Espaces protégés, acceptation sociale et conflits environnementaux* (16-18 septembre 2009) naît de la nécessité de regrouper les chercheurs travaillant sur les espaces protégés, en identifiant comme pertinente et novatrice l'entrée par les conflits, déjà développée dans certains travaux (Depraz, 2005 ; Laslaz, 2005) et surtout celle autour de l'acceptation sociale, beaucoup plus marginale dans les approches. Structuré autour de deux jours en salle entourant une journée de sortie sur le terrain (90 participants), le colloque a rencontré un grand succès en raison du nombre de participants (106, hors comité d'organisation) et du nombre de communications (47 communications effectuées au final sur 105 résumés de communications reçus, 62 retenus pour l'oral et 26 sous forme de posters). Un comité scientifique de 14 membres a été constitué et a permis une double lecture anonyme des résumés puis des textes sélectionnés à l'issue du colloque. Le premier volume des actes de colloque (25 textes) paraît très rapidement (juillet 2010) dans la Collection EDYTEM (n°10), en dépit d'un copieux travail d'évaluation. Le deuxième volume a fait l'objet d'attention de la part de Rémy Knafou à qui il fut soumis. Directeur de la collection *Mappemonde* chez Belin, ce dernier a demandé une réécriture de l'ouvrage afin qu'il ne s'apparente pas à des actes de colloque, mais bien à un ouvrage collectif. Des introductions ont été rédigées pour les 5 parties et les introduction et conclusion générales ont fait du liant entre les 18 textes retenus après le même processus d'évaluation que pour le précédent. Il paraîtra en septembre 2014 (Laslaz *et al.*, à paraître). Au final, 43 textes ont été publiés à l'issue d'un processus de sélection long et très pointu, permettant d'assurer une grande qualité dans les écrits qui résultent de ce colloque, dont l'autre vertu fut de regrouper des chercheurs travaillant sur le même thème et ne se connaissant jusqu'alors pas (ou peu).

2 - L'initiative d'un Groupe de Recherche sur les Espaces Protégés

Le colloque a été l'occasion d'initier la création du Groupe de Recherche sur les Espaces Protégés, dont la proposition avait été faite par L. Laslaz lors de sa soutenance de thèse (décembre 2005). A l'issue d'une première réunion à Chambéry en 2008, regroupant 8 personnes, il avait été décidé de l'instituer lors du colloque évoqué dans le paragraphe précédent. Un compte rendu de cette réunion avait été diffusé à toutes les personnes intéressées par la perspective, mais ne pouvant être présentes lors de celle-ci. Dans l'optique de la constitution du groupe, des statuts avaient été rédigés et soumis à l'Assemblée Générale constitutive qui s'est tenu le premier jour du colloque, en septembre 2009 avec les 61 chercheurs intéressés. Le temps imparti, très court, et les discussions sur les statuts, n'ont pas permis d'avancer suffisamment ; la constitution du groupe dans le cadre d'un colloque, déjà très chargé sur trois jours, s'est ainsi avérée infructueuse. Si le colloque offrait l'opportunité de réunir la majeure partie des chercheurs intéressés par le projet, il faudra trouver une autre occasion pour le constituer, les tentatives effectuées lors de colloques suivants auprès des organisateurs s'avérant non suivies d'effets. Le but demeure de créer une association pluridisciplinaire, au fonctionnement souple, basé sur les échanges et la connaissance réciproque, à la présidence tournante entre les membres des différents laboratoires adhérent.

3 - Des publications majeures fédérant les chercheurs français et accroissant la visibilité du laboratoire

L'activité de recherche a gagné de la visibilité par la publication de l'ouvrage *Les parcs nationaux dans le Monde* (2008, Ellipses), initié par S. Héritier et L. Laslaz. Cette opération a permis de regrouper de 2006 à 2008 autour d'un projet collectif une partie des géographes français ou étrangers (13 au total) travaillant sur les espaces protégés, certains d'entre eux acceptant cette participation alors qu'ils œuvraient dans le même temps sur un ouvrage individuel (Depraz, 2008) ou collectif (Aubertin et Rodary, 2008). Les onze textes composant l'ouvrage ont fait l'objet d'une

relecture par un comité de lecture (15 membres) en plus de celle des deux coordinateurs. C. Gauchon était le troisième membre d'EDYTEM impliqué par le biais d'un chapitre sur le parc national du Triglav. Cette collaboration s'est poursuivie dès la fin 2009 avec la mise en place du projet d'*Atlas mondial des espaces protégés*, paru en septembre 2012 chez Autrement. Le choix des auteurs (l'éditeur ne souhaitant pas dépasser 4) et du contenu de l'ouvrage, la priorisation d'autres atlas par Autrement et le changement de format de la collec-

tion (refonte de la maquette, passage de 80 à 96 pages) expliquent cette parution tardive par rapport aux premières ébauches du projet. Outre, pour EDYTEM, L. Laslaz comme directeur et S. Héritier, l'atlas a associé S. Depraz et Sylvain Guyot. Non spécialistes de tous les cas développés dans les 35 doubles pages de l'atlas, les auteurs ont réitéré la constitution d'un comité de lecture de 12 membres dont des spécialistes des aires concernées (Madagascar, Himalaya, Brésil, Maroc...).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

LES ESPACES PROTÉGÉS COMME OBJETS À PART ENTIÈRE

Il nous appartient ici de tracer les horizons de ce que pourrait être une poursuite de l'analyse des espaces protégés à EDYTEM. Sans prétendre à une couverture exhaustive et bien illusoire des axes de recherche, nous pouvons dégager de manière réaliste quelques pistes, stimulantes et fédératrices, qui pourraient être envisagées dans les années qui viennent, notamment dans le prochain contrat quinquennal. Aucune d'entre elles n'est gravée dans le marbre, car dans le jeu des rencontres, des opportunités, des bifurcations des centres d'intérêt, toute trajectoire de recherche n'est jamais fermée. D'un des éléments constitutifs des territoires de montagne, observés au même titre que les objets touristiques (stations de sports d'hiver) ou patrimoniaux, les espaces protégés sont devenus un thème fédérateur au sein de l'équipe *Territoires*, sujet d'attention scientifique et de la part du grand public, en lien avec les évolutions de leur gouvernance. Ils sont aussi devenus un objet permettant des collaborations avec d'autres laboratoires sans doute plus facilement, en dépassant le cadre d'étude habituel de chacun (montagne, littoral, urbain, types d'espaces protégés) pour réfléchir conjointement sur l'objet spatial à proprement parler.

1 - Ce qu'EDYTEM a apporté à la recherche sur les espaces protégés

Outre l'expertise spécifique sur les espaces protégés de montagne, marque de fabrique du laboratoire, quelques points saillants des apports de ce dernier à la recherche sur les espaces protégés peuvent être identifiés :

- l'analyse des activités qui se déploient en leur sein (agropastoralisme, tourisme...) soulevant les questions de la compatibilité et des interactions qu'elles entretiennent ;
- les questionnements relatifs à la fréquentation touristique des espaces protégés et aux moyens mis en œuvre pour la juguler (Laslaz, 2005 a et 2011 a ; Duval, 2005 et 2007) ;
- l'inscription des dynamiques territoriales des

espaces protégés dans des logiques multiscales (stations de sports d'hiver des zones périphériques des parcs nationaux, évolutions législatives nationales, recommandations européennes, etc.) ;

- le caractère fédérateur de la protection vu comme un outil de pacification sociale (Héritier, 2004, 2010) ;
- la conflictualité des mesures de protection qui, *a contrario* du cas précédent, regroupent les mécontentements et s'avèrent les boucs émissaires de certaines formes de contestations.

2 - Les espaces protégés dans une perspective plus large de géographie politique de l'environnement

Ces analyses soulignent combien les espaces protégés se révèlent être des *espaces prétextes* et des *espaces catalyseurs* des tensions sociales, mais aussi des valeurs qui leur sont accordées. De ce point de vue, les analyses sur les conflits environnementaux doivent être poursuivies ; les ressorts de l'acceptation sociale (Depraz, 2005 ; Laslaz, 2005), très peu étudiés en géographie, ont révélé, grâce au colloque organisé en 2009 et mentionné en partie III, l'étendue des perspectives de recherche qu'ils sous-tendent. Par exemple, la notion de légitimité, questionnée par C. Gauchon (*in* Laslaz et al., à paraître), est sous-jacente dans bon nombre de conflits et mérite d'être creusée. De même, les modalités de la mobilisation pour ou contre un espace protégé et/ou les mesures conduites en son sein méritent d'être largement décortiquées. Enfin, l'identification des moteurs de la conflictualité, qu'il s'agisse des héritages toujours pesants ou des événements spatiaux les plus récents, est nécessaire. Dans ce domaine, l'apport de l'éthique des individus et des groupes mobilisé par C. Tollis (2012) permettra sans doute une fécondation prometteuse des recherches jusqu'alors entreprises.

Le champ de la participation (Laslaz, dir., 2010 ; Héritier, 2010), identifiée comme une panacée censée résoudre, voire prévenir, en amont les problèmes, est aussi porteur de perspectives de compréhension plus

fine des difficultés de mise en œuvre des territoires préservés. Les questions de gouvernance demeurent centrales tant dans l'actualité que dans la manière dont les chercheurs pourront s'en saisir pour cerner ses mécanismes et favoriser, de manière appliquée, l'émergence de solutions pour «faire-avec» (Tollis, 2012).

3 - Les espaces protégés et l'articulation aux autres objets emblématiques et thèmes du laboratoire

L'objet emblématique Espaces Protégés s'articule avec les autres objets emblématiques du laboratoire, que ce soit d'un point de vue spatial et/ou thématique. Ainsi, des zones de recouvrement existent avec les espaces investis dans l'OE Karst : à titre d'exemple, les recherches conduites à l'échelle des gorges de l'Ar-dèche alimentent ces deux objets emblématiques de manière complémentaire et pose en filigrane la question d'une spécificité des espaces protégés situés dans des massifs karstiques. Dans le même ordre d'idée, des liens existent avec l'OE Haute Montagne ou encore avec l'OE Lacs de Montagne, ne serait-ce qu'en raison de la localisation d'espaces protégés à haute altitude (parcs nationaux, réserves naturelles, etc.) et/ou de la présence de lacs de montagne en leur sein. Pour autant, les croisements de l'OE espaces protégés avec les OE Haute Montagne et Lacs de montagne sont jusqu'à présent restés secondaires dans les activités de recherche des membres du laboratoire, non par manque d'intérêt mais par défaut de forces vives. Le développement et le renforcement de passerelles entre ces différents OE est une des perspectives de développement de l'OE Espaces Protégés dans les années à venir.

Sur un plan davantage thématique, des passerelles existent également avec l'OE Géopatrimoine, avec des questionnements similaires sur les relations entre les logiques de protection des espaces et les processus de patrimonialisation, avec la question du statut patrimonial des objets géographiques. Les modalités d'articulation entre les deux entrées que sont protection et patrimonialisation, qu'il s'agisse de processus de substitution, d'effets retours ou de dynamiques cumulatives, sont quelques-uns des éléments abordés dans ces deux OE : alors que l'OE Géopatrimoine met résolument l'accent sur les espaces ayant des propriétés géologiques et géomorphologiques socialement jugées comme étant remarquables, l'OE Espaces Protégés s'intéresse *a priori* à tout type d'espace.

4 - Perspectives de recherche

Les perspectives de recherche sont principalement de trois ordres, qui viendront comme objectifs du prochain contrat quinquennal.

a - La comparaison entre les espaces protégés de montagne et d'autres milieux (monuments historiques, littoraux, urbains)

La première d'entre elles vise à déployer les compétences de recherche et l'expertise sur d'autres terrains : S. Héritier a engagé des recherches au cours de l'année 2013 au Mexique (Programme ANR SELINA - *Parque Nacional Nevado de Toluca: a Socio-Environmental Laboratory for policy Innovation in National park management/Parc National Nevado de Toluca : "un laboratoire socioenvironnemental pour des innovations politiques dans la gestion de parcs nationaux"*), et est appelé à développer ses thématiques de recherche, notamment sur les Autochtones, en Nouvelle-Zélande et en Australie. L'apport de Camille Girault au laboratoire comme membre associé et les premières recherches conduites par L. Laslaz en Islande visent à développer comme nouveau terrain l'Europe du Nord (Finlande, Suède, Norvège, en plus du pays sus-cité). En effet, les représentations collectives et certaines données chiffrées font des pays d'Europe du Nord des États modèles en terme de protection de l'environnement. Au-delà de l'affichage, il convient de gratter le vernis des apparences pour mesurer la réalité de ces politiques, comprendre le fonctionnement de leurs espaces protégés et les raisons de leur supposé succès.

Au-delà de la diversification des contextes nationaux, c'est bien par l'étude de milieux différents que la compréhension des espaces protégés éclairera celle de ceux situés en montagne. Ainsi, le choix de travailler sur les espaces protégés urbains (Landy, Laslaz, 2012) qui conduit au projet de thèse de C. Girault est double : d'une part, suivre le mouvement d'intérêt pour la gestion de ces espaces protégés métropolitains étudiés depuis plusieurs années dans les pays des Sud (Rio de Janeiro, Mumbai, Nairobi, Le Cap), notamment en France grâce aux travaux de Lézy-Bruno et de Landy (Laboratoire *Mosaïques*), en le transposant dans les États anciennement industrialisés et dans des contextes de développement socio-économique élevé. D'autre part, comprendre le fonctionnement de ces espaces protégés en milieu urbain afin de le remettre en perspective vis-à-vis des pressions urbaines proches autour de l'aménagement pour les sports d'hiver dans les Alpes, par exemple. Si les contextes ne sont pas les mêmes, les similitudes poussent à s'interroger sur la place des espaces de nature dans les sociétés nordiques. La comparaison à l'échelle européenne s'avère en outre particulièrement porteuse, et à ce jour, outre la Slovénie (et la Crète en cours de traitement), a peu été conduite au sein du laboratoire.

b - L'espace protégé comme objet spatial à modéliser

Le deuxième champ de recherche à explorer vise à dépasser l'idiographique pour tenter d'établir du nomo-

thétique. La multiplication des études de cas et des analyses par le laboratoire EDYTEM doit permettre l'élaboration d'une représentation graphique modélisée des espaces protégés avec leurs dynamiques, leurs tensions et leurs insertions dans des logiques territoriales globales. Les modélisations déjà effectuées pour les parcs alpins (Laslaz, 2010) méritent d'être étendues aux espaces protégés de manière générale. Cela offrirait plusieurs vertus : pouvoir établir des caractéristiques transversales à l'ensemble des espaces protégés, identifier des dynamiques territoriales convergentes, ce qui n'empêche pas de distinguer d'autres qui seraient divergentes, en fonction des contextes de développement, des pressions urbaines, des logiques de peuplement. Les ressources exploitées en leur sein, le rôle des limites, la diversité des usages occuperaient ainsi une place centrale dans les analyses et schématisations mises en œuvre. Elles auraient pour objectif d'identifier des lois générales en évitant l'écueil d'une simplification outrancière.

c - Les valeurs autour de la protection

La notion de valeur est au cœur de l'ensemble des politiques de protection, puisque celles-ci sont fortement conditionnées par les contextes sociaux et culturels dans lesquels elles sont mises en œuvre (Laslaz, 2012). « *Ensemble des principes moraux et éthiques qui, dans une société ou une de ses composantes, définissent les critères du désirable et oriente l'action de ses membres* » (Guédez, in Lévy, Lussault, 2003), cette notion a été peu interrogée par les géographes, Michel Lussault proposant dans le même ouvrage l'idée de « *valeur spatiale (ensemble des qualités socialement valorisables d'un espace)* » peu reprise à ce jour. Elle semble pourtant féconde et mérite d'être creusée dans le cadre d'une géographie politique de l'environnement soucieuse des grandes évolutions épistémologiques de la discipline.

Cette entrée par les valeurs permettrait notamment d'approfondir les liens entre les politiques de protection et les processus de patrimonialisation

(Duval, 2013). La patrimonialisation de la nature diffère de la protection de l'environnement dans le sens où elle dépasse un seul cadre réglementaire pour exprimer un triple processus de sélection, de qualification et d'appropriation (Di Méo, 2008 ; Lazzarotti, 2003) par lequel l'objet et/ou l'espace patrimonialisé se voit conférer des valeurs sociales et symboliques, et devient ce qu'il s'agit de transmettre. Le champ de la protection de l'environnement renvoie, quant à lui, à une démarche avant tout institutionnelle où des espaces protégés peuvent être décrétés en vue de satisfaire différentes finalités (préservation des propriétés environnementales dans une logique de services écologiques, maintien des conditions de renouvellement des ressources naturelles en vue de garantir la pérennité des usages, encadrement de la fréquentation touristique, contrôle territorial, etc.).

L'analyse des liens entretenus entre le registre de la protection de l'environnement et celui de la patrimonialisation de la nature nécessite une contextualisation des dynamiques territoriales, autrement dit une approche à la fois diachronique et synchronique. Alors que dans certains cas de figure, la patrimonialisation de la nature peut précéder l'adoption de mesures de protection, lesquelles sont alors pensées comme un moyen de garantir la transmission du bien patrimonialisé dans le temps (Duval, 2005, 2008 à propos des gorges de l'Ardèche), les valeurs patrimoniales peuvent survenir *a posteriori*, exprimant un changement de regard sur l'espace protégé et des processus d'appropriation sociale (Duval, Gauchon, 2010, à propos des géopatrimoines). Tout l'enjeu réside dans la compréhension de ces articulations, entre moyens et objectifs. Aussi, l'entrée par les valeurs et les finalités qui leur sont associées permettrait d'approfondir les jeux de dialogue entre la protection de l'environnement et la patrimonialisation de la nature, avec comme objectif d'interroger la place du registre patrimonial dans la création, le renouvellement et la durabilité des espaces protégés.

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie ne comporte que les doctorats, HDR, ouvrages, articles et chapitres d'ouvrages. Elle exclut les articles de vulgarisation et les nombreux mémoires de Master traitant des espaces protégés, qui ont nourri la réflexion des différents membres du laboratoire.

Thèses et HDR soutenues au laboratoire EDYTEM

CHANTELOUP E., 2013 b. A la rencontre de l'animal sauvage : dynamiques, usages et enjeux du récréotourisme faunique. Une mise en perspective franco-canadienne de trois territoires : Bauges, Gaspésie, Nunavut. Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 441 p.

CIERNA-PLASSMANN M., 2010. La haute valeur naturelle : un concept intégrateur de la biodiversité et de l'agriculture de montagne. Application aux parcs nationaux de Mala Fatra (Slovaquie) et des Écrins (France). Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 408 p.

DOUMIT L., 2007. La valorisation du patrimoine endokarstique libanais. Thèse de doctorat en Géographie, Université de Savoie et Université Saint-Joseph, Beyrouth, 280 p.

- DUVAL M., 2007. Dynamiques spatiales et enjeux territoriaux des processus de patrimonialisation et de développement touristique. Etude comparée des gorges de l'Ardèche et du Karst slovène. Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 516 p.
Accessit prix de thèse ASDRLF 2008
- GAUCHON C., 2010. Tourisme et patrimoines. Un creuset pour les territoires ?. HDR en géographie, Université de Savoie, texte de synthèse, 211 p.
- HÉRITIER S., 2002. Environnement et patrimoine, tourisme et aménagement dans les Parcs Nationaux des montagnes de l'Ouest canadien (Banff, Jasper, Yoho, Kootenay, Lacs Waterton, Mont Revelstoke, Glaciers). Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 380 p.
Sélectionné prix de thèse CNFG
- LASLAZ L., 2005 a. Les zones centrales des Parcs Nationaux alpins français (Vanoise, Écrins, Mercantour) : des conflits au consensus social ? Contribution critique à l'analyse des processus territoriaux d'admission des espaces protégés et des rapports entre sociétés et politiques d'aménagement en milieu montagnards. Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 2 vol., 644 p.
Sélectionné prix de thèse CNFG et Prix de la meilleure thèse sur les territoires de montagne, désigné par le Comité Scientifique de la Montagne en 2009
- PASQUIER J., 2011. Processus de patrimonialisation des sites religieux dans les espaces protégés de montagne : La Grande-Chartreuse (Préalpes françaises) et la Vallée de la Qadisha-Forêt des Cèdres de Dieu (Nord-Liban). Thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie, 408 p.
Prix de thèse CNFG 2011
- Articles et ouvrages des membres du laboratoire EDYTEM**
- BERNIER X., 2003. Transports, parcs nationaux et parcs naturels régionaux : les interactions entre les objectifs de l'accessibilité, de la protection et de l'aménagement. *Revue de géographie alpine*, 91, 2, 27-40.
- CHANTELOUP E., 2012 a. Sensibiliser le public aux enjeux touchant le caribou des bois : les actions du parc national de la Gaspésie. *La Revue de l'AQIP : L'interprétation du patrimoine*, 27-32.
- CHANTELOUP E. 2012 b. Le caribou de la Gaspésie : richesse collective ou simple élément naturel ? SEPAQ, *Bulletin de conservation*, 2012-2013, 43-46.
- CHANTELOUP E., 2013 a. Entre patrimonialisation et mise en valeur touristique de la faune sauvage : l'exemple d'une ressource patrimoniale en sursis, le caribou de la Gaspésie. In DUVAL M., PEYRACHE-GADEAU V., OUDADA M. (dir.), Ressources patrimoniales et alternatives touristiques. Entre Oasis et Montagne. *Collection EDYTEM*, 14, 131-142.
- CHANTELOUP E., 2013 c. Du tourisme de chasse au tourisme de vision, l'expérience touristique de la faune sauvage - l'exemple de la réserve faunique de Matane (Québec). *Téoros*, 32, 1 ; <http://teoros.revues.org/240>
- DELANNOY J.-J., BOCHEÉ., CAILHOLD., COUCHOUD I., CHALMINÉ., DRYSDALE R., DUVAL M., DZIKOWSKI M., GAUCHON C., HOBLÉA F., JAILLET S., LIGNIER V., MALGAT C., NEHMÉ C., PERRETTE Y., POULENARD J., QUIERS M., SADIÉ B., 2014. L'objet emblématique Karst, paysages, mémoires de l'environnement et des hommes : dix années de recherches au laboratoire EDYTEM. In ASTRADÉ L., DELANNOY J.-J. (dir.), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 49-82.
- DUVAL M., 2005. La réserve naturelle des gorges de l'Ardèche : mobilisation et évolution des logiques de patrimonialisation dans une perspective de développement durable. *Mosella*, 30, 1-4, 259-274.
- DUVAL M., 2008. Patrimonialisation et mise en tourisme des espaces naturels : l'exemple des gorges de l'Ardèche. *Géographie et cultures*, 66, 61-78.
- DUVAL M., 2010. Réflexions introductives. À la recherche de l'acceptation sociale, entre conflits, processus participatifs et enjeux territoriaux dans les espaces protégés. In LASLAZ L., GAUCHON C., DUVAL-MASSALOUX M., HÉRITIER S. (dir.), Espaces protégés, acceptation sociale et conflits environnementaux. *Collection EDYTEM*, 10, 9-19.
- DUVAL M., 2013. Place et fonctions de la patrimonialisation de la nature dans les espaces protégés. Enseignements à partir du massif de l'uKhahlamba-Drakensberg, Afrique du Sud. *Vertigo*, h.s. 16 ; <http://vertigo.revues.org/13572>
- DUVAL M., accepté. Inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO et développement touristique : analyse des freins à la mise en place de synergies entre les registres patrimoniaux et touristiques. Enseignements à partir du massif de l'uKhahlamba-Drakensberg, Afrique du Sud. *Annales de Géographie*.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2007. Analyse critique d'une politique d'aménagement du territoire, les Opérations Grands Sites. *Annales de Géographie*, 654, 2/2007, 147-168.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2010. Tourisme, géosciences et enjeux de territoires, Actualités du géotourisme. *Téoros*, 29 (2), 3-14.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2013. Le patrimoine : une affaire de choix. La candidature de la grotte Chauvet-Pont d'Arc au patrimoine mondial. *Ardèche Archéologie*, 30, 86-91.
- DUVAL M., SMITH B., 2013. Rock Art Tourism in the uKhahlamba/Drakensberg World Heritage Site: obstacles to the development of sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 21, 1, 134-153.
- GAUCHON C., 2002. Les sites naturels classés entre 1906 et 1930 dans les Alpes du Nord : entre tourisme et protection, bilan et actualité. *Revue de géographie alpine*, 2, 15-31.
- GAUCHON C., 2004. L'aven d'Orgnac, Grand Site de France. *Spelunca*, 96, 5.
- GAUCHON C., 2008. Une montagne emblématique aux multiples enjeux, le Parc national du Triglav (Slovénie). In HÉRITIER S., LASLAZ L. (dir.), 2008, Les Parcs Nationaux dans le Monde. Protection, gestion et développement durable. Ellipses, coll. « Carrefours », 99-119.
- GAUCHON C., 2010. Fiche La protection des paysages karstiques et des cavités naturelles. In AUDRA P. (dir.), Grottes et Karsts de France. *Karstologia-Mémoires*, 19, 112-113.

- GAUCHON C., 2010. Des causes du conflit aux conditions de l'acceptation. In LASLAZ L., GAUCHON C., DUVAL-MASSALOUX M., HÉRITIER S. (dir.), Espaces protégés, acceptation sociale et conflits environnementaux. *Collection Edytem*, 10, 263-269.
- GAUCHON C., PLOYON E., DELANNOY J.-J., HACQUARD S., HOBLEA F., JAILLET S., PERRETTE Y., 2006. The concepts of Heritage and heritage resource applied to karsts: protecting the Choranche caves (Vercors, France). *Acta Carsologica*, Ljubljana, 35/2, 37-46.
- GIRAULT C., 2010. Les espaces naturels protégés en ville, entre protection de la biodiversité et enjeux urbains. L'exemple de la ville de Göteborg. Mémoire de master 1 géographie, Université Lumière Lyon 2, 172 p.
- HÉRITIER S., 1999. La gestion de l'environnement et du patrimoine dans le Parc National des lacs Waterton (Alberta, Rocheuses canadiennes). *Revue de géographie alpine*, 87, 4, 49-64.
- HÉRITIER S., 2000. Aléas et risques dans un espace naturel-Le cas du Parc National des lacs Waterton (Alberta, Rocheuses canadiennes). In *La géographie des risques dits « naturels » entre géographie fondamentale et géographie appliquée. Cahiers Savoisiens de Géographie*, 3, 83-94.
- HÉRITIER S., 2001. Identité et territoire au Canada : la place des Parcs Nationaux dans la construction identitaire nationale. In *Identités et territoires. Cahiers Savoisiens de Géographie*, 4, 93-105.
- HÉRITIER S., 2003. Tourisme et activités récréatives dans les parcs nationaux des montagnes de l'Ouest canadien : impacts et enjeux spatiaux (Parcs nationaux de Banff, Jasper, Yoho, Kootenay, Lacs Waterton, Mont Revelstoke et des Glaciers). *Annales de Géographie*, 629, 23-46.
- HÉRITIER S., 2004 a. Les dynamiques spatiales dans les aires protégées : l'exemple des parcs nationaux des montagnes de l'Ouest canadien (Alberta, Colombie Britannique). *Mappemonde*, 2, ; <http://mappemonde.mgm.fr/num2/articles/art04202.html>.
- HÉRITIER S., 2004 b. Here, at last, is Peace - Le Parc International de la Paix Waterton-Glacier et la gestion transfrontalière des espaces protégés (Alberta, Canada - Montana, Etats-Unis). *Etudes canadiennes/Canadian Studies*, 57, 51-71.
- HÉRITIER S., 2005 a. Menaces aux marges - Formes et enjeux de la pression anthropique dans les espaces périphériques des aires protégées : le cas des parcs des montagnes canadiennes (Alberta & Colombie Britannique). In KALTEMBACK M., ROCARD M. (dir.), Canada : Nouveaux Défis/Canada Revisited. Toulouse, Éditions Universitaires du Sud, 103-118.
- HÉRITIER S., 2005 b. L'élaboration d'un sentiment patrimonial dans les parcs nationaux des montagnes de l'Ouest canadien. In KALTEMBACK M., ROCARD M. (dir.), Canada : Nouveaux Défis/Canada Revisited. Toulouse, Éditions Universitaires du Sud, p. 231-248.
- HÉRITIER S., 2005 c. Les pratiques de la nature au Canada : le cas des parcs nationaux des montagnes de l'Ouest (Alberta & Colombie Britannique). In ARNOULD P., GLON E. (dir.), La nature a-t-elle encore une place dans les milieux géographiques ? Paris, Publications de la Sorbonne, 167-189.
- HÉRITIER S., 2010. Participation et gestion dans les parcs nationaux de montagne : approches anglo-saxonnes. In LASLAZ L. (dir.), dossier spécial « Parcs nationaux de montagne et construction territoriale des processus participatifs ». Mis en ligne le 13 avril 2010. *Revue de géographie alpine*, 98, 1 ; <http://rga.revues.org/index1156.html>.
- HÉRITIER S., 2011 a. Approches et gestion participatives, affichages et réalités. Réflexions autour des espaces protégés du Canada, d'Australie et de Nouvelle-Zélande. In DEPRAZ S. (dir.), Quel rôle dans la gouvernance et le développement local ? *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 88, 4, 444-458.
- HÉRITIER S., 2011 b. Parcs nationaux et populations locales dans l'ouest canadien : de l'exclusion à la participation. *The Canadian Geographer/Le géographe canadien*, 55, 2, 158-179.
- HÉRITIER S., LASLAZ L. (dir.), 2008. Les Parcs Nationaux dans le Monde. Protection, gestion et « développement durable ». Ellipses, coll. « Carrefours », 336 p.
- HÉRITIER S., ARNAULD DE SARTRE X., LASLAZ L., GUYOT S., 2009. Fronts écologiques : dynamiques spatio-temporelles et dominations multi-scalaires. Proposition d'une grille de lecture des processus de colonisation écologique. In GUYOT S., RICHARD F. (dir.), Fronts écologiques. *L'Espace politique*, 9, 3, 19 p.
- HÉRITIER S. (dir.), 2007. Les parcs nationaux entre conservation durable et développement local. *Géocarrefour*, 82, 4, 170-264.
- HÉRITIER S. (dir.), 2009. Nature et patrimoine au service de la gestion durable des territoires. Publications Mission Ressources et Compétences Technologiques, CNRS, Actes du XXXIV^e colloque annuel de l'Association Française d'Etudes Canadiennes (AFEC), 222 p.
- HOBLEA F., CAYLA N., BERTHET J., BILLAUD Y., BIOT V., COUTTERAND S., DELANNOY J.-J., GASQUET D., GUYOMARD A., MOREAU L., PEYRACHE-GADEAU V., PERRET A., PRUD'HOMME F., RAVANEL L., RENAULT P., ROCHAS J., SADIÉ B., 2014. L'Objet emblématique Géopatrimoine : évaluer, protéger, valoriser, affirmation d'un champ de recherche transversal et collaboratif. In ASTRADE L., DELANNOY J.-J. (dir.), Environnement, dynamiques et territoires de la montagne, 10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM. *Collection EDYTEM*, 16, 117-140.
- LANDY F., LASLAZ L., 2012. Espace naturel protégé et ville, le pas de deux. In LÉZY E., BRUNO L. (dir.), BiodiverCités : les aires protégées urbaines, des laboratoires grandeur nature. Paris, éditions Le Manuscrit, coll. Tierces Natures, Actes du colloque de Paris (6-8 septembre 2010), 381-408.
- LASLAZ L., 2004. Vanoise : 40 ans de Parc National ; bilan et perspectives. Paris, L'Harmattan, coll. Géographies en liberté, 434 p.
- LASLAZ L., 2005 b. La réforme des Parcs Nationaux entre rapport et débats ; Interrogations sur l'évolution des emblèmes de la protection de l'environnement en France. *Revue de géographie alpine*, 93, 2, 111-115.

- LASLAZ L., 2006 a. Les zones centrales des Parcs Nationaux alpins français (Vanoise, Écrins, Mercantour) : des conflits au consensus social ? Contribution critique à l'analyse des processus territoriaux d'admission des espaces protégés et des rapports entre sociétés et politiques d'aménagement en milieux montagnards. Position de thèse. *Ruralia*, 16-17, 4 p.
- LASLAZ L., 2006 b. Terre d'élevage ou « nature préservée » en zone centrale des parcs nationaux français des Alpes du Sud ? In DURBIANO C., BARTHES A. (dir.), Nouvelles dynamiques du développement rural dans les Alpes du Sud. *Méditerranée*, 107, 3-4, 53-66.
- LASLAZ L., 2007 a. Autour de la nouvelle loi sur les Parcs Nationaux français ; enjeux et conflits. *Géofluences* ; <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/territ/FranceMut/FranceMutScient6.htm>.
- LASLAZ L., 2007 b. La Meije, un haut lieu alpin. Editions Gap, 104 p.
- LASLAZ L., 2007 c. Approche critique de la notion de « faible densité » appliquée aux Parcs Nationaux alpins français (Vanoise, Écrins et Mercantour). In BARTHE L., CAVAILLÉ F., EYCHENNE C., PILLEBOUE J., (dir.), Habiter et vivre dans les campagnes de faible densité. Actes du 2^e Colloque franco-espagnol de géographie rurale, co-éd. Dynamiques Rurales - P.U. Blaise Pascal, *Collection CERAMAC*, 23, 77-99.
- LASLAZ L., 2007 d. Pas feutrés et pneus crantés... Les Alpes françaises entre pratiques de « nature » et loisirs motorisés, une approche des conflits d'usages autour de la mobilité touristique ». In BERNIER X., GAUCHON C., (dir.), Transport et tourisme, Actes du Colloque de Chambéry, Commissions du Tourisme et des Loisirs et de Géographie des Transports du Comité National Français de Géographie. *Collection EDYTEM*, 4, 267-278.
- LASLAZ L., 2007 e. Des grands « espaces vierges » au bâti, ou les Parcs Nationaux français du patrimoine naturel à la patrimonialisation culturelle : le cas de la zone centrale du Parc National de la Vanoise (Savoie) ». In VIOLIER P., LAZZAROTTI O., (dir.), Tourisme et Patrimoine : un moment du monde. P.U. Angers, 187-203.
- LASLAZ L., 2007 f. Quels projets de campagne dans les Parcs Nationaux alpins français (Vanoise, Écrins, Mercantour) ? In PIERRE G., LE CARO Y., MADELINE P. (dir.), Agriculteurs et territoires : pratiques et projets. P. U. Rennes, 209-229.
- LASLAZ L., 2008. Le chardon bleu, instrument de l'acceptation sociale dans les politiques des parcs nationaux alpins français ? In GUICHARD-ANGUIS S., HÉRITIER S., (dir.) Le patrimoine naturel entre culture et ressource. *Géographie et Cultures*, 66, 27-44.
- LASLAZ L., 2009 a. La protection... sans la glace. L'exclusion des glaciers des zones centrales des Parcs nationaux de la Vanoise et des Écrins et leur équipement pour le ski d'été. In DELINE P., RAVANEL L., (dir.), Neige et glace de montagne. Reconstitution, dynamique, pratiques. *Collection EDYTEM*, 8, 203-218.
- LASLAZ L., 2009 b. Pratiques et conflits cynégétiques autour des Parcs nationaux alpins français. Cahiers de la Maison de la Recherche en Sciences Humaines, Caen. *Les Cahiers de la MRSRH, Enquêtes rurales*, 12, Terres de conquête, terres en déprise. Enjeux fonciers, agricoles et cynégétiques, 179-200.
- LASLAZ L., 2009c. La collaboration environnementale transfrontalière, constituante d'un front écologique ? Limites et perspectives des mises en réseau des espaces protégés alpins. In Fronts écologiques, GUYOT S., RICHARD F., (dir.). *L'Espace politique*, 9, 3, 18 p.
- LASLAZ L., 2011 a. L'escroquerie des « éco-péages » : analyse critique des dispositifs de restriction et de contingentement de la fréquentation touristique dans les parcs nationaux alpins français ». In BLETON-RUGET A., COMMERCON N., LEFORT I., (dir.), Tourisme et territoires. Actes des 6^e Rencontres de Mâcon, Institut de Recherche du Val de Saône-Mâconnais, 17-26.
- LASLAZ L., 2011 b. Produisons du conflit, il restera toujours de l'acceptation. Tensions et concertations autour des chartes des parcs nationaux français. In DEPRAZ S. (dir.) Les territoires de nature protégée. Quel rôle dans la gouvernance et le développement local ? *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 88, 4, 387-402.
- LASLAZ L., 2013. « Renaturaliser » sans patrimonialiser : bannir les « installations obsolètes » et les points noirs paysagers dans les espaces naturels protégés alpins. *L'Espace Géographique*, 4, 42, 354-369.
- LASLAZ L., (dir.), 2007. Pralognan, capitale de la Vanoise. L'Edelweiss, 304 p.
- LASLAZ L. (dir.), 2010. Parcs nationaux de montagne et construction territoriale des processus participatifs. *Revue de géographie alpine*, 98, 1 (5 articles).
- LASLAZ L. (dir.), 2012. Atlas mondial des espaces protégés. Les sociétés face à la nature. Autrement, coll. Atlas/Monde, 96 p.
- LASLAZ L., PEYRONNARD C., FLORET C., 2003. Paysage. In CLAEYSSEN B. (dir), Le Guide du Parc National de la Vanoise, Glénat, 224 p.
- LASLAZ L., GAUCHON C., DUVAL-MASSALOUX M., HÉRITIER S. (dir.) 2014. Espaces protégés, acceptation sociale et conflits environnementaux. Actes du colloque de Chambéry (16-18 septembre 2009). *Collection EDYTEM*, 10, 270 p.
- LASLAZ L., GAUCHON C., DUVAL M., HÉRITIER S. (dir.), à paraître. Espaces protégés et territoires. Conflits et acceptation. Belin, coll. Mappemonde, 300 p.
- MALGAT C., DUVAL M., sous presse, La labellisation Unesco de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, une démarche internationale pour une reconfiguration locale, Actes du colloque « Labellisation et mise en marque des territoire », CERAMAC, 8-10 novembre 2011.
- PERRIN C., 2005. L'implication des prestataires de canyoning dans la structuration de l'offre de deux destinations touristiques : le Vercors et le Massif des Bauges. *Téoros*, 24, 3, 45-54.
- PERRIN C., MOUNET J.-P., 2004. L'insertion de l'offre de canyoning dans l'industrie touristique : une étude comparative entre le Massif des Bauges et le Vercors. *Loisir et Société*, 27, 1, 143-172.
- PERRIN-MALTERRE C., 2007. Tourisme sportif et développement durable : l'exemple des sports motorisés dans les Parcs naturels régionaux français. In BATAILLOU C., SCHÉOU B. (dir.), Tourisme et développement. Regards croisés. Presses Universitaires de Perpignan, 263-278.
- PERRIN-MALTERRE C., MOUNET J.-P., 2010. Canyoning et gestion de l'espace naturel. *EspacesTemps.net*, Textuel, <http://espacestemp.net/document7874.html>

TOLLIS C., 2012. Bien gérer les « espaces de nature », une éthique du faire-avec. Propositions pour une géographie des associations hétérogènes. Thèse de doctorat en géographie, Université de Grenoble, 608 p.

Bibliographie citée dans l'article (en dehors de celle des membres du laboratoire)

- AUBERTIN C., RODARY E. (dir.), 2008. Aires protégées, espaces durables. Paris, IRD éditions, 260 p.
- AVOCAT C., 1977. Le Parc National des Écrins, bilan et perspectives. *Bulletin de la Société d'Études des Hautes-Alpes*, 1-47.
- AVOCAT C. (dir.), 1981. Espaces protégés... espaces conservés ? *Revue de géographie de Lyon*, 3, 227-338.
- AVOCAT C. (dir.), 1982. De l'approche à l'évaluation des paysages. *Revue de géographie de Lyon*, 4, 333-399.
- AVOCAT C., THÉNOZ M., 1979. La fréquentation touristique du Parc National des Écrins. Université de Lyon II, 61 p.
- AVOCAT C., THÉNOZ M., 1981. La fréquentation touristique du Parc National des Écrins, été 1979. *Travaux Scientifiques du Parc National des Écrins*, 211-256.
- DAUDÉ G., 1976. Les parcs naturels français. *Revue de géographie de Lyon*, 51, 2, 99-105.
- DEPRAZ S., 2005. Le concept d'*akzeptanz* et son utilité en géographie sociale. Exemple de l'acceptation locale des parcs nationaux allemands. *L'Espace Géographique*, 1, 1-16.
- DEPRAZ S., 2005. Recompositions territoriales, développement rural et protection de la nature dans les campagnes d'Europe centrale post-socialiste. Thèse de doctorat en géographie, Université Montpellier III, 691 p.
- DEPRAZ S., 2008. Géographie des espaces naturels protégés, genèse, principes et enjeux territoriaux. Colin, coll. U Géographie, 320 p.
- DI MÉO G., 2008. Processus de patrimonialisation et construction des territoires, colloque patrimoine et industrie en Poitou-Charentes : connaître pour valoriser ? Poitiers Châtelleraut (2007). <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00281934/fr/>
- FRIEDBERG E., 1993. Le pouvoir et la règle : Dynamiques de l'action organisée. Paris, Éditions du Seuil, 405 p.
- GRENIER C., 2000. Conservation contre nature. Les îles Galápagos. Paris, IRD Éditions, 376 p.
- GIRAUT F., GUYOT S., HOUSSAY-HOLZSCHUCH M., 2005. La nature, les territoires et le politique en Afrique du Sud. *Annales HSS*, 60. 4, 695-717.
- GUYOT S., 2003. L'environnement contesté : la territorialisation des conflits environnementaux sur le littoral du Kwazulu-natal (Afrique du Sud : Kosi Bay, St Lucia, Richards Bay et Port Shepstone). Thèse de doctorat en géographie, Université de Paris X-Nanterre, 509 p.
- GUYOT S., RICHARD F., 2009. Les fronts écologiques - Une clef de lecture socio-territoriale des enjeux environnementaux ? *L'Espace Politique* [en ligne], 9-3, en ligne depuis le 20 Janvier 2010. <http://espacepolitique.revues.org/1422>
- JANIN B., 1985. Le parc national du Grand Paradis. Protection et aménagement de la montagne. *Revue de Géographie Alpine*, LXXIII, 1-2, 212 p.
- JANIN B., BRAVARD Y., BOZONNET R., 1985. Entre Isère et Doires : Le Grand Paradis. Société Savoisiennne d'histoire et d'Archéologie, coll. Trésors de la Savoie, 255 p.
- LAURENS L., COUSSEAU B., 2000. La valorisation du tourisme dans les espaces protégés européens : quelles orientations possibles ? *Annales de Géographie*, 613, 240-258.
- LAURENS L., 1995. Les Parcs naturels, du concept à la pratique d'une agriculture environnementale. *Annales de Géographie*, 584, 339-359.
- LAURENS L., 1997. Les labels «paysages de reconquête», la recherche d'un nouveau modèle de développement durable. *Natures Sciences Sociétés*, 5, 2, 45-56.
- LAURENS L., 1998. Le réseau Natura 2000 ou la difficulté d'élaborer une politique de gestion de la nature en France. In Croix N. (dir.), *Environnement et nature dans les campagnes : nouvelles politiques, nouvelles pratiques ?* Presses Universitaires de Rennes, coll. Espaces et territoires, 205-228.
- LAURENS L. (dir.), 1997. Les Parcs Naturels de France, un concept de développement territorialisé et environnementale à l'épreuve du temps. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, 3/4, 212 p.
- LAZZAROTTI O., 2003. Tourisme et patrimoine : ad augusta per angustia. *Annales de Géographie*, 629, 91-110.
- LÉVY J., LUSSAULT M., (dir.), 2003. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Belin, 1034 p.
- LUSSAULT M., 2007. *L'Homme spatial. La construction sociale de l'espace humain.* Seuil, Paris, 351 p.
- MARCHAND H., 2003. Les parcs nationaux marins, insulaires et littoraux : Essai autour d'un modèle spatial de gestion des grands espaces naturels mondiaux. Université Paris IV - Sorbonne, Thèse de doctorat en Géographie, 555 p.
- MURDOCH J., 1997. Towards a geography of heterogeneous associations. *Progress in Human Geography*, 21, 3, 321-337.
- PRÉAU P., 1964. Le Parc national de la Vanoise : banc d'essai d'une politique d'aménagement de la montagne. *Revue de géographie alpine*, 52, 1-44.
- RICHEZ G., 1992. Parcs Nationaux et tourisme en Europe. L'Harmattan, coll. Tourisimes et sociétés, 421 p.
- RODARY E., 2001. Les espaces naturels : l'aménagement par la participation ? Mise en réseau et territorialisation des politiques de conservation de la faune en Zambie et au Zimbabwe. Thèse de doctorat en géographie, Université d'Orléans, 531 p.
- ROUÉ M., 2010. Paysages culturels et gouvernance : retour du refoulé et nouveau contrat social. Paris, Rapport programme Paysages et Développement durable, 185 p.

L'OBJET EMBLÉMATIQUE LACS DE MONTAGNE

L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS LACUSTRES AU LABORATOIRE EDYTEM

FABIEN ARNAUD, CHARLINE GIGUET-COVEX, BRUNO WILHELM, JEAN-PHILIPPE JENNY, PIERRE SABATIER, JÉRÔME POULENARD, MARC DESMET, DIRK ENTERS, SIDONIE RÉVILLON, LAURENT MILLET, MAXIME DEBRET, CÉCILE PIGNOL, EMMANUEL MALET, BERNARD FANGET

Contact : fabien.arnaud@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

DE LA GÉODYNAMIQUE AU PALÉOCLIMAT, LES PIONNIERS DE LA LIMNOGÉOLOGIE À L'UNIVERSITÉ DE SAVOIE

C'est dans les années 1990 que, sous l'impulsion de Christian Beck, professeur de géologie au laboratoire de géodynamique des chaînes alpines, ont été lancées les premières études de sédiments lacustres à l'université de Savoie. Les préoccupations étaient alors prioritairement d'ordre géodynamique, les sédiments lacustres étant utilisés comme archives d'événements gravitaires provoqués par l'activité sismique alpine récente et postglaciaire. Cependant, il est très vite apparu que l'enregistrement sédimentaire était également influencé par le climat, conditionnant en retour l'enregistrement de l'activité sismique. Le maître-mot était alors d'étudier l'influence du climat pour *retirer le bruit de fond climatique* de l'enregistrement sédimentaire géodynamique. Plusieurs thèses ont ainsi été menées dans l'objectif de distinguer les influences géodynamiques et climatiques dans les modalités du remplissage des cuvettes lacustres, notamment des grands lacs périalpins (Bourget, Annecy, Léman), situés à proximité de l'université (Figure 1).

C'est sans doute au cours de la thèse d'Emmanuel Chapron (entre 1995 et 1999 ; Chapron *et al.*, 1999), sous l'impulsion de Marc Desmet, nouvellement recruté maître de conférence au LGCA, que la proposition de recherche s'est inversée et que la reconstitution des paléoclimats est devenue une question en soi. Cette transition est assez évidente

en observant les titres des deux publications majeures issues de cette thèse publiées en 1999 *1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps)* (Chapron *et al.*, 1999) et 2002 *Climatic variability in the northwestern Alps, France, as evidenced by 600 years of terrigenous sedimentation in Lake Le Bourget* (Chapron *et al.*, 2002). En parallèle à cette évolution des problématiques, la gamme des objets étudiés s'est étendue, notamment dans le cadre de la thèse de Vincent Lignier qui a proposé l'interprétation de séquences lacustres endo-karstiques et de lacs d'altitude (Lignier, 2001).

C'est dans ce contexte, en 1999, que l'un d'entre nous (Fabien Arnaud) a débuté son travail de recherche sur les sédiments d'un lac qui fait encore aujourd'hui l'objet d'études intensives : le lac d'Anterne, carotté



Figure 1 - Prélèvement par plongée dans le lac Cornu, Haute Savoie, lors de la première mission CALAMAR en 1998.

pour la première fois en plongée par Vincent Lignier et Alain Trenteseaux en 1999. La première publication issue de ce travail intitulée *Flood and earthquake disturbance of 210Pb geochronology (Lake Anterne,*

North French Alps) (Arnaud et al., 2002) illustre bien l'état d'esprit des études de cette époque, cherchant à démêler les influences climatique et géodynamique au sein des enregistrements sédimentaires lacustres.

I - ÉVOLUTION VERS L'ÉTUDE DE PROBLÉMATIQUES LIÉES À L'HISTOIRE DES ACTIVITÉS HUMAINES

L'étude des paléoclimats via les sédiments lacustres à l'université de Savoie repose sur le postulat initial que les flux sédimentaires arrivant au sein d'une cuvette lacustre reflètent l'évolution hydro-climatique de son bassin versant. Cette hypothèse de travail se trouve en contradiction, voire en opposition, avec un large pan de la littérature scientifique selon laquelle, dès le Néolithique, les modifications anthropiques du paysage constituent un facteur capital dans l'évolution des flux érosifs (Dearing et Jones, 2003). Il est alors apparu indispensable de travailler conjointement aux reconstitutions des pratiques humaines et des conditions paléoclimatiques. Cette approche n'était pas nouvelle, puisque constituant le socle épistémologique du travail des paléoenvironnementalistes et archéologues de Besançon, alors regroupés au sein du laboratoire de

chrono-écologie. Cependant, issus d'une culture de géochimistes, nous l'avons abordée sous un angle différent, via l'étude des retombées métalliques d'origine humaine.

Nous avons ainsi démontré le caractère généralisé et synchrone du maximum de contamination des années 1970 à l'échelle des Alpes françaises du nord, des fonds de vallée aux plus hauts sommets (Arnaud et al., 2004). Sur une échelle de temps plus longue, nous avons mis en évidence l'existence d'une contamination majeure au plomb à l'époque romaine (Arnaud et al., 2006). L'origine de cette pollution reste encore aujourd'hui mal connue, mais son existence a été depuis confirmée, notamment dans le massif des Grandes Rousses où elle est particulièrement exprimée dans l'enregistrement sédimentaire du Lac de Bramant (Guyard et al., 2007).

II - HOMMES ET MILIEUX, VERS UNE HISTOIRE INTÉGRÉE

L'approche par les contaminations métalliques a apporté des résultats originaux et nous a notamment permis de nous rapprocher d'archéologues travaillant dans le nord des Alpes, cependant, elle ne permettait pas directement d'éclairer la question du forçage climatique ou anthropique des flux érosifs. Nous avons donc développé un plan de recherche ambitieux, focalisé sur les Alpes françaises du nord, dans le cadre du programme de recherche Pygmalion (Paleohydrology and huMAN cLimate InternatiON), financé par l'ANR, avec le soutien de l'Assemblée des Pays de Savoie et de la communauté de commune du Grésivaudan.

L'hypothèse de travail de Pygmalion a été de considérer le bassin versant du Rhône amont français comme un système au sein duquel s'exerçait les forçages climatiques et anthropiques avec des intensités variables en fonction des types de milieu. Selon notre hypothèse, le lac du Bourget, grand lac de basse altitude, serait peu sensible aux impacts anthropiques en raison de la grande taille de son bassin versant (4000 km²). A l'inverse les lacs de petite taille, situés au cœur des activités agro-pastorales et entourés de pentes raides, tels le lac d'Anterne, seraient les plus sensibles au forçage anthropique. Enfin, les lacs de très haute altitude, dont les pentes ne présentent pas un grand intérêt pastoral seraient exempts de forçage anthropique (Figure 2).

Les résultats du programme Pygmalion ont globalement confirmé nos hypothèses de travail. Le Lac du Bourget a ainsi livré un enregistrement holocène continu des conditions d'érosion à l'échelle régionale, principalement sous influence climatique (Arnaud et al., 2012, 2005; Debret et al., 2010). L'enregistrement holocène du Lac d'Anterne montre quant à lui clairement que dès l'âge du bronze, les activités humaines impactent considérablement les flux érosifs (Giguet-Covex et al., 2011).

Avec l'intégration au laboratoire EDYTEM de Jérôme Poulénard en tant que maître de conférences (2010), puis professeur (2012), nous avons mis en place, dans le cadre de la thèse de Charline Giguet-Covex sur le Lac d'Anterne, (Giguet-Covex, 2010) une approche originale. En couplant notre approche intégrée *sédimentologie et géochimie haute résolution* à l'approche dite des *pédo-signatures de l'histoire des sols* développée par J. Poulénard (Mourier et al., 2010, 2008 ; Poulénard, 2011), nous avons pu mettre en évidence les grandes lignes de l'histoire des écosystèmes alpins depuis le tout début de l'Holocène (10000 cal BP) sous l'angle du développement et de l'érosion des sols (Giguet-Covex et al., 2011).

Les lacs d'altitude ont quant à eux tenu leurs promesses en tant qu'enregistreurs des crues torrentielles

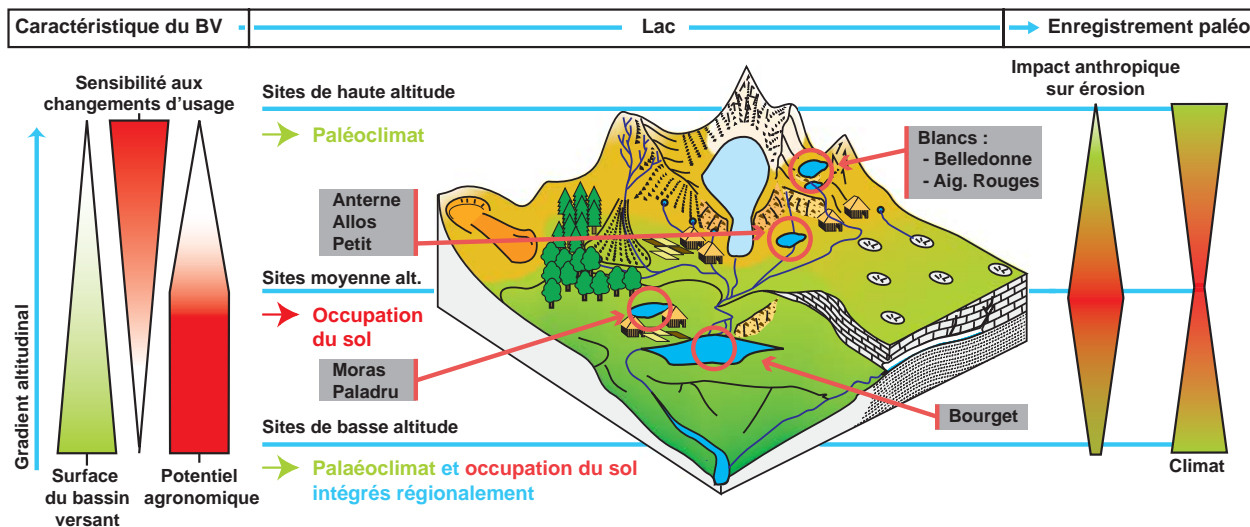


Figure 2 - Positionnement schématique des séries lacustres étudiées en fonction de leur altitude, de la taille de leur bassin versant et de leur potentiel agronomique (Arnaud, 2014).

alpines, notamment dans le cadre de la thèse de Bruno Wilhelm (Wilhelm, 2012). Ayant montré dans le massif de Belledonne que les crues les plus intenses des derniers 250 ans étaient intervenues au cours du réchauffement du 20^e siècle (Wilhelm et al., 2012), nous avons cherché à vérifier si la relation entre périodes chaudes et crues intenses se confirmait sur une période de temps plus longue. Ce fut effectivement le cas sur une période de 1500 ans au lac Blanc de Belledonne (Wilhelm et al., 2013) et sur 3500 ans au lac d'Anterne (Giguet-Covex et al., 2012). Dans ce dernier cas, de manière intéressante, nous avons pu montrer que la modification drastique de l'environnement consécutive aux défrichements de l'âge du bronze avait rendu le bassin du lac d'Anterne extrêmement sensible aux précipitations orageuses estivales, en faisant un excellent enregistreur paléoclimatique (Giguet-Covex et al., 2012). La situation est en revanche différente dans les Alpes du sud où l'enregistrement du Lac d'Allos indique que les crues y sont moins intenses au cours des périodes chaudes : réchauffement actuel et optimum médiéval (Wilhelm et al., 2012), indiquant un découplage des processus générateurs de pluies extrêmes entre le nord et le sud des Alpes. En ce qui concerne les fréquences de crues en revanche, l'ensemble de nos enregistrements sont apparemment synchronisés et en phase avec les fluctuations régionales enregistrées au lac du Bourget (Arnaud et al., 2012).

L'enregistrement du Lac du Bourget nous permet de dessiner une histoire paléohydrologique alpine marquée par un climat globalement au moins aussi sec que l'Actuel au moins de 9000 à 2700 cal. BP. Au début de cette période, on note des périodes de quelques siècles marquées par plus d'humidité qui apparaissent en phase avec les phases de haut niveau de lacs définies par Magny (Arnaud et al., 2012 ; Magny, 2013). Ce n'est que vers 4200 cal. BP qu'intervient la première

phase humide pluriséculaire, enregistrée à la fois via le flux détritique (Arnaud et al., 2012) et les fluctuations de niveau de lac (Magny et al., 2012) marquant une transition climatique vers des conditions plus humides, bien que les siècles qui suivront, parfois qualifiés de *Bel âge du bronze* seront particulièrement peu arrosés et de fait, propices à l'installation de villages palafittiques sur l'ensemble des lacs périalpins, dont le niveau était alors plusieurs mètres plus bas qu'à l'Actuel (Magny, 2013). De manière intéressante, c'est également vers 4000 cal. BP que des traces d'avancée glaciaire holocènes sont documentées dans les Alpes autrichiennes et plus récemment dans le Massif du Mont Blanc, grâce au travail de thèse de Melaine Leroy (Leroy, 2012), également réalisé dans le cadre de Pygmalion. A partir de 2700 cal. BP, les glaciers sont plus souvent en position avancée que reculée par rapport à l'actuel. Cette tendance vers des conditions climatiques plus fraîches et humides culminera au cours du Haut Moyen-âge (~600-900 ap. J.-C.) et surtout du Petit Âge Glaciaire (~1300-1900 ap. J.-C.) qui est d'après nos enregistrements, la plus longue et la plus intense phase humide de l'Holocène dans les Alpes (Figure 3).

La période courant de la fin de l'âge du Fer à la fin de l'Antiquité (~300 av. - 300 ap. J.-C.) est un cas singulier dans la relation entre climat et érosion. Tous les enregistrements lacustres que nous avons acquis dans le cadre de Pygmalion, depuis l'avant-pays dauphinois (lac de Moras, Doyen et al., 2013 ; lac de Paladru, Simonneau et al., 2013), jusqu'à l'étage subalpin, voire alpin (Lac d'Anterne, Giguet-Covex et al., 2011, 2014), en passant par le lac du Bourget (Arnaud et al., 2012), enregistrent à cette période une anomalie érosive, accompagnée d'indices d'anthropisation et plus particulièrement d'indices d'activité pastorale. Cette phase érosive atypique au cours de l'Holocène ne correspond à aucune phase connue de dégradation climatique. Ce

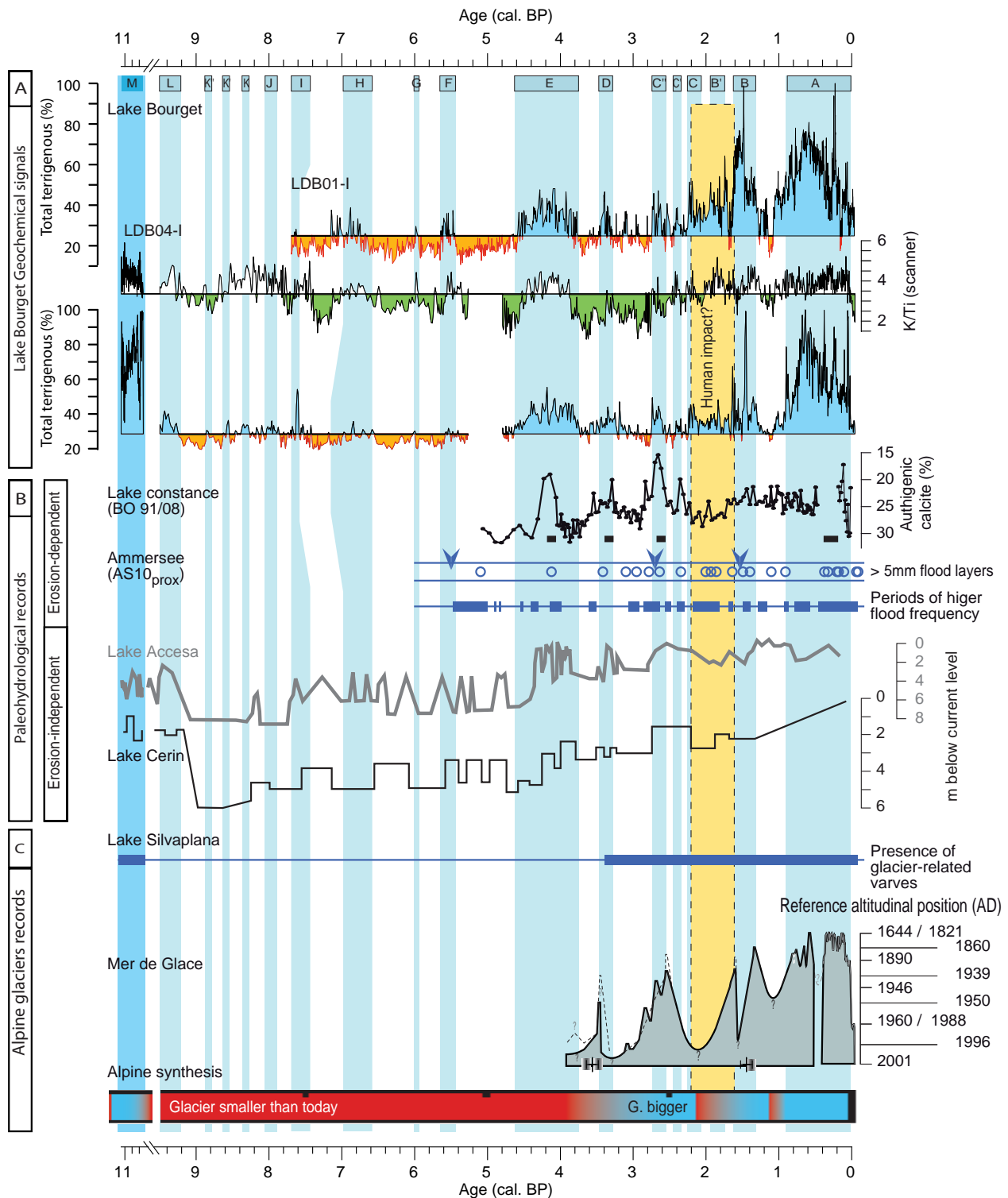


Figure 3 - Synthèse des informations paléohydrologiques connues autour des Alpes pour la période holocène. [A] Enregistrements géochimiques des apports rhodaniens dans le Lac du Bourget (Arnaud et al., 2012) ; [B] enregistrements paléohydrologiques dépendants de l'érosion : calcite dans le lac de Constance et dépôts de crues dans le lac Ammersee et indépendants de l'érosion : variations de niveau des lacs Cerin (Jura) et Accesa (Italie) (Magny et al., 2011) ; [C] enregistrements dépendants de l'activité des glaciers : présence de varves glaciaires dans le lac Silvaplana ; fluctuations la Mer de Glace, dans le massif du Mont Blanc et synthèse de la position moyenne des glaciers dans les Alpes (Goehring et al., 2011). Notez la divergence entre les signaux « dépendants » et « indépendants » de l'érosion pour la période de la fin de l'âge du fer et du début de l'Antiquité (300 av. – 300 ap. J.-C.) (Arnaud, 2014).

dernier constat, associé à la présence d'indices de pastoralisme nous pousse à penser que les populations qui occupaient alors le territoire allobroge pratiquaient un pastoralisme, notamment bovin, intensif, conduisant à favoriser grandement et durablement l'érosion.

Première manifestation dans les Alpes d'une modification anthropique d'un grand cycle géologique, nous proposons que cette période soit considérée comme la manifestation locale du début de l'Anthropocène (Figure 4).

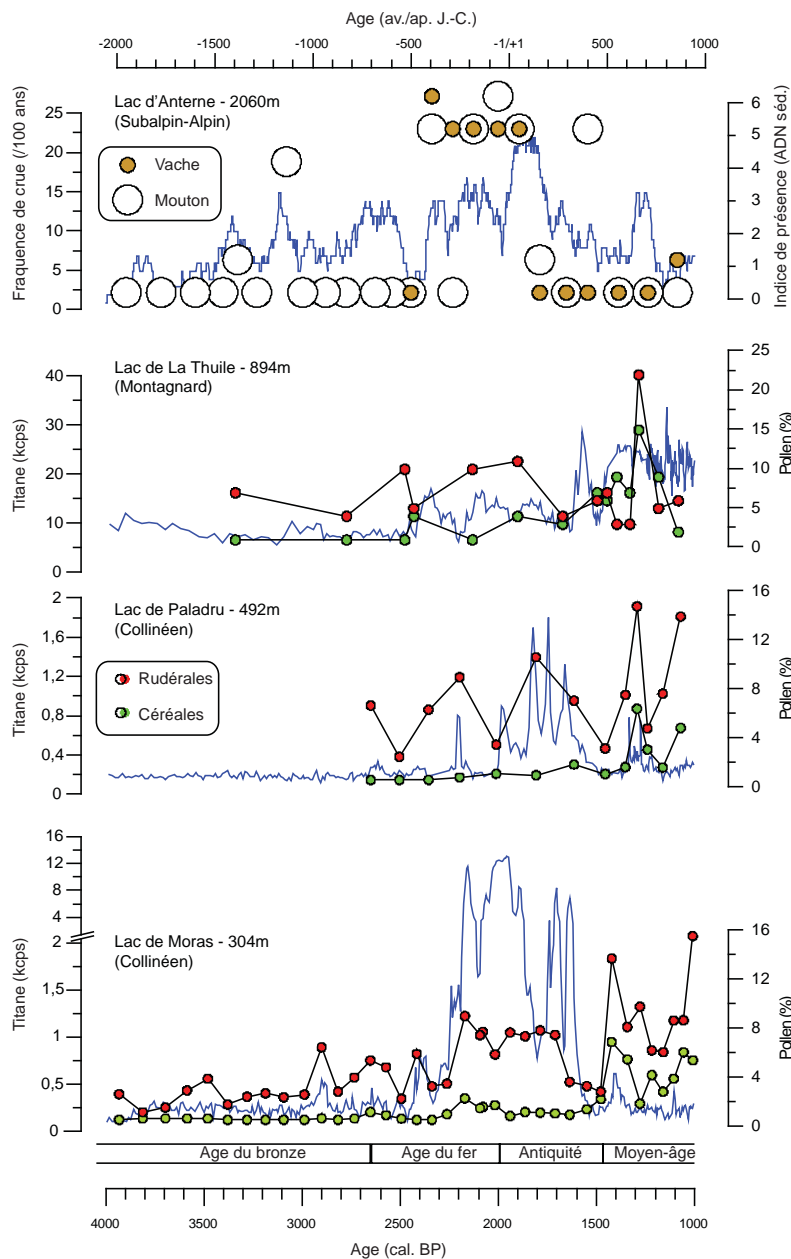


Figure 4 - Confrontation du signal érosion avec des indicateurs d'usage anthropique des sols dans quatre lacs situés selon un gradient altitudinal depuis l'étage collinéen (Moras, Doyen *et al.*, 2013 ; Paladru, Simonneau *et al.*, 2013) jusqu'à l'étage alpin (Anterne, Giguet-Covex *et al.*, 2012, 2014), en passant par l'étage montagnard (La Thuile, données non publiées : géochimie = groupe lacs EDYTEM, palynologie = Fernand David) (Arnaud, 2014).

III - INTERACTIONS BIOSPHERE - SOCIÉTÉ - MILIEU

Si Pygmalion nous a permis d'avancer dans les méthodes d'investigation des interactions homme-climat-environnement sur le temps long, un autre défi nous a été proposé en 2008 par Marie-Elodie Perga, chercheur INRA au Centre de Recherche sur les Réseaux Trophiques et Ecosystèmes Limnique (Université de Savoie - INRA). A partir d'une entrée essentiellement écologique, il s'agissait de transposer

nos méthodes paléolimnologiques sur le temps long à l'étude des perturbations anthropiques des écosystèmes limniques sur les derniers 150 ans, tel que nous l'avions ébauché dans le cadre de la thèse de C. Giguet-Covex (Giguet-Covex, 2010, Giguet-Covex *et al.*, 2009). Financé par l'ANR à partir de 2008, le programme IPER-Rétro, nous a permis de mettre en œuvre cet ambitieux projet. C'est ainsi pas moins de

132 de carottes qui ont été prélevées, décrites, échantillonnées et datées par le laboratoire EDYTEM sur une période de 3 ans. Le volet datation a été intégralement pris en charge par Jean-Philippe Jenny et Pierre Sabatier, recruté comme maître de conférences à EDYTEM en 2010. Cette expérience nous a amenés à améliorer le suivi de nos carottes et échantillons, faisant de notre laboratoire une des références nationales dans ce domaine, notamment au travers du projet EQUIPEX CLIMCOR (<http://climcor-equipex.dt.insu.cnrs.fr/>).

Au-delà du défi organisationnel, IPER-Rétro a été pour nous l'occasion, au travers de la thèse de J.-P. Jenny (Jenny, 2013), de développer une approche sédimentologique originale fondée sur l'étude non pas d'un site de carottage long par lac, mais d'une multitude de carottes courtes réparties stratégiquement au sein du bassin lacustre. Appliqué à l'étude de l'anoxie et des dépôts de crue cette approche a montré tout l'intérêt de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des faciès sédimentaires dans le cas de grands lacs (Léman, Bourget, Annecy).

Les varves biochimiques constituent un faciès particulier qui apparaît dans les sédiments des grands lacs périalpins au cours du 20^e siècle. Causées par l'anoxie

des eaux de fond, elles sont étroitement liées à l'eutrophisation des lacs¹. En cartographiant l'extension des varves biochimiques à l'échelle des bassins lacustres du Bourget, du Léman et d'Annecy, nous avons reconstitué avec une résolution annuelle le volume d'eau désoxygénée depuis l'apparition des premiers signes d'anoxie (Jenny, 2013 ; Jenny et al., 2013). Nous avons ainsi montré que l'anoxie avait tendance à s'étendre actuellement sous l'effet du réchauffement climatique. Ce résultat est d'autant plus surprenant que les politiques environnementales mises en place pour réduire les apports de nutriments ont conduit à un retour à des conditions proches des conditions naturelles dès les années 1980-1990. Si les conditions de déclenchement de l'anoxie dans le fond des grands lacs sont bien connues, notre étude est la première à en quantifier l'extension au cours du temps (Figure 5).

¹ Le cycle des nutriments, essentiellement le phosphore (phosphates) et l'azote (nitrates), éléments essentiels à la vie, a été perturbé largement par les activités humaines au cours du 20^e siècle. Dans les milieux aquatiques, leur présence excessive conduit à la prolifération de producteurs primaires (algues), processus appelé eutrophisation. La décomposition de cet excès de matière organique sur le fond entraîne la consommation de l'oxygène dissous et à terme l'anoxie des eaux de fond.

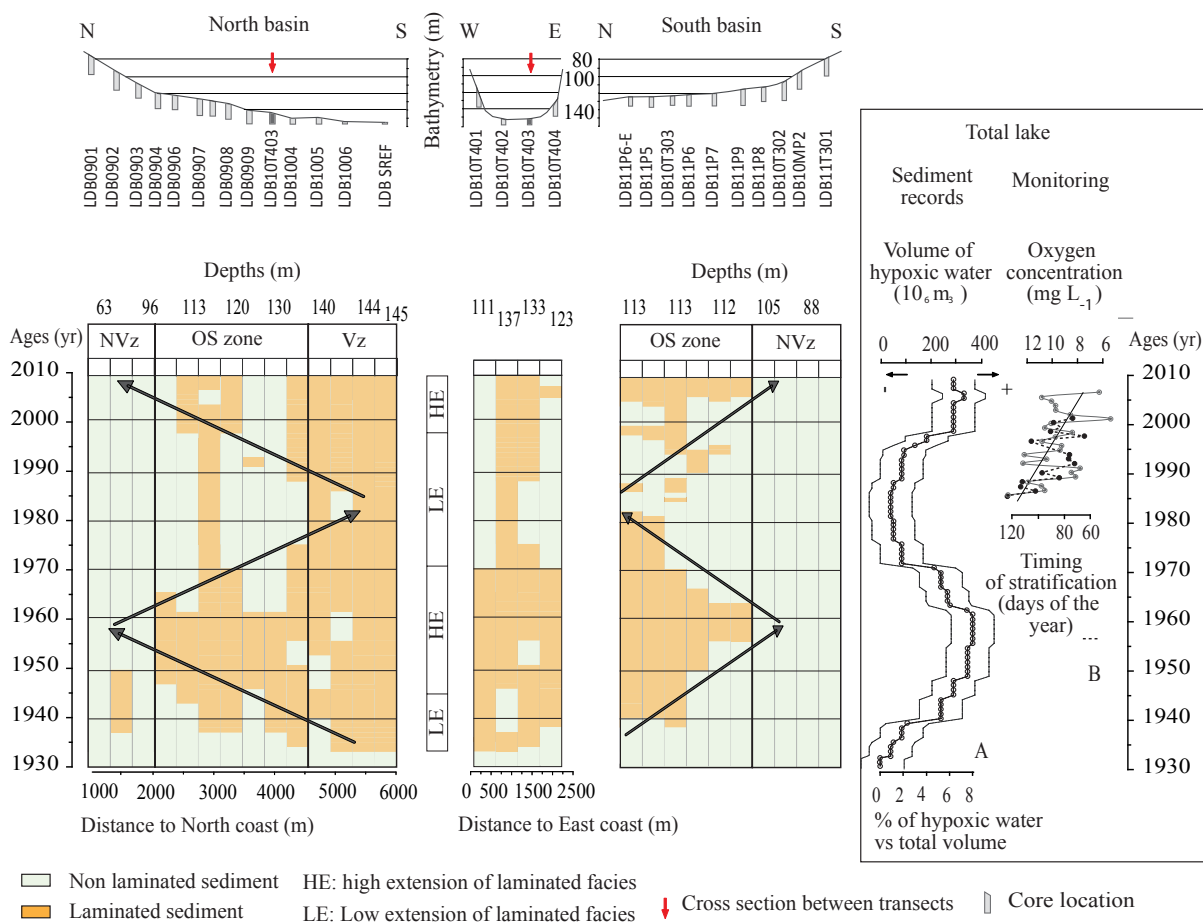


Figure 5 - Extension du faciès varvé, marqueur d'hypoxie, sur le fond du lac du Bourget, reconstitué à partir de la description lithologique de 27 carottes sédimentaires (Jenny et al., 2013).

De la même façon, nous avons cartographié les dépôts de crue au sein du bassin lacustre du Lac du Bourget. Ceci nous a permis de quantifier les volumes de sédiments apportés par les crues les plus importantes des derniers siècles. Ces résultats ont montré que dans de grands lacs, tels que le Bourget, il est impossible de relier l'épaisseur des dépôts de crues identifiés dans une seule carotte avec le débit de la crue

associé. En revanche, en considérant le volume total dédié de l'étude d'un grand nombre de carottes, nous avons pu établir une telle relation sur la période historique. L'extrapolation de cette relation aux crues du 18^e siècle, les plus importantes de tout l'enregistrement holocène du Lac du Bourget, montre que leur débit aurait pu être trois à quatre fois supérieur à celui de la plus importante crue 20^e siècle (Jenny *et al.*, accepté).

V - UNE RECHERCHE À LA POINTE DES DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

L'étude des sédiments lacustres dispose au sein du laboratoire EDYTEM d'un environnement scientifique propice au croisement des approches et à l'ouverture vers d'autres disciplines. Elle repose également sur un certain nombre de développements méthodologiques propres à la discipline, comme notamment l'installation d'un scanner de carottes en fluorescence X en 2012. Cet appareil permet de mesurer en continu la

géochimie des sédiments avec une résolution comprise entre 100 µm et 2 cm. Son utilisation a permis une bien meilleure documentation de l'évolution des flux détritiques, tant du point de vue de leurs flux que de leur nature (Figure 6).

Récemment, c'est le dialogue avec le laboratoire d'Ecologie Alpine (LECA), sous l'égide de l'Institut d'Ecologie et d'Environnement du CNRS et avec le

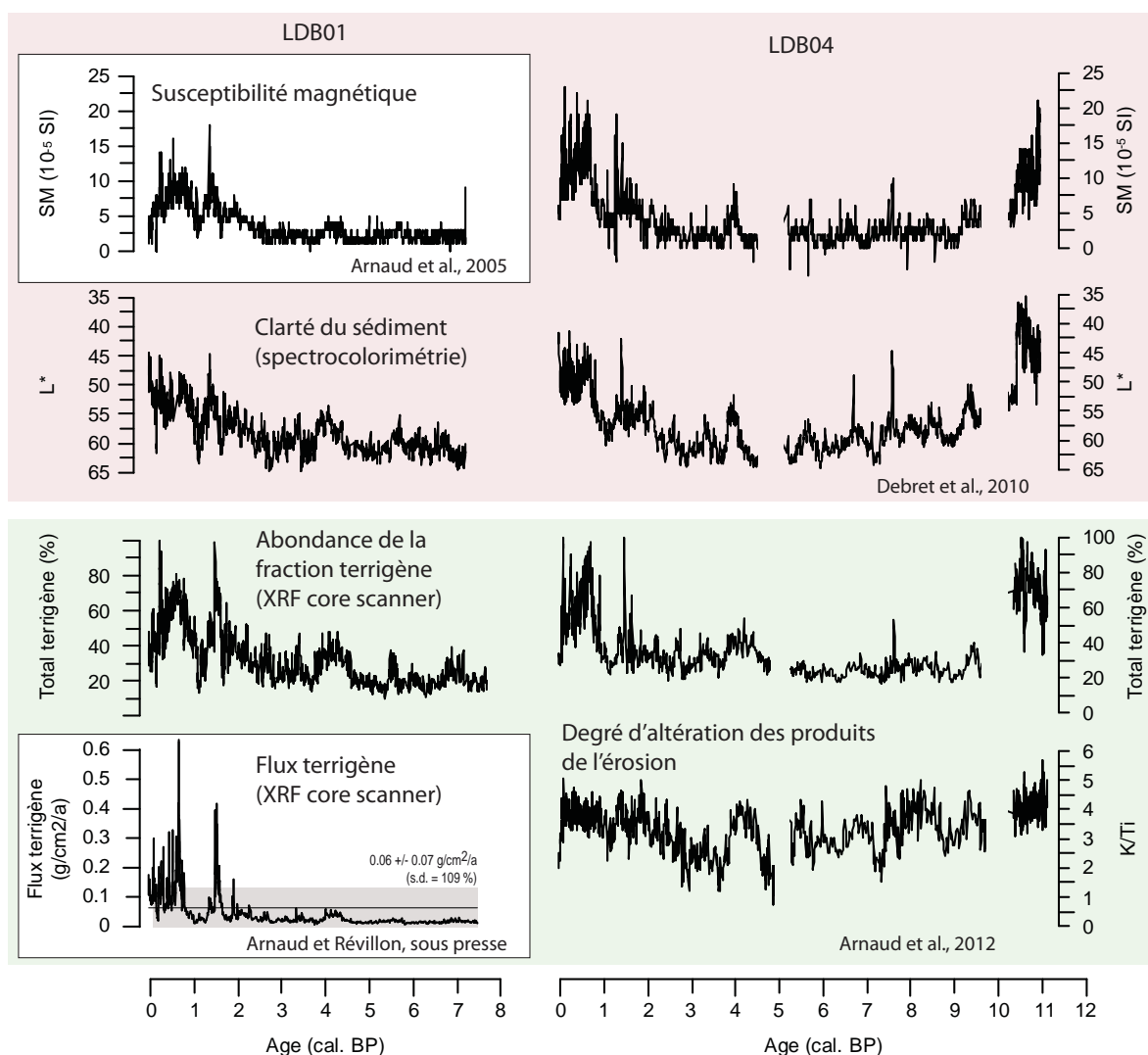


Figure 6 - Evolution de l'enregistrement sédimentaire continu des crues du Rhône dans le lac du Bourget (carottes LDB01-I et LDB04-I) depuis sa première publication en 2005 (Arnaud, 2014).

CLIMCOR : PALÉO CLIMATIC CORING : HIGH RESOLUTION AND INNOVATIONS INVESTISSEMENT D'AVENIR : EQUIPEX

PRÉSENTATION / OBJECTIF

La paléoclimatologie, depuis ses débuts, a mis en évidence les changements climatiques mondiaux en analysant les données issues de carottages de glace, de sédiments marins et de sédiments continentaux. Cependant, ces données fondamentales ne peuvent pas être acquises avec une excellente qualité sans équipement de haute technologie. L'accent mis récemment sur les dernières variations climatiques du millénaire a rendu possible le lien avec les mesures et les observations actuelles. Sur du plus long terme, ce lien ne peut être obtenu avec l'équipement actuel. La relation homme, climat et environnement ne peut pas, non plus, être appréhendée sans avoir accès aux variations climatiques passées à très haute résolution.



Carottage long en action sur le Lac d'arterne (2061m).

Le projet CLIMCOR, financé par le dispositif Equipex du programme national investissements d'avenir, vise à améliorer la capacité nationale en matière de forage scientifique dans les trois domaines : glace, sédiment marin et sédiment continental. Ce projet est piloté par le Centre de Carottage et de Forage National (C2FN), émanation de la division technique de l'Institut National des Sciences de l'Université (DT-INSU). Le laboratoire EDYTEM pilote quant à lui, au niveau scientifique, le volet continent (Fabien Arnaud), au niveau technique, le carottage lacustre (Bernard Fanget et Emmanuel Malet). Il coordonne de plus le projet de gestion conservatoire des carottes au niveau des 3 cellules de CLIMCOR (Cécile Pignol).



La récupération de sédiments lacustres en conditions extrêmes est l'une des spécificités d'EDYTEM au sein du Centre de Carottage et de Forage National (C2FN). Lac Blanc (2352 m), massif des Aiguilles Rouges.



Carottage long sur le Lac d'anterne (2061m).

DESCRIPTION ET RETOMBÉES

Au niveau du laboratoire EDYTEM, deux axes de développement sont en cours dans le cadre du projet CLIMCOR.

Améliorer les capacités nationales de carottage lacustre. Le C2FN concède la gestion de ses dispositifs de carottage lacustre à EDYTEM et son équipe expérimentée de sondeurs (Bernard Fanget et Emmanuel Malet). Grâce à CLIMCOR, cette flotte sera améliorée selon deux directions complémentaires. Afin d'améliorer le déploiement au niveau national et international du matériel existant (1 barge modulaire, 5 types de carottiers différents) un véhicule dédié a été acquis et aménagé spécifiquement (atelier, rangements dédiés...). Le matériel de forage sera doublé pour permettre la conduite en parallèle de plusieurs opérations. A cette occasion, l'équipe d'EDYTEM travaille en partenariat avec le constructeur UWITEC pour développer de nouveaux outils (barge modulaire, système de transport routier, améliorations de outils de forage). En parallèle, EDYTEM collabore à la mise au point d'un nouveau système de carottage par la DT INSU à la Seyne-sur-mer. Il s'agit d'utiliser un marteau fond de trou pour accéder à des profondeurs de carottage comprise entre 50 et 100 m avec 300 m de lame d'eau (la limite actuelle de carottage est de 25 m de sédiments avec une lame d'eau du 150 m).

EDYTEM participe au groupe national, animé par C. Pignol, visant à proposer un plan de gestion de données de forage scientifique. Il s'agit d'améliorer les Works et Dataflow afin de mieux intégrer les outils et résultats de recherche français à la communauté scientifique internationale. Ceci implique d'identifier les procédures et outils existants aux niveaux national et international. Des outils et procédures spécifiques seront développés et proposés à la communauté scientifique nationale. Les objectifs opérationnels sont d'améliorer la traçabilité (procédures, suivi), l'archivage (e-infrastructure) et la visibilité (portail) des (méta)données pour en favoriser la réutilisation. La finalité est d'augmenter la visibilité de l'effort de recherche et de valoriser les investissements nationaux lourds en favorisant les partenariats et l'interdisciplinarité, notamment via la réutilisation des échantillons et des données sur le long terme.

Site web : <http://climcor-equipex.dt.insu.cnrs.fr/?lang=fr>



Le carottier Re-Entry et sa barge spécifique, fers de lance du parc national du C2FN pour le carottage lacustre, tous deux gérés et opérés par EDYTEM.

Centre de Recherche sur les Réseaux trophiques et Ecosystèmes Limnique (CARRTEL), dans le cadre du programme IPer-RÉTro et de la fédération de recherche Lacs Montagnes Environnement (FLAME), qui nous a menés vers une avancée méthodologique majeure. En couplant les approches des écologistes moléculaires avec nos approches paléolimnologiques, nous avons pu développer l'utilisation de l'ADN sédimentaire comme marqueur paléoenvironnemental. Ce tout nouvel outil a ainsi pu être appliqué à la reconstitution de la micro (Savichtcheva *et al.*, 2011), voire de la picoflore (Domaizon *et al.*, 2013) planctonique. Le résultat le plus impressionnant dans ce domaine est cependant probablement celui acquis sur la séquence du Lac d'Anterne, dans laquelle nous avons réussi pour la première fois à mettre en évidence les phases d'occupation par

des troupeaux, en distinguant la présence d'ovins de celle de bovins (Giguët-Covex *et al.*, 2014 ; Figure 7).

Enfin, il ne faut pas négliger les avancées réalisées en termes de carottages lacustres. Au cours de dernières années, la reconnaissance du laboratoire EDYTEM dans ce domaine n'a cessé de croître. C'est ainsi à notre unité qu'a été confiée la charge de coordonner scientifiquement le *workpackage continent* du programme d'équipement d'excellence CLIMCOR en 2013. Cette reconnaissance repose sur une implication forte des personnels techniques intervenant dans les carottages lacustres et sur la veille technologique que nous opérons en lien très fort avec le copropriétaire de notre équipement de carottage : le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement à Gif-sur-Yvette.

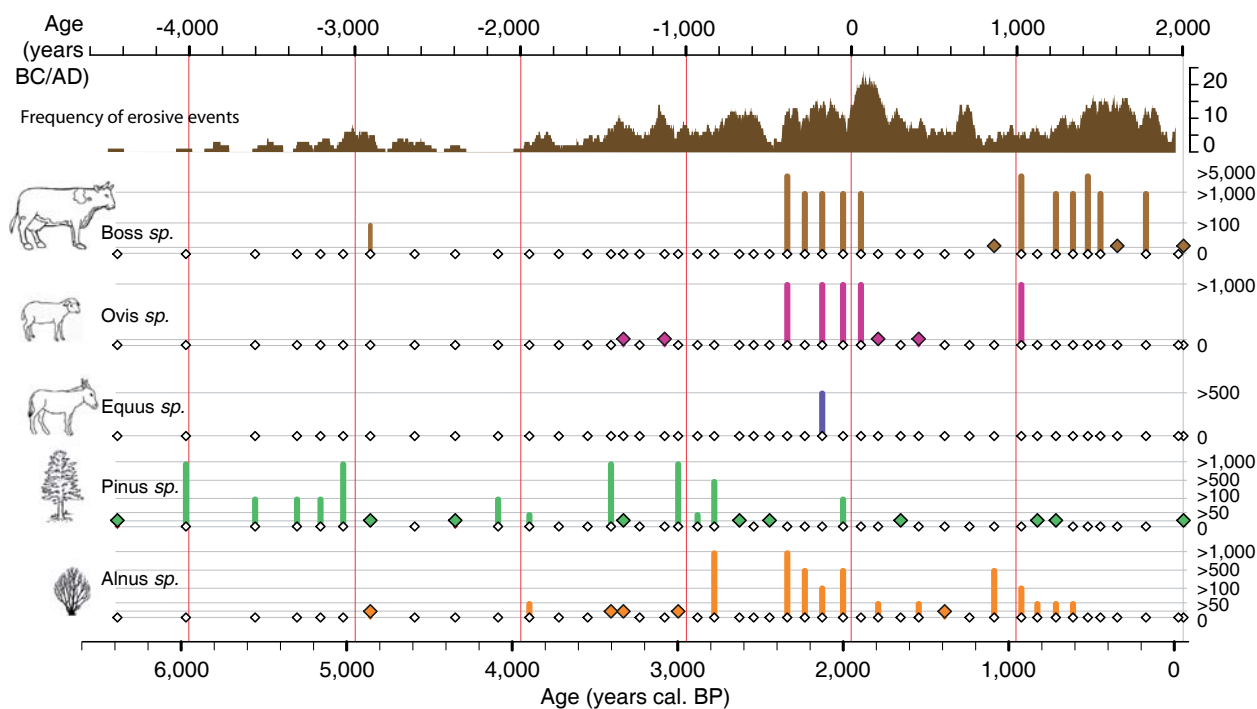


Figure 7 - Résultats des premiers tests d'utilisation de l'ADN sédimentaire comme marqueur paléoenvironnemental dans le cas du Lac d'Anterne (Giguët-Covex *et al.*, 2014).

VI - PERSPECTIVES

Les sédiments lacustres, nous l'avons montré, offrent une formidable fenêtre ouverte sur le passé des éco-anthro-systèmes. L'avenir de la discipline repose sans doute en partie sur une meilleure intégration des sciences de la Terre, de la Vie et Humaines, ainsi que des sciences de l'environnement au sens large, incluant notamment la chimie. C'est dans cette optique, afin de permettre l'accès à la profondeur du temps à des non-spécialistes des paléosciences que nous avons conçu notre laboratoire d'analyses sédimentologiques. Cet outil nous permet d'accueillir des collègues de champs disci-

plinaires variés et ainsi d'avancer vers une reconstitution toujours plus complète des interactions passées entre homme et milieu. En particulier les outils d'analyses de l'ADN sédimentaire offrent une voie de recherche quasiment vierge à la croisée des géosciences, de la biologie et de l'archéologie, en ceci qu'elle permet d'envisager une reconstitution de plus en plus détaillée des pratiques agropastorales et de leurs impacts sur l'environnement. Rendez-vous est donc pris pour le prochain numéro anniversaire consacré aux 20 ans du laboratoire EDYTEM !

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD F., 2014. De l'Holocène à l'Anthropocène. Changements climatiques, changements environnementaux, changements d'usage. Vers une histoire intégrée ? Université de Savoie, HDR, 68 p.
- ARNAUD F., LIGNIER V., REVEL M., DESMET M., BECK, C., POURCHET M., CHARLET F., TRENTESAUX A., TRIBOVILLARD N., 2002. Flood and earthquake disturbance of 210Pb geochronology (Lake Anterne, NW Alps). *Terra Nova*, 14, 225-232.
- ARNAUD F., REVEL M., CHAPRON E., DESMET M., TRIBOVILLARD N., 2005. 7200 years of Rhône river flooding activity in Lake Le Bourget, France: a high-resolution sediment record of NW Alps hydrology. *The Holocene*, 15, 420-428.
- ARNAUD F., REVEL-ROLLAND M., BOSCH D., WINIARSKI T., DESMET M., TRIBOVILLARD N., GIVELET, N., 2004. A 300 year history of lead contamination in northern French Alps reconstructed from distant lake sediment records. Presented as part of the Archives of Environmental Contamination at the 6th International Symposium on Environmental Geochemistry, Edinburgh, Scotland, 7-11 September 2003. *J. Environ. Monit.*, 6, 448.
- ARNAUD F., RÉVILLON S., DEBRET M., REVEL M., CHAPRON E., JACO J., GIGUET-COVEX C., POULENARD J., MAGNY M., 2012. Lake Bourget regional erosion patterns reconstruction reveals Holocene NW European Alps soil evolution and paleohydrology. *Quat. Sci. Rev.*, 51, 81-92.
- ARNAUD F., SERRALONGUE J., WINIARSKI T., DESMET M., PATERNE M., 2006. Pollution au plomb dans la Savoie antique (II-III^e s. apr. J.-C.) en relation avec une installation métallurgique de la cité de Vienne. *Comptes Rendus Geosci.*, 338, 244-252.
- CHAPRON E., BECK C., POURCHET M., DECONINCK J.-F., 1999. 1822 earthquake-triggered homogenite in Lake Le Bourget (NW Alps). *Terra Nova*, 11, 86-92.
- CHAPRON E., DESMET M., DE PUTTER T., LOUTRE M.-F., BECK C., DECONINCK J.-F., 2002. Climatic variability in the northwestern Alps, France, as evidenced by 600 years of terrigenous sedimentation in Lake Le Bourget. *The Holocene*, 12, 177-185.
- DEARING J.A., JONES R.T., 2003. Coupling temporal and spatial dimensions of global sediment flux through lake and marine sediment records. *Glob. Planet. Change*, 39, 147-168.
- DEBRET M., CHAPRON E., DESMET M., ROLLAND-REVEL M., MAGAND O., TRENTESAUX A., BOUT-ROUMAZEILLE V., NOMADE J., ARNAUD F., 2010. North western Alps Holocene paleohydrology recorded by flooding activity in Lake Le Bourget, France. *Quat. Sci. Rev.*, 29, 2185-2200.
- DOMAIZON I., SAVICHTCHEVA O., DEBROAS D., ARNAUD F., VILLAR C., PIGNOL C., ALRIC B., PERGA M.-É., 2013. DNA from lake sediments reveals the long-term dynamics and diversity of *Synechococcus* assemblages. *Biogeosciences Discuss.*, 10, 2515-2564.
- DOYEN E., VANNIERE B., BERGER J.-F., ARNAUD F., TACHIKAWA K., BARD E., 2013. Land-use changes and environmental dynamics in the upper Rhone valley since Neolithic times inferred from sediments in Lac Moras. *The Holocene*, 23, 7, 959-971
- GIGUET-COVEX C., 2010. Contribution des sédiments laminés lacustres à l'étude des changements environnementaux holocène Approche couplée sédimentologie/géochimie à haute résolution Application à deux lacs nord alpins. Grenoble, Le Bourget du Lac, thèse de doctorat, 335 p.
- GIGUET-COVEX C., ARNAUD F., ENTERS D., POULENARD J., MILLET L., FRANCUS P., DAVID F., REY P.-J., WILHELM B., DELANNOY J.-J., 2012. Frequency and intensity of high-altitude floods over the last 3.5 ka in northwestern French Alps (Lake Anterne). *Quat. Res.*, 77, 12-22.
- GIGUET-COVEX C., ARNAUD F., POULENARD J., DISNAR J.-R., DELHON C., FRANCUS P., DAVID F., ENTERS D., REY P.-J., DELANNOY J.-J., 2011. Changes in erosion patterns during the Holocene in a currently treeless subalpine catchment inferred from lake sediment geochemistry (Lake Anterne, 2063 m a.s.l., NW French Alps): The role of climate and human activities. *The Holocene*, 21, 651-665.
- GIGUET-COVEX C., ARNAUD F., POULENARD J., ENTERS D., REYSS J.-L., MILLET L., LAZZAROTO J., VIDAL O., 2009. Sedimentological and geochemical records of past trophic state and hypolimnetic anoxia in large, hard-water Lake Bourget, French Alps. *J. Paleolimnol.*, 43, 171-190.
- GIGUET-COVEX C., PANSU J., ARNAUD F., REY P.-J., GRIGGO C., GIELLY L., DOMAIZON I., COISSAC E., DAVID F., CHOLER P., POULENARD J., TABERLET P., 2014. Long livestock farming history and human landscape shaping revealed by lake sediment DNA. *Nat. Commun.*, 5.
- GOEHRING B.M., SCHAEFER J.M., SCHLUECHTER C., LIFTON N.A., FINKEL R.C., JULL A.J.T., AKCAR N., ALLEY R.B., 2011. The Rhone Glacier was smaller than today for most of the Holocene. *Geology*, 39, 679-682.
- GUYARD H., CHAPRON E., ST-ONGE G., ANSELMETTI F.S., ARNAUD F., MAGAND O., FRANCUS P., MÉLIÈRES M.-A., 2007. High-altitude varve records of abrupt environmental changes and mining activity over the last 4000 years in the Western French Alps (Lake Bramant, Grandes Rousses Massif). *Quat. Sci. Rev.*, 26, 2644-2660.
- JENNY J.-P., 2013. Réponse des grands lacs périalpins aux pressions anthropiques et climatiques récentes - Reconstitution spatio-temporelles à partir d'archives sédimentaires. Grenoble, Le Bourget du Lac, thèse de doctorat, 239 p.
- JENNY J.-P., ARNAUD F., DORIOZ J.-M., GIGUET-COVEX C., FROSSARD V., SABATIER P., MILLET L., REYSS J.-L., TACHIKAWA K., BARD E., PIGNOL C., SOUFI F., ROMEYER O., PERGA M.-E., 2013. A spatiotemporal investigation of varved sediments highlights the dynamics of hypolimnetic hypoxia in a large hard-water lake over the last 150 years. *Limnol. Oceanogr.*, 58, 4, 1395-1408.
- JENNY J.-P., WILHELM B., ARNAUD F., SABATIER P., GIGUET COVEX C., MÉLO A., FANGET B., MALET E., PLOYON E., PERGA M.-É., 2014. A 4D sedimentological approach to reconstructing the flood frequency and intensity of the Rhône River (Lake Bourget, NW European Alps). *J. Paleolimnol.*, DOI : 10.1007/s10933-014-9768-4
- LEROY M., 2012. Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes occidentales : apports de la dendrochronologie et de la datation par isotopes cosmogéniques produits in situ. Grenoble, Le Bourget du Lac, thèse de doctorat, 390 p.

- LIGNIER V., 2001. Mécanismes et conditions de l'enregistrement de la sismicité dans des sédiments lacustres. Université de Savoie, thèse de doctorat.
- MAGNY M., 2013. Orbital, ice-sheet, and possible solar forcing of Holocene lake-level fluctuations in west-central Europe: A comment on Bleicher. *The Holocene*, 23, 1202-1212.
- MAGNY M., ARNAUD F., BILLAUD Y., MARGUET A., 2012. Lake-level fluctuations at Lake Bourget (eastern France) around 4500-3500 cal. BP and their palaeoclimatic and archaeological implications. *J. Quat. Sci.*, 27, 494-502.
- MAGNY M., BOSSUET G., RUFFALDI P., LEROUX A., MOUTHON J., 2011. Orbital imprint on Holocene palaeohydrological variations in west-central Europe as reflected by lake-level changes at Cerin (Jura Mountains, eastern France). *J. Quat. Sci.*, 26, 171-177.
- MOURIER B., POULENARD J., CARCAILLET C., WILLIAMSON D., 2010. Soil evolution and subalpine ecosystem changes in the French Alps inferred from geochemical analysis of lacustrine sediments. *J. Paleolimnol.*, 44, 571-587.
- MOURIER B., POULENARD J., CHAUVEL C., FAIVRE P., CARCAILLET C., 2008. Distinguishing subalpine soil types using extractible Al and Fe fractions and REE geochemistry. *Geoderma*, 145, 107-120.
- POULENARD J., 2011. Des empreintes pédologiques dans les bassins versants et les archives naturelles. Mémoire d'HDR de l'université de Grenoble, 193 p.
- SAVICTCHEVA O., DEBROAS D., KURMAYER R., VILLAR C., JENNY J.-P., ARNAUD F., PERGA, M.-É., DOMAIZON I., 2011. Quantitative PCR Enumeration of Total/Toxic Planktothrix rubescens and Total Cyanobacteria in Preserved DNA Isolated from Lake Sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77, 8744-8753.
- SIMONNEAU A., DOYEN E., CHAPRON E., MILLET L., VANNIÈRE B., DI GIOVANNI C., BOSSARD N., TACHIKAWA K., BARD E., ALBÉRIC P., DESMET M., ROUX G., LAJEUNESSE P., BERGER J.F., ARNAUD F., 2013. Holocene land-use evolution and associated soil erosion in the French Prealps inferred from Lake Paladru sediments and archaeological evidences. *J. Archaeol. Sci.*, 40, 1636-1645.
- WILHELM B., 2012. Reconstitution sédimentologique des extrêmes hydrologiques au cours du dernier millénaire dans les Alpes françaises : Relations avec les changements climatiques. Grenoble, Le Bourget du Lac Thèse de doctorat, 322 p.
- WILHELM B., ARNAUD F., ENTERS D., ALLIGNOL F., LEGAZ A., MAGAND O., REVILLON S., GIGUET-COVEX C., MALET E., 2012. Does global warming favour the occurrence of extreme floods in European Alps? First evidences from a NW Alps proglacial lake sediment record. *Clim. Change*, 113, 563-581.
- WILHELM B., ARNAUD F., SABATIER P., CROUZET C., BRISSET E., CHAUMILLON E., DISNAR J.-R., GUITER F., MALET E., REYSS J.-L., TACHIKAWA K., BARD E., DELANNOY J.-J., 2012. 1400 years of extreme precipitation patterns over the Mediterranean French Alps and possible forcing mechanisms. *Quat. Res.*, 78, 1-12.
- WILHELM B., ARNAUD F., SABATIER P., MAGAND O., CHAPRON E., COURP T., TACHIKAWA K., FANGET B., MALET E., PIGNOL C., BARD E., DELANNOY J.-J., 2013. Palaeoflood activity and climate change over the last 1400 years recorded by lake sediments in the north-west European Alps. *J. Quat. Sci.*, 28, 189-199.

L'OBJET EMBLÉMATIQUE GÉOPATRIMOINES

ÉVALUER, PROTÉGER, VALORISER

AFFIRMATION D'UN CHAMP DE RECHERCHE TRANSVERSAL ET COLLABORATIF

FABIEN HOBLÉA, NATHALIE CAYLA, JOHAN BERTHET, YVES BILLAUD, VINCENT BIOT,
SYLVAIN COUTTERAND, JEAN-JACQUES DELANNOY, DOMINIQUE GASQUET, ANNE GUYOMARD,
LUC MOREAU, VÉRONIQUE PEYRACHE-GADEAU, AMANDINE PERRET, FRANÇOISE PRUD'HOMME,
LUDOVIC RAVANEL, PIERRE RENAU, JOËLLE ROCHAS, BENJAMIN SADIER

Contact : fabien.hoblea@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

Le terme *géopatrimoine* est utilisé dans la littérature scientifique française depuis le début des années 2000. Il est la traduction du terme anglais *geoheritage* qui l'a précédé d'une bonne décennie. Il tend à remplacer l'expression *patrimoine géologique*, tout en débordant la définition première de ce dernier qui désigne initialement un objet géologique à préserver pour sa ou ses valeurs mémorielles relatives à l'histoire de la Terre et de la vie. Aux valeurs géoscientifiques initiales, considérées comme centrales par les auteurs de référence (Panizza, 2001 ; Reynard, 2004, 2005), se sont peu à peu greffées des valeurs dites additionnelles : culturelles, historiques, religieuses, écologiques, socio-économiques, scéniques et esthétiques... (Figure 1).

Le terme *géopatrimoines*, souvent employé au pluriel, fait actuellement référence aux composantes naturelles abiotiques de la planète sujettes à des actes de patrimonialisation (reconnaissance collective, protection, labellisation, valorisation). Dans son acception originelle anglaise, « *il désigne le patrimoine géologique à préserver pour ses valeurs scientifiques (mémoire de l'histoire de la Terre et de la Vie, expression des phénomènes géodynamiques qui façonnent la planète et interfèrent avec les sociétés et activités humaines), et ses valeurs dites additionnelles (historiques, culturelles, esthétiques...) et renvoie aux notions de géodiversité (Gray, 2004), de géoconservation (Burek et Prosser, 2008) et de géotourisme (Dowling et Newsome, 2006)* » (Reynard et al., 2011).

L'expression spatiale des géopatrimoines se décline *in situ* et *ex situ*. Les géopatrimoines identifiés *in situ* déterminent un géosite (initialement appelé géotope terme aujourd'hui tombé en désuétude en France) qui peut être valorisé par le biais d'un musée de site (dalle paléontologique de La Lieude dans l'Hérault, site aménagé du ravin de Tabori dans la Réserve naturelle géologique de Haute-Provence,...). Les géopatrimoines extraits de leur gisement originel, intégrés à des collections ou reconstitués *in fac* simulé sur des structures artificielles en espaces clos peuvent se retrouver présentés et interprétés *ex situ* au sein de musées, d'expositions itinérantes, d'espaces de restitution, de centres d'interprétation,... plus ou moins spatialement déconnectés du géosite source.

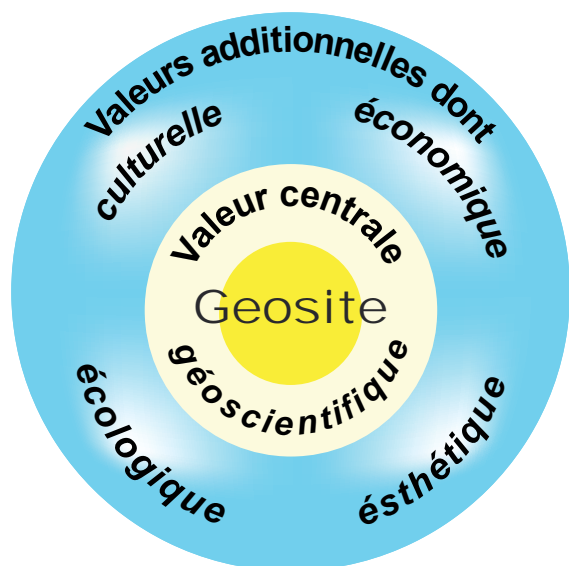


Figure 1 - Registre des valeurs accordées aux géomorphosites.

La notion de géosite renvoie essentiellement aux valeurs patrimoniales identifiées, sans préjuger de l'existence d'une valorisation *in situ* ou *ex situ*. Les valeurs identifiées peuvent être renforcées par l'existence d'une médiation ou d'un aménagement destiné à la protection et/ou à l'interprétation. Notons qu'il n'existe pas encore de terme générique pour désigner l'ensemble des lieux faisant l'objet d'une pratique d'interprétation géopatrimoniale, qu'elle soit *in situ* au sein des géosites, ou *ex situ*.

Certains membres actuels du laboratoire EDYTEM ont travaillé dès le milieu des années 1990 sur ces problématiques (on ne parlait alors pas encore de géopatrimoine en France). Ils ont ainsi participé à la lente reconnaissance et émergence du concept de patrimoine géologique, projeté sur le devant de la scène à la suite du colloque de Digne en 1991 et de la Déclaration Internationale des Droits de la Mémoire de la Terre qui en était ressortie. Mais c'est au début des années 2000, à partir de 2004 notamment, que la thématique s'impose comme un sujet mobilisateur au sein du tout jeune laboratoire EDYTEM. Celui-ci est en effet de plus en plus sollicité par des collectivités

territoriales intéressées par ce nouveau paradigme rimant avec développement durable et innovation dans des territoires de montagne en recherche de diversification et de rééquilibrage saisonnier de leur offre touristique. Cette tendance a trouvé son point d'orgue dans le développement des territoires labellisés *Global Geoparks*, auquel le laboratoire a été grandement associé, d'abord à l'échelle locale (Chablais et Bauges), puis régionale (Monts d'Ardeche, Beaujolais) et internationale (Leye-Fengshan en Chine, Altaï et autres projets russes, Rila en Bulgarie).

Après avoir retracé les grandes étapes de l'émergence de ce nouvel objet emblématique au sein du laboratoire, et montré en quoi il est structurant et porteur au travers du réseau de partenariats qu'il a suscités, nous examinerons les enjeux de recherche transversaux qu'il mobilise au regard des thématiques travaillées au sein des différentes équipes du laboratoire, ainsi que les résultats produits grâce à des méthodologies innovantes qu'il a contribué à conforter voire à introduire, aux côtés d'autres objets emblématiques comme l'eau et le karst.

I - LES GÉOPATRIMOINES : ÉMERGENCE D'UN OBJET EMBLÉMATIQUE FÉDÉRATEUR AU SEIN DU LABORATOIRE EDYTEM

Selon une libre adaptation des dires de monsieur Jourdain dans le Bourgeois Gentilhomme, certains membres du laboratoire EDYTEM ont pu s'exprimer : «*Par ma foi ! Il y a plus de dix ans que je travaille sur les géopatrimoines sans que j'en susse rien, et je vous suis le plus obligé du monde de m'avoir appris cela*». En effet, l'émergence de l'objet emblématique géopatrimoine au cours de ces dix dernières années a mobilisé, autour des quelques chercheurs complètement impliqués dans cette thématique, d'autres collègues pour lesquels celle-ci s'est révélée correspondre à un aspect, un prolongement ou à une façon innovante de considérer leurs travaux.

Cette évolution accompagne l'émergence d'un nouveau champ de recherche apparu au sein des géosciences *s.l.* (incluant la géographie), conséquence tout à la fois de l'élargissement de la sphère patrimoniale mais également de la diversification des pratiques touristiques. Les géopatrimoines accédant au statut de ressource territoriale sont à l'origine du développement d'une nouvelle niche touristique : le géotourisme.

La définition donnée en introduction rappelle que les géopatrimoines sont constitués d'éléments *in situ* (au sein des géosites) et *ex situ* (au sein des collections muséales, des espaces d'interprétation) renvoyant à l'histoire de la Terre, de son fonctionnement ou de ses liens avec les activités et occupations humaines, pour lesquels a été entreprise une démarche de patri-

monialisation qui inclut des actions d'inventaire et d'évaluation, de connaissance et de documentation, de protection et de labellisation mais également de valorisation dans une perspective la plupart du temps géotouristique et/ou éducative.

De nombreux travaux réalisés au sein du laboratoire peuvent être rattachés aux différentes dimensions de ce nouveau champ d'investigation situé à l'interface des problématiques travaillées tant par les équipes Archives et Dynamiques environnementales que par l'équipe Territoires.

1 - Prémices : les géopatrimoines, objets emblématiques encore non identifiés

L'implication de certains membres du laboratoire est déjà ancienne. Ainsi, en 1995, l'inventaire des patrimoines géologiques régionaux réalisé par le Bureau de Recherche Géologique et Minière pour le compte de la DIREN Rhône-Alpes (actuelle DREAL), fait l'objet d'un complément spécifiquement consacré au karst, qui mobilise la communauté des spéléologues et des spéléo-karstologues. C'est ainsi que Fabien Hobléa, alors PRAG-doctorant à l'Université Lyon 2 et président de la commission scientifique du Comité Régional de Spéléologie, coordonne ce travail qui alimentera et motivera un chapitre de sa thèse consacré

aux géotopes karstiques savoyards en tant qu'éléments particuliers du patrimoine géologique (Hobléa, 1999). L'année suivante, en 1996, il est également sollicité par le Parc naturel régional du massif des Bauges, tout juste créé (décembre 1995), pour participer à la conception du premier sentier d'interprétation du Parc. Ce sentier thématique est consacré aux paysages et phénomènes karstiques de la montagne du Margéraz. Il ouvre au public en 1997 sous l'appellation de *Sentier des tannes et des glacières*. Ce travail, qui repose directement sur les résultats de la recherche doctorale en cours à l'époque, alimentera également le chapitre de la thèse consacré aux géotopes karstiques. Celui-ci analyse par ailleurs la contribution des géoscientifiques aux contenus et à la conception du projet de Musée de l'Ours des Cavernes en Chartreuse. Edifié sur la commune d'Entremont-le-Vieux, ce centre d'interprétation a ouvert ses portes en 2002 afin de valoriser les études paléontologiques et spéléo-karstologiques de la *grotte aux ours* de la Balme à Collomb découverte quelques années auparavant sur les flancs du Mont Granier en Chartreuse. Durant sa thèse, F. Hobléa travaille en étroite relation avec Vincent Grandgirard, docteur suisse de l'université de Fribourg dont le sujet de thèse est directement centré sur la notion de géotope et sur l'inventaire des géotopes helvètes (Grandgirard, 1997a). Ce sont les prémices d'une collaboration avec les universitaires suisses, pionniers dans le domaine, qui ira *crescendo* au début des années 2000 (cf. *infra*, II).

Une autre thèse, soutenue en 1997 par Christophe Gauchon au sein de l'Institut de Géographie Alpine à l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1, explore pour sa part le volet historique, touristique et culturel de la dimension patrimoniale de l'endokarst (Gauchon, 1997). Elle constitue également une des racines de la thématique géopatrimoniale au sein du futur laboratoire EDYTEM, dont on voit le lien originel avec le milieu karstique.

2 - Émergence : des trajectoires géographiques et géologiques disjointes

Peu après la création du laboratoire, plusieurs thèses réalisées en son sein, entre 2003 et 2007, portent sur le thème des patrimoines karstiques. La thèse soutenue en 2003 par Vincent Biot (2006) s'intéresse au tourisme souterrain en France, alors que Laudy Doumit (2007) aborde la valorisation du patrimoine endokarstique libanais et Mélanie Duval (2008a) compare la mise en valeur des gorges de l'Ardèche et du karst slovène. Dans ces différents travaux, les contraintes d'aménagement et de protection des systèmes karstiques sont prises en compte afin de prévenir les conséquences de la fréquentation touristique. Cet intérêt porté à la géoconservation est primordial lorsqu'on s'intéresse à la mise en tourisme des géopatrimoines.

Malgré cela, les écrits produits ne font jamais mention de l'expression géopatrimoine. En effet, à cette époque, ce champ de recherche n'est pas encore formalisé comme tel dans la communauté des géographes, notamment sur le versant de la géographie humaine. Celle-ci le traite incidemment, dans le cadre de travaux à portée plus générale sur la patrimonialisation et l'activation des patrimoines comme ressources territoriales infléchissant les dynamiques de développement local.

A contrario, depuis le début des années 1990, les géologues se sont mobilisés autour de cette thématique, il est vrai fortement liée à leur champ disciplinaire. En 1991, la communauté des géologues patrimonialistes se rassemble à Digne pour un colloque international qui se veut fondateur pour la reconnaissance de la notion de patrimoine géologique. Ils y promulguent la Déclaration internationale des Droits de la Mémoire de la Terre qui officialise et diffuse l'expression de *patrimoine géologique*, notamment par son article 7 : « *Aujourd'hui les Hommes savent protéger leur mémoire : leur patrimoine culturel. À peine commence-t-on à protéger l'environnement immédiat, notre patrimoine naturel. Le passé de la Terre n'est pas moins important que le passé de l'Homme. Il est temps que l'Homme apprenne à protéger et, en protégeant, apprenne à connaître le passé de la Terre, cette mémoire d'avant la mémoire de l'Homme qui est un nouveau patrimoine : le patrimoine géologique.* ». A la suite de cette Déclaration de Digne, alors que les tenants de la géoconservation s'organisent au sein de l'association européenne ProGEO, en France, la Réunion des Sciences de la Terre (RST) inaugure, lors de sa 15^{ème} édition en 1994 (significativement intitulée *Comprendre, valoriser et gérer la Terre*), une session consacrée au patrimoine géologique, où Guy Martini présente le rôle du Réseau National des Réserves Naturelles dans la préservation des patrimoines géologiques. Des Journées nationales du patrimoine géologique sont également organisées depuis 1997. Les cinquièmes journées sur le thème *Quel avenir pour le patrimoine géologique en France ?* se sont tenues à Caen en octobre 2013.

Rapidement cependant, la notion de géopatrimoines, qui peut d'une part s'appliquer à des objets géomorphologiques et recouvre, qui plus est, des enjeux patrimoniaux et touristiques, est progressivement investie par les géographes et en particulier par les géomorphologues. L'Association Internationale des Géomorphologues (AIG) valide en 2001, lors de la Conférence de Tokyo, un groupe de travail sur les géomorphosites (*Working Group on Geomorphosites*, WGG), proposé et coordonné par Emmanuel Reynard de l'Université de Lausanne et Paola Coratza de l'Université de Modena e Reggio Emilia. Ce groupe de travail a pour but de développer des aspects de définition, d'évaluation et de cartographie mais aussi de valorisation et de conservation des patrimoines

géomorphologiques (Reynard et Coratza, 2013). Fabien Hobléa rejoint la centaine de membres qui constituent ce groupe en 2004. Il en est alors, avec Jean-Pierre Peulvast (Paris Sud) et Myette Guiomar (Réserve Géologique de Haute-Provence) l'un des tout premiers français.

Les géologues edytémiens sont à ce moment encore peu investis dans cette thématique de recherche.

3 - La montée en puissance : une approche interdisciplinaire

A partir de 2007, l'inventaire des mines et carrières commandé par le Parc naturel régional de Chartreuse (Cayla, 2005), les travaux sur la *Via Gealpina* (Cayla et Hobléa, 2011) et la géologie dans la ville (Cayla et Tritenne, 2011), développés dans le cadre de l'Année Internationale de la Planète Terre, le programme de la Maison des Sciences de l'Homme de Grenoble sur la valorisation des géopatrimoines et le lancement opérationnel de l'inventaire national du patrimoine géologique par l'État, vont être l'occasion d'un rapprochement entre géologues et géographes, membres du laboratoire. La codirection par Dominique Gasquet et F. Hobléa de la thèse soutenue en 2009 par Nathalie Cayla sur le thème du géotourisme à travers l'arc alpin (Cayla, 2009), en sera l'une des premières concrétisations. Plusieurs sites d'étude, en Allemagne, Suisse, Italie et Autriche, labellisés *Global Geopark* ou inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre du critère VIII sont au cœur de ce travail doctoral.

Parallèlement et afin de construire un nouvel axe de recherche autour des Géotopes de montagne, fédérant tout à la fois des chercheurs du laboratoire mais également les Universités de Lausanne (Suisse), Ibn Zohr à Agadir (Maroc) et St Joseph à Beyrouth (Liban), un pôle de recherche interdisciplinaire est soutenu par l'Université de Savoie dans le cadre d'un programme PPF (Plan Pluri-formation) qui démarre en 2007. A cette occasion, Joëlle Rochas, historienne des sciences, devient membre associée du laboratoire. Elle interroge et enrichit, *via* l'exploitation des archives la dimension culturelle inhérente à de nombreux géosites en particulier miniers (Rochas, 2008, 2013).

Ce programme consolide les actions engagées dans le cadre du programme Volubilis France-Maroc (2007-2011) porté par Véronique Peyrache-Gadeau et Mohamed Oudada, qui s'est achevé en 2011 par la tenue d'un colloque à Ouarzazate où plusieurs membres du laboratoire ont pu présenter l'état des réflexions communes ou bien des actions relatives aux géopatrimoines (Cayla et Duval, 2012 ; Allignol et Gasquet, 2011, communication non publiée). Ce programme d'action comportait un volet d'identification et de valorisation des géopatrimoines de la vallée du Draâ dans le sud marocain.

Il renforce également le partenariat avec l'Institut de géographie de l'Université de Lausanne (IGUL) et conduit à l'organisation et à la participation à plusieurs colloques, conférences et workshops :

- 2008 : Colloque international Mapping Geohéritage à Lausanne et Réunion des Sciences de la Terre à Dijon ;
- 2009 : Workshop conjoint IGUL-EDYTEM sur les dunes lacustres et autres géopatrimoines du site d'Excenevex (rive française du lac Léman) en partenariat avec le projet de Geopark du Chablais dont Anne Guyomard, ancienne doctorante du laboratoire qui a soutenu une thèse de Géologie relative au Chablais, est désormais en charge ;
- 2010 : Colloque à Lausanne *Les géosciences au service de la société* (Hobléa et al., 2011 a ; Cayla et Hobléa, 2011) ;
- 2011 : ISGM (*International Symposium on Geosites Management*) co-organisé en Savoie par EDYTEM et l'IGUL en septembre 2011 sur le thème de la gestion des géosites, en partenariat avec les territoires savoyards du Chablais et des Bauges, alors candidats pour intégrer le réseau des géoparcs européens.

Parallèlement, le laboratoire s'engage peu à peu dans la thématique géopatrimoniale par le biais de sollicitations d'expertises s'appuyant sur les compétences développées et la capitalisation des résultats de recherches antérieures, mais nécessitant aussi des compléments de recherche spécifiques et des ajustements méthodologiques relatifs aux objets mêmes de la recherche sur les géopatrimoines (techniques et méthodes d'inventaire et d'évaluation, approche multiscalaire, prise en compte des jeux d'acteurs...). Ces expertises, pluridisciplinaires, conduisent ainsi à la pratique d'une recherche-action dans le cadre d'études de classement et de mesures de valorisation de sites en lien avec des projets Grands Sites de France ou d'inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO : site de Choranche-Les Coulmes (Vercors) entre 2005 et 2007 ; d'Orgnac et de Chauvet-Pont d'Arc en Ardèche depuis 2006. Cette expertise est reconnue à l'échelle régionale et nationale avec l'intégration de plusieurs membres du laboratoire dans la Commission Régionale du Patrimoine Géologique (CRPG) Rhône-Alpes en 2009, au Comité National du Patrimoine Souterrain (dès sa création en 2007), et enfin en 2012 à la Conférence Permanente du Patrimoine Géologique (créée en 1998), pour y représenter la géomorphologie, jusqu'alors absente de cette instance.

En toile de fond, un fil rouge se distingue peu à peu entre 2003 et 2013, celui de l'implication du laboratoire dans l'accompagnement de la démarche de labellisation *Global Geopark*. L'aventure commence avec les premiers stagiaires encadrés par Gérard Nicoud pour recenser les potentiels géopatrimoniaux du Chablais qui envisage dès 2003 de se

lancer dans cette démarche innovante et encore peu connue en France (même si le concept a été inventé dans la Réserve Géologique de Haute-Provence, qui fait partie des membres fondateurs du réseau en 2000). Elle se poursuit avec le recrutement d'Anne Guyomard suite à sa thèse sur l'aquifère des eaux d'Évian, en tant que géologue chargée du montage du projet Geopark du Chablais, et l'intégration de plusieurs membres du laboratoire au conseil scientifique du futur *Global Geopark*. En 2008/2009, le laboratoire est également contacté puis sollicité par le Parc naturel régional du massif des Bauges pour l'accompagner dans la même démarche. Les deux territoires, distants de moins de 100 km, se retrouvent dans la situation inconfortable de déposer leur candidature la même année, fin 2010, alors que le PNR du Vercors, également fortement tenté, a finalement renoncé (Hobléa et al., 2011 a). L'issue positive, à six mois d'intervalle (septembre 2011 pour les Bauges et mars 2012 pour le Chablais), des deux candidatures accompagnées par le laboratoire, conforte celui-ci dans son engagement thématique confirmé par son implication dans les perspectives d'étoffement du réseau, tant au niveau régional (projets du PNR des Monts d'Ardèche, du Beaujolais...) qu'in-

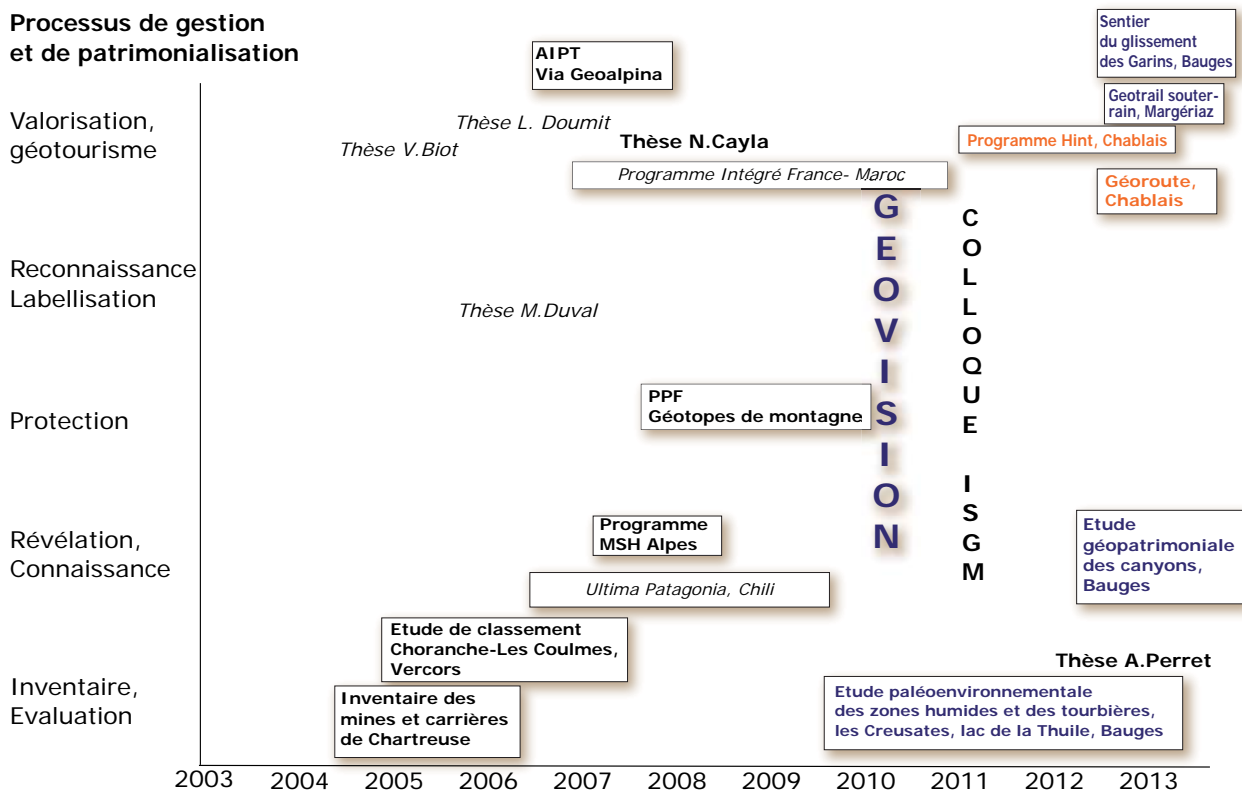
ternational (projets en Russie, en Bulgarie, jumelage du massif des Bauges Geopark avec le *Global Geopark* karstique chinois de Leye-Fengshan) (cf. encadré).

Lorsqu'en 2011 les géopatrimoines deviennent l'un des objets emblématiques du laboratoire, cet axe de recherche recouvre des travaux portant sur les différentes phases de la patrimonialisation et de la mise en tourisme, thèmes investis par les travaux de différents membres de chacune des équipes (Figure 2) :

- inventaires (e.g. inventaire des géosites glaciaires du Chablais) ;
- protection (e.g. inscription au Grand Site de France du site de Choranche-les-Coulmes) ;
- connaissance (e.g. modélisation 3D appliquée à la connaissance des sites karstiques) ;
- valorisation (e.g. développement du géotourisme dans l'arc alpin).

Ainsi, les géopatrimoines deviennent au fil du temps un objet fédérateur dont les différentes facettes peuvent être investies à des degrés divers par l'ensemble des équipes du laboratoire suivant les programmes conduits ou les sites étudiés. Cet investissement s'appuie sur une forte dimension partenariale et collaborative.

Processus de gestion et de patrimonialisation



En gras, programmes et actions inclus dans l'objet emblématique ; en italique, programmes et actions liés à l'objet emblématique

Figure 2 - Dix années de programmes et d'actions autour des géopatrimoines

II - CONSTRUCTION D'UN RÉSEAU DE PARTENAIRES S'APPUYANT SUR DES BASES TERRITORIALES FORTES

1 - Un réseau multiscaleaire

L'approche de terrain, à l'interface des territoires et des réseaux d'acteurs, est au cœur des travaux de recherche portant sur l'objet emblématique géopatrimoine. Ces travaux reposent sur une recherche impliquée et appliquée, au plus près des territoires, renforçant les liens étroits et constructifs que l'Université de Savoie entretient avec les acteurs socio-économiques locaux, régionaux, et au-delà.

Le réseau partenarial établi en une décennie comprend plusieurs sphères (Figure 3) :

Une sphère proximale

Elle rayonne sur les deux Savoie et les massifs montagneux de l'Isère. Elle est essentiellement ancrée sur des collectivités locales et des espaces protégés engagés dans des opérations d'aménagement et de développement relatives aux géopatrimoines, de manière ponctuelle ou durable. Ces opérations donnent lieu à des collaborations elles-mêmes éphémères ou suivies, mobilisant souvent aux côtés des enseignants-chercheurs des étudiants de 3^{ème} année de Licence et de Master. Nous pou-

vons citer à titre d'exemples et sans viser l'exhaustivité, les collaborations avec la Communauté de Communes de Yenne, développant une médiation géodidactique et paysagère au sein de la maison de la Dent du Chat (L. Astrade, F. Hobléa et E. Dubois) ; avec la Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse pour la mise au point d'un protocole d'inventaire et de cartographie géomatrisé de ses patrimoines géologiques (F. Hobléa et étudiants de L3/Master EPGM) ; avec le Parc National de la Vanoise pour l'inventaire de ses géopatrimoines (N. Cayla et étudiants de M1 STADE) ; avec la ville de Chamonix et la Compagnie des Alpes pour des expositions et des médiations sur les patrimoines glaciaires du massif du Mont Blanc (S. Coutterand, P. Deline, L. Moreau, L. Ravanel) avec participation notable à l'animation et la valorisation du site du Montanvers (cf. encadré) ; avec l'Espace Belledonne pour la mise en place de la route du Fer (V. Peyrache-Gadeau, N. Cayla et des étudiants de Lpro Valpesmont) ; et bien sûr avec le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais (SIAC) et le Parc naturel régional du massif des Bauges pour la mise en place et l'animation de leurs *Geoparks* respectifs (cf. encadrés)

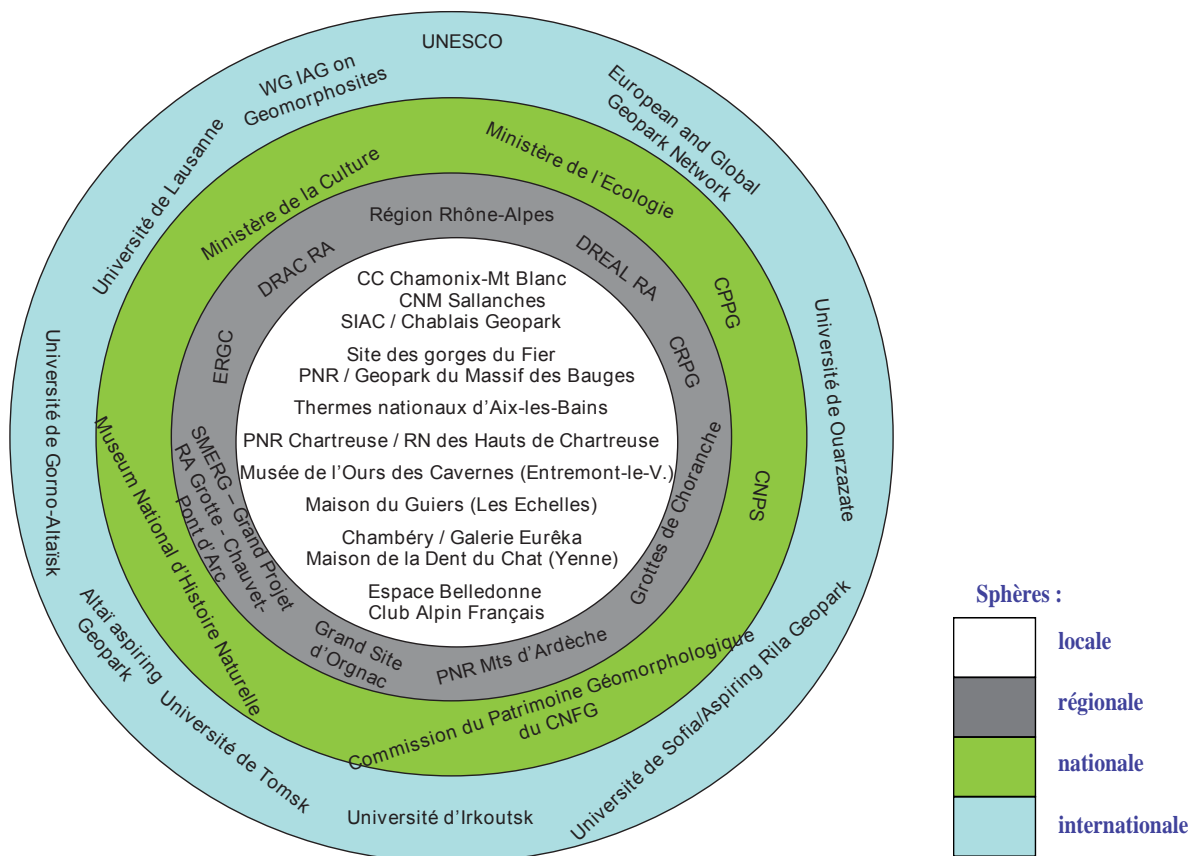


Figure 3 - Les sphères de collaboration et de rayonnement du laboratoire EDYTEM, relatives aux géopatrimoines (2003-2013). Les principaux partenaires sont indiqués à l'intérieur des sphères.

Outre ces partenariats avec les collectivités locales, des collaborations de recherche ont été engagées avec des sites géotouristiques : Site historique de la Voie sarde et des grottes des Échelles, animé et géré par un ancien étudiant de géographie de l'Université de Savoie, A. Beauquis, ayant fait sa maîtrise sur les valeurs patrimoniales et la trajectoire touristique du site. Le secteur, englobant l'ensemble du système karstique dans lequel est inscrit le site, est devenu un site-atelier du laboratoire, instrumenté depuis 2001 et faisant l'objet d'études interdisciplinaires ayant mobilisé plusieurs chercheurs edytémiens (F. Hobléa, C. Gauchon, Y. Perrette, M. Dzikowski, B. Fanget, E. Malet) ainsi que plusieurs générations d'étudiants de la L3 au doctorat ; géosite des grottes thermales actives d'Aix-les-Bains, lequel a fait l'objet d'une recherche partenariale avec les Thermes nationaux initiée en 1996 avec l'étude des interactions entre le karst thermal et l'aménagement des nouveaux thermes Chevalay dans le cadre de la thèse de F. Hobléa et réactivée avec la thèse de S. Gallino sur l'aquifère thermo-minéral qui a permis des investigations karstologiques (travaux de l'équipe de Ph. Audra (Université de Nice) associant F. Hobléa) et historico-géographiques (C. Gauchon) ; site touristique des gorges du Fier, pour lequel l'Université de Savoie est intervenue en 2008-2009 dans la conception d'un espace d'interprétation géopatrimonial et géodidactique confiée à un groupe d'étudiants de L3 Géographie et IMM encadrés par F. Hobléa. Ainsi est née dans l'espace de visite *la clairière des curieux* où se mêlent la restitution des valeurs géoscientifiques (canyon et modelés karstiques) et additionnelles (légendes...) du géosite ; enfin une amorce de collaboration avec le géosite touristique à gestion privée des grottes et cascade de Seythenex dans le Geopark des Bauges, qui demandera à être développée et approfondie.

Une collaboration originale avec le Club Alpin Français a également amené certains membres des laboratoires EDYTEM (F. Allignol, D. Gasquet, L. Ravanel) et ISTERRE (J.-M. Bertrand) à réaliser des livrets de vulgarisation et d'interprétation des paysages visibles depuis des refuges du CAF dans les massifs nord-alpins français (Bertrand et Gasquet, 2008 ; Allignol et Gasquet, 2010, 2011 ; Allignol *et al.*, 2011).

L'UMR ISTERRE (CNRS/Universités de Grenoble et de Savoie) est également engagée avec EDYTEM dans des recherches concernant des géosites du massif des Bauges qui seront intégrées à leur valorisation géotouristique et géoéducative (lac de la Thuile, C. Crouzet, F. Arnaud, J. Poulénard et P. Sabatier).

Une sphère régionale

EDYTEM est fortement impliqué dans la gestion et la valorisation des sites karstiques régionaux à forte valeur patrimoniale.

Entre 2005 et 2007, un projet de classement au Patrimoine Mondial, au titre des biens naturels, d'un bien sériel de 18 grottes à minéralisations exceptionnelles, amène le laboratoire à travailler avec la DIREN Rhône-Alpes (devenue DREAL) sur l'étude de classement du site des grottes de Choranche et du plateau des Coulmes (PNR du Vercors). C'est l'occasion pour EDYTEM de valoriser les résultats scientifiques obtenus sur les grottes de Choranche (site atelier emblématique du laboratoire, cf. OE Karst). Le laboratoire a ici pris le relais d'une longue et ancienne tradition d'étude de ce système karstique exceptionnel, remontant à plusieurs décennies et formant elle-même patrimoine en appartenant à l'histoire de la karstologie française et européenne. Au-delà de la mobilisation des résultats scientifiques pluridisciplinaires relatifs au site et capitalisés depuis des décennies, l'étude de classement permet au laboratoire de travailler sur les méthodes d'inventaire et d'évaluation, sur la caractérisation et l'analyse des paysages souterrains, ainsi que, non sans difficultés, sur la gestion des jeux d'acteurs et des procédures de concertation. Elle mobilise durant deux ans un nombre important de membres du laboratoire (J.-J. Delannoy, E. Ployon, A. Paillet, C. Gauchon, F. Hobléa, S. Jaillet, L. Astrade). Elle renforce également la collaboration avec l'exploitant de ce site touristique relevant d'une gérance privée, qui intègre des membres du laboratoire (C. Gauchon et F. Hobléa) à son Comité stratégique créé pour l'occasion.

Mais, à cette échelle régionale, c'est sur l'Ardèche que les activités du laboratoire en matière de patrimoines karstiques se sont surtout focalisées durant la décennie écoulée. Cette intense activité mobilise de concert un nombre important de membres des équipes Archives et Territoires (J.-J. Delannoy, S. Jaillet, C. Gauchon, M. Duval, B. Sadier, C. Malgat, F. Prudhomme, D. Cailhol, D. Gasquet, É. Chalmin). Deux sites sont principalement investis par ce groupe : l'Aven d'Orgnac (Grand Site de France®) et le site Chauvet-Pont-d'Arc, objet d'un espace de restitution (ERGC) et candidat au classement au Patrimoine Mondial de l'UNESCO au titre des biens culturels, ce qui motive également l'implication de la Région Rhône-Alpes qui en a fait un de ses *Grands Projets*. Le laboratoire EDYTEM participe à la définition et l'accroissement des valeurs scientifiques des sites, que ce soit par ses études géomorphologiques combinant analyses 3D et datations, et par un volet davantage sciences humaines et sociales s'intéressant aux valeurs culturelles et historiques des sites étudiés (histoire de la fréquentation touristique du site d'Orgnac par exemple). Fort des compétences développées, le laboratoire a ainsi été sollicité par la DIREN Rhône-Alpes (DREAL) pour proposer une extension du site classé du pont d'Arc, en lien avec les valeurs patrimoniales de la grotte Chauvet située

à proximité immédiate (classements initiaux de 1931, 1982, nouvelle extension en 2013). Les compétences spécifiquement développées pour l'étude de ces sites lui valent d'être également associé à la médiation et à la valorisation (exposition sur le site d'Orgnac, conférences, participation au fac simulé et à la muséographie de l'ERGC en cours de construction...).

Au-delà de cette implication forte et structurante dans la gestion et la valorisation de sites touristiques karstiques à haute valeur patrimoniale, EDYTEM participe également à la gestion et la valorisation des géopatrimoines régionaux en étant associé à la CRPG (Commission Régionale du Patrimoine Géologique – P. Renau, N. Cayla, F. Hobléa), pilotée par la DREAL Rhône-Alpes et chargée du suivi régional de l'Inventaire National du Patrimoine Géologique (INPG). Le laboratoire a également été invité par le PNR des Monts d'Ardèche à participer au conseil scientifique créé pour accompagner la candidature du territoire au réseau des *Global Geoparks* (F. Hobléa, D. Gasquet, J.-J. Delannoy).

Une sphère nationale

Sur le plan national, la thématique des sites endokarstiques à forte valeur patrimoniale se retrouve au premier plan des collaborations du laboratoire, impliqué avec le Ministère de la Culture dans les études sur la conservation des peintures de la grotte ornée de Lascaux (convention avec le Ministère pour rattachement au laboratoire d'une assistante-ingénieure du Centre National de Préhistoire de Périgueux : É. Boche). J.-J. Delannoy participe aux conseils scientifiques de Lascaux et de la Grotte Chauvet. Dans le même registre, mais cette fois en lien avec le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, des membres du laboratoire (J.-J. Delannoy, C. Gauchon, F. Hobléa) ont été nommés au sein du Comité National du Patrimoine Souterrain (CNPS) créé en 2007. Dans le prolongement, F. Hobléa a été intégré à la Conférence Permanente du Patrimoine Géologique (existant depuis 1998) pour y représenter la géomorphologie et la karstologie (cette dernière étant jusqu'à présent quelque peu laissée pour compte des niveaux régionaux et de la conception de l'Inventaire National du Patrimoine Géologique). Ces implications se traduisent par des collaborations avec les membres de ces instances et notamment ceux en charge des géopatrimoines au Museum d'histoire naturelle (P. de Wever, G. Egoroff, A. Cornée).

Des membres du laboratoire EDYTEM (F. Hobléa et N. Cayla) ont été également fortement impliqués dans la création (2010) et l'animation de la commission du patrimoine géomorphologique au sein du Comité National Français de Géographie à l'initiative de D. Sellier (Université de Nantes). La commission a pour but de participer à la prise en compte spécifique du patrimoine géomorphologique au cœur

des activités de recherche fondamentale et appliquée qui depuis quelques années se développent dans le champ des géopatrimoines.

Elle se réunit deux fois par an. L'assemblée générale se tient à Paris et est précédée chaque année par une série d'exposés visant à mieux circonscrire la notion de patrimoine géomorphologique.

Une excursion annuelle permet sur le terrain de confronter les différentes approches conduites par les membres de la commission.

Une sphère internationale

La thématique des géopatrimoines contribue au rayonnement international du laboratoire.

D'abord par la participation à de nombreuses manifestations scientifiques internationales et à l'organisation de colloques en lien avec la thématique : ISGM 2011 (F. Hobléa, N. Cayla), colloque final Volubilis à Ouarzazate en 2011 (V. Peyrache-Gadeau, M. Duval, N. Cayla), colloque des Entretiens Jacques Cartier sur l'après-mine en 2013 (D. Gasquet et M. Rossi).

Ensuite par l'établissement d'un partenariat fort avec l'Université de Lausanne, en pointe dans la thématique des géopatrimoines au sein de la Faculté des Géosciences de l'Environnement et notamment de son Institut de géographie et durabilité dirigé par E. Reynard. Cette collaboration régulière a débouché sur de nombreuses actions communes, co-organisations (cf. *supra*) et co-publications (par exemple : Reynard *et al.*, 2011 ; Hobléa *et al.*, 2013). Ce partenariat a aussi bénéficié de l'intégration dès 2004 de F. Hobléa et N. Cayla dans le *Working Group IAG* sur les Géomorphosites, créé en 2001 par E. Reynard. Ce groupe de travail diffuse efficacement les travaux du laboratoire dans la communauté géomorphologique internationale. Fin 2013, à la suite de la conférence *IAG* de Paris, F. Hobléa a été sollicité pour prendre la suite d'E. Reynard, appelé à d'autres fonctions au sein de l'*IAG*, dans la coresponsabilité du *Working Group* aux côtés de P. Coratza (Université de Modène et Reggio Emilie). En octobre 2012 à Lausanne, à l'initiative d'E. Reynard, une partie des membres du *Working Group* a créé le *Mountain Geomorphosites Network (MGN)*, réseau international de géomorphologues travaillant sur les Géomorphosites de Montagne. EDYTEM fait partie des membres fondateurs de ce réseau qui s'est donné comme premiers objectifs de mutualiser les demandes de moyens pour développer des actions de recherche (programmes financés, thèses...) en envisageant les géomorphosites de montagne au travers de leur intense activité morphogénique, de leur potentiel d'aménités en tant que ressource patrimoniale mobilisable pour le développement territorial, et en tant que sites particulièrement favorables à une valorisation faisant usage des supports et outils numériques et de représentation 3D.

L'engagement du laboratoire aux côtés des territoires rhônalpins lancés dans la démarche *Global Geopark* connaît également des développements à l'international. Le système de parrainage des aspirants au label par des membres du réseau entraîne par voie de conséquences la sollicitation du laboratoire pour l'accompagnement de projets dans des pays souhaitant intégrer le réseau, notamment en Sibérie avec le projet d'une première candidature russe engagée en Altaï, ou des projets plus récents du côté du lac Baïkal et du Kamchatka, régions s'ouvrant au tourisme et intéressées notamment par le géotourisme. Plus proche de la Savoie, le projet bulgare de Rila compte également sur l'expertise du laboratoire EDYTEM, non seulement dans la thématique géopatrimoniale mais également dans le domaine du développement et de l'aménagement touristique durables des territoires de montagne. Toutes ces sollicitations témoignent, non seulement de la formidable montée en puissance du réseau, mais aussi du rayonnement et de la notoriété croissante d'EDYTEM dans ce domaine.

2 - Une démarche partenariale fondée sur les principes de la Recherche-Action-Collaborative

La thématique des géopatrimoines est investie au sein d'EDYTEM en collaboration étroite avec les acteurs territoriaux et institutionnels dans le cadre d'une recherche impliquée et appliquée. Cette pratique relève des cadres et dispositifs de la Recherche-Action-Collaborative (laquelle est analysée au sein du Labex ITEM comme partie prenante des mécanismes de l'innovation en montagne), plutôt que de ceux d'une recherche académique et conventionnelle, plus communément pratiquée au laboratoire, dont financement et mise en œuvre relèvent des grands programmes académiques nationaux ou européens (ANR, FP7...).

L'implication du laboratoire aux côtés des territoires et institutions engagés dans les différents volets de la gestion et de la valorisation des géopatrimoines, tels que la démarche *Geopark* ou la préservation et la valorisation des patrimoines endokarstiques, a permis de lancer des recherches collaboratives innovantes et fructueuses, formalisées par des conventions d'étude ou des convention cadres (PNR massif des Bauges/EDYTEM) permettant notamment d'assurer aux recherches co-construites les moyens matériels et financiers de leur mise en œuvre, mais également un cadre de référence pour l'utilisation et la valorisation de leurs résultats.

Les partenariats les plus forts se sont également traduits par l'intégration dans le laboratoire, sous le statut de membre associé, de plusieurs acteurs clefs

de cette recherche-action œuvrant au sein des organismes partenaires (A. Guyomard, P. Renau pour les Geoparks ; F. Prud'homme pour les sites karstiques touristiques à haute valeur patrimoniale ; S. Coutterand et L. Moreau pour les géopatrimoines glaciaires ; L. Martin et P.-J. Rey pour les liens entre les géosites et l'archéologie ; V. Biot pour les géopatrimoines paléontologiques). Ils représentent un lien essentiel entre le laboratoire et les structures partenaires des recherches collaboratives (cf. encadrés).

Il n'est pas anodin de noter qu'un certain nombre de membres associés sont d'anciens doctorants du laboratoire. Ainsi la notion de géopatrimoine, abordée directement ou indirectement dans leur thèse, couplée par la suite à une expérience d'accompagnement et de développement des territoires, trouve toute son opérationnalité au service des collectivités.

Elle s'organise en bonne coordination avec les membres du laboratoire notamment au travers des conseils scientifiques, comme ceux du site paléontologique de la Voulte (V. Biot, N. Cayla) ou du Geopark du Chablais (A. Guyomard, N. Cayla, J.-J. Delannoy, M. Duval, D. Gasquet, F. Hobléa, G. Nicoud).

Il en est de même pour la communauté spéléologique et ses structures fédérales, plus particulièrement impliquées dans les recherches-actions et les études concernant la valorisation et la gestion des géopatrimoines karstiques. Cette collaboration, elle aussi intense et étroite, s'appuie notamment sur le club Speleus (Spéléologie Université de Savoie), créé en 2011 par Matthieu Thomas, jeune diplômé du Master STADE investi dans la spéléologie scientifique, éducative et géopatrimoniale. Speleus et bien d'autres clubs partenaires des Savoie ou d'autres régions participent aux actions tant sur le terrain avec l'implication active dans les traçages participatifs, les campagnes de fouilles paléontologiques en grotte menées sous la direction de C. Griggo, les prélèvements d'échantillons d'eau, de roche et de divers dépôts souterrains sédimentaires ou biogéniques, que dans le cadre de l'élaboration d'instruments de gestion et de valorisation des milieux et patrimoines karstiques associant les compétences et connaissances des deux parties, par exemple pour mettre en œuvre le volet géopatrimonial du Rassemblement Interfédéral Canyon accueilli dans le Geopark des Bauges en juin 2013 (approche novatrice des canyons sous un angle géomorpho-patrimonial par J. Berthet, F. Hobléa, S. Jaillot, R. Lejarre et M. Thomas), ou la réalisation du guide technique du CREN sur la gestion des espaces karstiques. Autant d'actions qui justifieraient l'élaboration d'une convention partenariale entre le laboratoire et les organes fédéraux locaux (CDS Savoie) et/ou régionaux (Comité Spéléologique Régional Rhône-Alpes).

LES PARTENARIATS AVEC LES TERRITOIRES LABELLISÉS GLOBAL GEOPARK AU SERVICE DE LA RECHERCHE(-ACTION) ET DE LA VALORISATION DE LA RECHERCHE AUTOUR DES GÉOPATRIMOINES

L'objet emblématique géopatrimoine a établi diverses relations avec les territoires labellisés Global Geoparks ou en voie de l'être. Ces partenariats sont de nature institutionnelle avec des structures comme le Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Chablais pour le Geopark du Chablais ou le PNR du massif des Bauges pour le Geopark du massif des Bauges. Ils ont été également l'occasion d'intégrer comme membre associé différents professionnels de terrain dans des démarches de recherche-action ou de diffusion de la recherche.



Figure a - Les participants au colloque ISGM 2011.

Les actions conduites avec le Geopark du Chablais¹ sont nombreuses et ont commencé bien avant la labellisation de ce territoire. Anne Guyomard, aujourd'hui coordinatrice du Geopark du Chablais, ayant réalisé son doctorat, financé par l'entreprise Danone qui possède les eaux d'Evian, sous la direction de Serge Fudral, alors directeur adjoint du laboratoire EDYTEM. Plusieurs membres du laboratoire participent au comité scientifique du Geopark et ont collaboré activement en 2012/2013 à la validation des panneaux d'interprétation de la géoroute qui sera l'un des éléments structurants du Geopark. Le programme HINT (Heritage Interpretation through New Technologies, 2010-2013) qui a regroupé quatre partenaires labellisés Global Geopark (Shetland Amenity Trust, North Pennines AONB, Geopark Chablais et le Geopark de Hondsrug) a été l'occasion pour le laboratoire de conduire une action d'expertise dans le cadre de ce

programme Leader investi dans des projets pilotes de développement d'applications numériques au service du géotourisme (Cayla et Guyomard, 2012). Il est à l'origine du cours intensif sur ce thème réalisé en 2011 à Evian suivi d'une session de présentations lors du Colloque ISGM et qui a donné lieu à la parution d'un numéro de *Geoheritage* auquel ont collaboré de nombreux edytémiens (Figure a).

En 2012, l'inauguration de l'exposition *Patrimoines glaciaires des trois Chablais* matérialise la volonté des acteurs locaux de diffuser au plus près des habitants du territoire, mais également des touristes, les résultats de recherches récentes. Cette exposition s'appuie en effet sur les travaux d'Amandine Perret, par ailleurs présentés dans cet article. Le but de l'exposition n'est pas de proposer un cours sur des glaciers, mais de réveiller la mémoire des glaciers du Chablais et de mettre en valeur leurs témoins (Perret, 2013). C'est pourquoi l'exposition s'organise suivant trois entrées indépendantes et complémentaires : (i) histoire des connaissances glaciaires, (ii) chronologie des stades de retrait glaciaire depuis la dernière extension maximale, (iii) témoins glaciaires et vie quotidienne. Elle comprend 20 kakemonos et trois postes d'interprétation : (i) toucher des matériaux glaciaires (différentes textures : rugosité, granulométrie,...), (ii) comprendre la formation des cheminées de fées et (iii) suivre l'évolution des fronts glaciaires. Suite à la mise en place de l'exposition, le Geopark Chablais a développé, en partenariat avec des enseignants, un atelier à destination des collégiés. Depuis juillet 2012, cette exposition se déplace, en France et en Suisse, sur des durées allant de 15 jours à 5 mois. Elle a été accueillie aussi bien dans des centres d'interprétation que des collèges, lycées ou Maison de la Jeunesse et de la Culture. Quand l'exposition est mise à disposition d'un site, le lieu d'accueil se voit proposer (i) une conférence de Sylvain Coutterand ou du Geopark Chablais, (ii) des ateliers pédagogiques pour les scolaires ; ces ateliers pouvant être animés par les enseignants ou des accompagnateurs en montagne (AEM formés au patrimoine géologique), (iii) des sorties terrains avec les AEM sur des sites présentés dans l'exposition (Vouas du Lyaud, Lac des Plagnes...). Cette expérience a réuni un large réseau d'acteurs : chercheurs et membres associés du laboratoire, institutionnels et acteurs locaux des territoires concernés pour une diffusion auprès d'un large public des connaissances issues de la recherche pour une meilleure compréhension par les habitants de leurs géopatrimoines.

D'autres actions sont emblématiques de ces partenariats tissés sur le long terme.

Ainsi, depuis 2010, Pierre Renau est membre associé à l'équipe Territoires. En charge d'un GME (regroupement d'entreprises) dénommé CalcEre (acronyme de Coordination Locale en Education Relative à l'Environnement) il a assuré pour le compte du PNR du massif des Bauges le montage du dossier de candidature à la labellisation Geopark.

¹ Les actions du Geopark Chablais sont financées par les collectivités du Chablais, le Conseil Général de Haute Savoie, la Région Rhône-Alpes (Contrat de Développement Durable Région Rhône-Alpes), l'Europe (LEADER ou INTERREG France Suisse).



Figure b - Traçage participatif dans le massif des Bauges (2010).

CalcEre, créé en 1999, regroupe 6 associés indépendants, tous Accompagnateurs en montagne diplômés en géosciences.

CalcEre est un acteur de la diffusion des connaissances élaborées au sein du laboratoire. Ainsi, Pierre Renau a été étroitement associé aux expérimentations conduites sur la tourbière des Creusates, site Natura 2000 et Géosite n° 24 du Geopark. Cette tourbière fait l'objet, depuis 2010, d'un programme de recherche portant sur son fonctionnement hydro-dynamique actuel ainsi que sur son évolution paléo-environnementale. Les données recueillies ont servi à l'élaboration du sentier de découverte mis en place récemment par le Parc naturel régional et sont exploitées pour la création d'un produit géotouristique élaboré à partir des connaissances nouvellement acquises. Un scénario d'interprétation, créé par CalcEre, à destination des scolaires

mais également des géotouristes, permet de reconstituer, à travers une visite de terrain *l'Enquête du temps*, l'histoire de la tourbière... sous l'angle des géosciences. Cette valorisation a été primée par la Fédération des PNR et figure dans l'offre : *Destination Parcs*. Elle diffuse auprès de différents publics les résultats d'une recherche active, de proximité et inscrite dans un projet de recherche paléo-environnementale à l'échelle de l'arc alpin.

CalcEre a également été étroitement associé aux travaux de recherche-action conduits lors de divers traçages participatifs, tel celui réalisé en 2010 au Colombier d'Aillon. Cette journée de terrain, soutenue par le Parc naturel régional du massif des Bauges, a réuni de nombreux acteurs locaux : des spéléologues, les classes de 5e du Collège des Bauges et leurs enseignants de SVT, des Accompagnateurs en montagne, des élus des communes concernées ainsi qu'une équipe de vidéastes. La logistique d'organisation pratique de cette journée a été coordonnée en grande partie par Pierre Renau. La pleine réussite de cette manipulation a répondu au double objectif que s'étaient fixé les chercheurs : reconstituer le parcours de l'eau tout en éduquant des jeunes à cet enjeu important de ce massif karstique. Cette expérience reste gravée dans la mémoire des collégiens qui ont ainsi participé activement à l'élaboration de la connaissance scientifique de l'hydrologie du massif (Figure b). Les données ont ensuite été exploitées au sein du laboratoire. Toute cette opération a participé à une meilleure compréhension de la recherche par les collectivités locales et leurs habitants.

Plus récemment, en 2013, l'inventaire des géopatrimoine du Parc naturel régional des Monts d'Ardèche a associé le laboratoire à cette mission réalisée par CalcEre et le Bureau Relief (Lausanne). Cet inventaire utilise la méthodologie développée au sein du laboratoire en partenariat avec l'UNIL. La mise en œuvre des grilles d'indicateurs élaborés permet d'en vérifier la pertinence et l'opérationnalité. Un nouveau projet de Geopark est en cours en Altaï. Pierre Renau y a déjà effectué une première mission lors de la conférence pour l'Altaï Geopark en 2013 à Gorno-Altaïsk associée à une expertise des géosites sur le terrain (Figure c).

Ces quelques exemples, qui sont loin d'illustrer l'ensemble des travaux réalisés avec le réseau des Geoparks, sont à bénéfices réciproques pour chacun des acteurs. Le laboratoire y trouve un soutien financier et logistique permettant de développer des programmes de recherche qui confortent sa lisibilité sur cette thématique des géopatrimoine à travers un réseau d'extension mondiale. Les territoires labellisés ou en voie de l'être y trouvent l'expertise nécessaire au développement d'aménagements, de projets ou d'événements, indispensables à la dynamique du réseau auquel ils adhèrent. Les professionnels de terrain, membres associés du laboratoire, sont un relais entre les chercheurs et les acteurs du territoire. Ils agissent principalement, mais pas seulement, dans la phase de valorisation des travaux scientifiques auprès des publics, étape qui facilite l'acceptation sociale de la recherche.

Toutes ces relations, progressivement mises en place, offrent également à nos étudiants, l'occasion d'apprentissage en situation réelle, la mise en œuvre de leur compétences lors de stages, voire, pour certains le premier pas vers leur vie professionnelle.



Figure c - Expertise de terrain pour le projet de Geopark de l'Altaï (Photo P. Renaud, 2013).

III - ENJEUX, RÉSULTATS ET PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES DES RECHERCHES D'EDYTEM SUR LES GÉOPATRIMOINES

S'il fallait résumer et caractériser en quelques mots le fil directeur et fédérateur de l'approche des géopatrimoines au sein d'EDYTEM, c'est finalement la question de la gestion des géopatrimoines en tant que ressources patrimoniales et territoriales qui permettrait le raccourci le plus parlant. Cette approche se déclinant d'une part sur l'ensemble des éléments du processus de gestion, de l'inventaire à la valorisation, et d'autre part se connectant étroitement aux axes de recherche du laboratoire sur les processus de patrimonialisation et de territorialisation induite par la mobilisation des géopatrimoines dans les dynamiques de développement territorial. Avant de présenter les résultats et la production scientifiques du laboratoire relative à ces deux volets, il semble utile de rappeler les enjeux scientifiques et sociétaux qui président à l'élaboration et à la co-construction des questions de recherche.

1 - Des questions de recherche à l'interface Sciences/Sociétés

La notion de géopatrimoines recoupe des questionnements sociétaux relatifs à (i) l'usage durable des ressources de la Terre dans un contexte de changement climatique nécessitant adaptation et diversification ; (ii) à l'extension du champ patrimonial et de son intérêt socio-économique ; (iii) à l'appropriation sociale des risques dits naturels.

Ces questionnements sont pris en compte par l'approche scientifique des géopatrimoines, et déclinés pour ce qui concerne EDYTEM au travers des questions de recherche portant plus spécifiquement sur :

Des aspects méthodologiques :

- conception, adaptation et expérimentation pratique de méthodes et d'outils d'inventaire et d'évaluation des géopatrimoines. Ceux-ci doivent pouvoir répondre à la double exigence d'être (i) adaptables aux différents types de géopatrimoines (géosites karstiques, géosites de montagne, géosites à valeurs centrales déportées, non géoscientifiques) comme (ii) aux grandes finalités identifiées (inventaire réglementaire à des fins d'identification et de protection, inventaire pour démarche de valorisation et de développement territorial...) ;
- définition et représentation (cartographique) de la vulnérabilité des sites et patrimoines, en rapport avec les préoccupations de géoconservation ;
- méthodes et outils de gestion des sites à haute valeur patrimoniale et/ou insérés dans des espaces protégés (Parcs, réserves naturelles...) ou labellisés (labels nationaux et internationaux comme les

Grands Sites de France, les *Geoparks*, les sites du Patrimoine Mondial...);

– transfert et médiation, lien entre scientifiques, gestionnaires et usagers des sites, avec le recours original aux notions et aux méthodes de la recherche-action-collaborative et de la science participative.

Des aspects théoriques et épistémologiques :

– construction et évolution de la terminologie et des concepts associés, relatifs aux processus de patrimonialisation, d'évaluation, de mise en tourisme et de valorisation territoriale des géopatrimoines. La question se pose notamment de la délimitation et de l'évolution des champs sémantique, conceptuel et disciplinaires couverts par le terme géopatrimoine et les termes apparentés (géotourisme, géodiversité, géopaysage...);

– critères de spécificité des géosites et géomorphosites de montagne : activité et réactivité, (in)accessibilité et (in)visibilité, emboîtements d'échelles, étagement, liens avec des activités humaines déclinées de manière spécifique (mines, force hydraulique, défense contre les aléas naturels...);

– dimension temporelle des géosites : expression et caractérisation de leur rapport au passé, au présent, voire au futur.

Le développement assumé d'une recherche appliquée et transdisciplinaire :

– définissant de nouvelles finalités pour l'usage des connaissances fondamentales et interdisciplinaires, ici rattachées aux géosites et à leur contexte. Que ces connaissances soient préexistantes ou produites pour l'occasion, leur usage à des fins géopatrimoniales renvoie à une nouvelle façon de concevoir les géosciences appliquées, jusqu'à présent largement concentrées sur les activités extractives et les *geohazards*, dorénavant étendues aux activités conservatoires, pédagogiques et touristiques, en lien avec la question de la géodiversité ;

– s'inscrivant plus généralement, en écho au sujet du colloque de Lausanne en hommage au géologue suisse Michel Marthaler de juin 2010, dans la réflexion sur le développement *des géosciences au service de la société*, et l'on pourrait rajouter pour ce qui concerne EDYTEM : ... *et des territoires* ;

– élargissant l'appropriation des géopatrimoines et de leurs usages et représentations aux disciplines des sciences humaines et sociales, et notamment des sciences du territoire, du développement territorial et du paysage (géographie, économie, sociologie, sciences juridiques, histoire, ethnologie...).

Les travaux sur les géopatrimoines auxquels les chercheurs d'EDYTEM ont contribué tentent d'apporter des éléments de réponse à ces divers types de questionnements, pratiques et théoriques, selon une démarche inductive et réflexive. Ils sont présentés ci-dessous déclinés suivant un thème que l'on peut considérer comme un des fils directeurs majeur et fédérateur pour aborder la thématique des géopatrimoines au sein du laboratoire : celui de la gestion des géopatrimoines en tant que ressource patrimoniale et territoriale.

2 - Une recherche sur la gestion intégrée et territorialisée des géopatrimoines.

La production scientifique du laboratoire relative aux géopatrimoines permet d'explorer peu ou prou l'ensemble des éléments du processus de gestion des géopatrimoines envisagés en tant que ressources territoriales.

Le premier élément est l'inventaire et l'évaluation des géosites, comprenant la définition, la caractérisation et la révélation de leurs valeurs patrimoniales. En s'appuyant sur les nombreux travaux existants (De Wever *et al.*, 2006 ; Reynard et Panizza, 2005 ; Reynard *et al.*, 2009 ; Lima *et al.*, 2010), il s'est agi ici de développer des approches, méthodologies et outils spécifiquement adaptés au type d'objet concerné, comme les patrimoines glaciaires (Perret *et al.*, 2011), les patrimoines karstiques (Jaillet *et al.*, 2011 ; Hobléa *et al.*, 2014) et/ou les sites d'art rupestre (Delannoy *et al.*, 2012a et b, Sadier *et al.*, 2012 a et b), mais aussi aux finalités des études (protection, labellisation...) et aux spécificités des sites (inclus dans des espaces protégés, considérés à très haute valeur patrimoniale...). La pratique de la recherche-action, outre ses concrétisations territoriales positives dans la plupart des cas, a permis des avancées théoriques et méthodologiques relatives aux connaissances fondant la valeur scientifique des géosites, issues d'analyses réflexives présentées dans plusieurs publications, s'appuyant par exemple sur l'étude de classement du site de Choranche-les Coulmes (Gauchon *et al.*, 2006 ; Hobléa *et al.*, 2008), du Grand site d'Orgnac (Jaillet *et al.*, 2011), ou du site de Chauvet – Pont d'Arc (Delannoy *et al.*, 2012a, Sadier *et al.*, 2012a et b). La phase d'identification, d'inventaire et de sélection / hiérarchisation des géosites repose fondamentalement sur l'existence ou la production d'un corpus de connaissances géoscientifiques alimentant la caractérisation des valeurs géologiques et géomorphologiques *s.l.* (Perret *et al.*, 2011), ainsi que sur la mobilisation de connaissances issues de disciplines variées permettant de définir les valeurs dites additionnelles du géosite, d'ordre écologique, archéologique, historique, culturel, ethnologique, paysager et esthétique, mais également sur la contextualisation

des connaissances et le croisement des approches disciplinaires, par lequel passe aujourd'hui la compréhension des sites et de leurs valeurs patrimoniales (Kervazo *et al.*, 2010). C'est là toute la force et l'intérêt d'un laboratoire pluridisciplinaire comme EDYTEM, qui dispose de toute la palette de spécialistes capables de travailler de concert non seulement à l'évaluation et la caractérisation des sites, mais aussi à leur étude approfondie, qui alimentera et accroîtra leurs valeurs patrimoniales tout en favorisant leur révélation. Si l'on prend l'exemple de la géomorphologie, aux côtés du concept de *géomorphologie sociale* développée par J.-J. Delannoy et ses collaborateurs à propos des grottes ornées et des sites d'art rupestre (Delannoy *et al.*, 2012a, 2012b), ou de celui de *géomorphologie culturelle* (Panizza et Piacente, 2003 ; Portal, 2012), se dessine et émerge une *géomorphologie patrimoniale*, au service de la gestion et de la patrimonialisation des géomorphosites, s'appuyant sur la tendance actuelle à l'hyperspécialisation, tout en s'en différenciant et en la transcendant, car relevant d'une approche holistique. Cette démarche renouvelle la façon de faire et de finaliser la géomorphologie en l'orientant résolument vers l'apport de réponses aux questions sociétales portées par les géosites et aux objectifs de gestion intégrée et rationnelle des géopatrimoines, y compris dans le domaine de la géoconservation.

Le deuxième élément est la définition des vulnérabilités et protection des géosites et des géopatrimoines : la question de la vulnérabilité appliquée aux géopatrimoines se pose à différentes échelles qui sont principalement celles de l'objet, du site et du paysage, auxquelles il faut rajouter une quatrième dimension, celle du temps, qui ouvre sur la vulnérabilité des processus dynamiques, des évolutions et équilibres qui façonnent les trois niveaux scalaires. Les relations entre ces quatre niveaux sont complexes, ni linéaires, ni géométriques dans leur progression. Ainsi, par exemple, un gisement fossilifère perdra de sa valeur patrimoniale s'il est pillé de ses plus beaux spécimens, lesquels seront au contraire mis en valeur *ex situ* par des collectionneurs qui en prendront le plus grand soin. S'il s'agit de fossiles de petite taille et déchaussés du substrat par l'érosion (cas des oursins fossiles *Toxaster* du *Geopark* des Bauges), leur prélèvement passera inaperçu dans le paysage, et le site pourra même retrouver sa valeur fossilifère si l'érosion continue son travail d'alimentation en oursins. Cet exemple montre également que la vulnérabilité des géopatrimoines les concerne à deux niveaux : leur intégrité physique et l'intégrité des valeurs patrimoniales qui leurs sont affectées. La difficulté de la mise en protection ou d'une valorisation respectueuse et durable réside souvent dans l'articulation adéquate de ces deux niveaux, pas toujours prise en compte. A l'initiative de chercheurs d'EDYTEM, une réflexion a été lancée sur ce sujet au sein de la commission du patrimoine géomorphologique du CNFG, à l'occasion

INVENTAIRE DES GÉOSITES GLACIAIRES DU CHABLAIS

C'est dans le cadre du projet 123 Chablais (Interreg IV France-Suisse), de développement territorial transfrontalier basé sur la valorisation des patrimoines (volet géologie), qu'Amandine Perret a effectué sa recherche de doctorat (Perret, 2014). La tâche est double. Il s'agit dans un premier temps de synthétiser les connaissances sur les témoins glaciaires des Chablais, puis d'améliorer cette connaissance dans les régions qui apparaissent actuellement comme des zones d'ombre car peu étudiées jusque là (Perret et al., 2011). Le second volet inventorie les géosites glaciaires et associés présents sur ce territoire et valorise ces derniers au travers d'une exposition itinérante, à destination d'un public local. Cette exposition est l'un des outils de médiation des géopatrimoines qui accompagne le développement du Geopark Chablais.

La méthode d'inventaire, utilisée dans ce travail, est succinctement présentée, en particulier l'aspect de la sélection des géosites glaciaires.

Les inventaires d'objets naturels de niveau national ont généralement pour objectif leur protection (De Wever et al., 2006 ; Reynard et al., 2012a). Depuis le début des années 1990, une petite frange des chercheurs en géosciences développe des méthodes d'inventaire de géosites, tout d'abord dans un contexte d'étude d'impact (Grandgirard, 1997 b ; Rivas et al., 1997), puis selon une volonté croissante de valorisation de ce qu'ils considèrent comme partie intégrante du patrimoine naturel. La méthode appliquée ici est celle développée par l'UNIL, qui s'appuie sur des étapes de sélection, documentation et évaluation (Figure a) tenant compte des différentes familles de valeurs et de caractéristiques attribuées aux géosites.

L'inventaire des géosites glaciaires du Chablais est régional et thématique et doit satisfaire à deux types d'attentes. La première provient du monde académique. Il s'agit de faire évoluer la méthode développée par l'UNIL pour l'inventaire des géomorphosites (Reynard et al., 2007) en approfondissant certains volets de l'inventaire. La seconde est liée au projet 123 Chablais et doit permettre de sélectionner et de documenter un choix de sites particulièrement adaptés à la valorisation du patrimoine glaciaire. En fonction de ces deux attentes, nous avons établi deux axes méthodologiques pour l'évolution de la méthode UNIL, tout en intégrant le contexte régional au choix des critères appliqués à la méthode. Ainsi, nous avons élaboré une méthode de sélection des géosites, puis nous avons développé les critères de gestion des géosites (valeur d'usage et besoin de protection), en relation avec les attentes

du projet. Nous résumons ici uniquement l'aspect « sélection des géosites ».

La méthode de sélection des géosites est souvent un point faible des inventaires (Martin, 2012). Dans l'incapacité matérielle d'effectuer une sélection intégrale (*i.e.* considérant tous les sites du secteur étudié, (Martin, 2012)), le mode de sélection choisi se rapproche de la sélection mixte, à mi-chemin entre intégralité et spécificité. La méthode appliquée aux géosites glaciaires se base donc sur la définition de points d'intérêt établis à l'aide de différentes sources : étude bibliographique, missions de terrain et utilisation d'un SIG pour le croisement de l'information (Figure a). Une sélection est ensuite effectuée selon deux critères : appartenance à un stade glaciaire (axe temporel) et appartenance à un type de forme (axe spatial) (Figure b), le tout guidé par un souci constant d'exem-

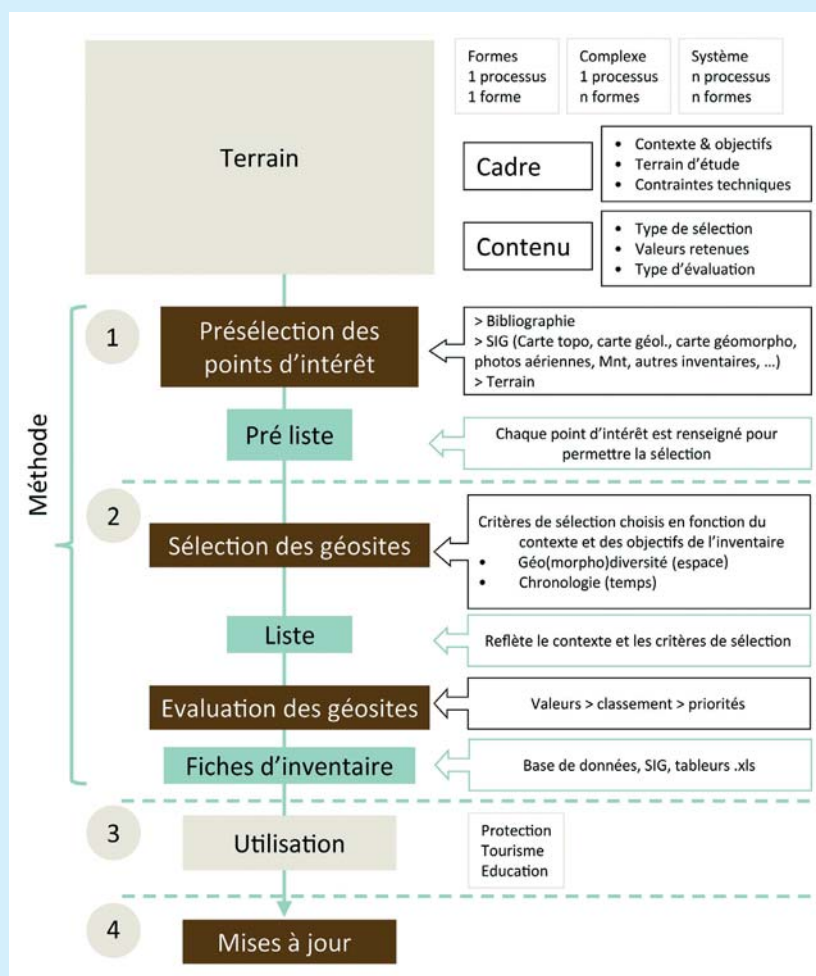


Figure a - Processus global d'inventaire des géosites avec sélection mixte (intégrale et spécifique), modifié d'après Reynard et al. (2012b).

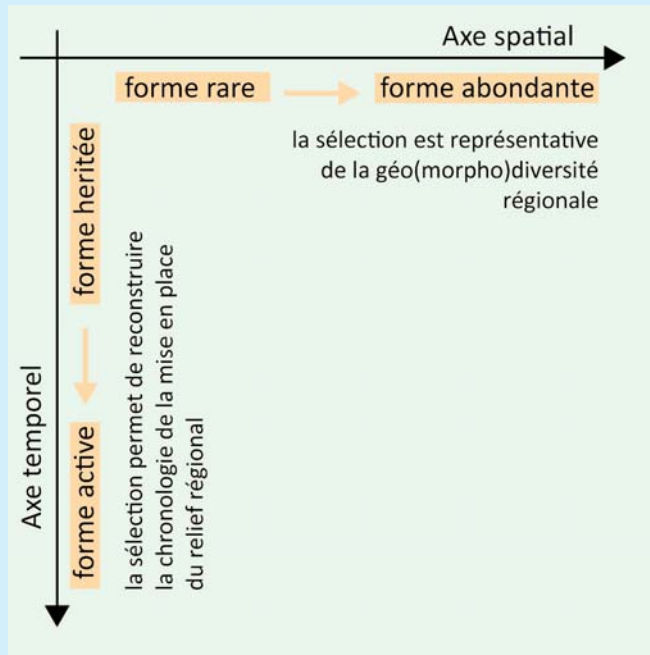


Figure b - Les deux axes représentés par les critères de sélection (axe spatial et axe temporel).

plarité et de spécificité. L'utilisation de ces deux critères thématiques laisse présumer que l'inventaire, non exhaustif par nature, permettra de donner un aperçu représentatif des témoins glaciaires régionaux et ainsi pourra servir de base intelligente aux produits géotouristiques et géodidactiques élaborés dans le cadre du projet 123 Chablais.

La sélection effectuée sur une centaine de points d'intérêt a permis de dégager 32 géosites glaciaires et associés (Figure c), souvent des systèmes géomorphologiques, par suite de regroupements. Chacun des géosites a fait ensuite l'objet d'une fiche d'inventaire complète, intégrant informations ponctuelles, description, explication de la morphogenèse et évaluation des valeurs attribuées aux géosites. Cette évaluation, d'abord qualitative, permet d'apporter des informations précieuses tant du point de vue des spécificités des géosites régionaux (intérêt

scientifique, esthétique, écologique, culturel) que du point de vue de la gestion des sites (conditions de visite, intérêt éducatif et vulnérabilité). L'évaluation numérique ne sert, dans ce contexte, qu'à établir une classification des géosites entre eux, selon les différents critères cités, et à établir des ordres de priorité.

La définition d'une méthode de sélection mixte (intégrale et spécifique), basée sur des critères définis en fonction du contexte régional, rapproche cet inventaire d'un inventaire à thème. Il est important de préciser que chacun des points d'intérêt sélectionné devient de fait un géosite, pour la simple raison qu'il a retenu l'attention de l'auteur de l'inventaire et qu'il véhicule déjà certaines valeurs (intrinsèques) et caractéristiques (en termes d'utilisation ou de protection). Malgré un protocole bien défini, la subjectivité et les choix de l'auteur interviennent tout au long du processus de sélection et d'inventaire, ce qui ne constitue certainement pas une faiblesse en soi mais doit être considéré dans les utilisations diverses qui pourront être faites de l'inventaire.



Figure c - Carte des géosites glaciaires des Chablais en fonction des stades glaciaires et des processus géomorphologiques.

de sa séance thématique de décembre 2012 consacrée à la *conservation et patrimonialisation des objets, phénomènes, sites et paysages géomorphologiques*, où des membres du laboratoire ont présenté deux communications centrées sur la question : *La vulnérabilité des géomorphosites un concept au service de la géoconservation*. (Cayla, 2013) ; et *La vulnérabilité : un concept opératoire pour la protection des patrimoines géomorphologiques ?* (Hobléa, 2013). Il s'agissait de voir en quoi l'emprunt et le croisement des conceptions cyndiniques et hydrogéologiques de la vulnérabilité, développées notamment au sein d'EDYTEM (équipes T et D), pouvaient être pertinents pour aider à formaliser le concept appliqué aux géopatrimoines et le rendre opérationnel dans la perspective de leur conservation et protection. L'objectif d'opérabilité est également central dans les recherches d'EDYTEM portant sur la vulnérabilité et la conservation des grottes ornées (Lascaux...) et sites d'art rupestre (Terre d'Arnhem en Australie), qui visent tant la compréhension et la reconstitution des lieux et de leurs modes d'occupation et d'usages par l'homme que la mise en évidence et le contrôle des phénomènes naturels et impacts anthropiques menaçant l'intégrité et la pérennité des sites, des peintures ou des gravures et autres artefacts archéologiques. Cette recherche au service de la géoconservation fait appel à des techniques pointues de micromorphologie, de pédologie, de géochimie... (Delannoy et Gauchon, 2008 ; Hoerlé et al., 2011).

Le troisième élément est l'analyse de nouveaux types de conflits d'usage liés au rejet ou à l'échec de la révélation patrimoniale comme à Choranche (Hobléa et al., 2008), ou à la promotion incontrôlée de géosites en milieu sensible, comme dans le cas des arches rocheuses de la Réserve Naturelle des Hauts de Chartreuse (Gauchon, 2012).

Le dernier élément est constitué des recherches sur les modes et pratiques de valorisation : EDYTEM est régulièrement sollicité par les territoires partenaires pour participer à des actions de valorisation se voulant innovantes et nécessitant des apports de connaissance géoscientifique, des éclairages et avis méthodologiques et des validations des produits obtenus. Forts de cette expérience pratique, enrichie par une approche bibliographique et des visites de terrain élargies à l'international, notamment grâce à leur insertion dans le réseau des *Geoparks*, des membres d'EDYTEM ont ainsi été amenés à collaborer à des communications et des publications de référence sur l'état des pratiques en la matière (Cayla et al., 2008 a et 2008 b ; Hobléa et al., 2008 ; Gasquet et Allignol, 2010 ; Peisser et al., 2012). Plus spécifiquement, EDYTEM s'est tout naturellement attaché à la valorisation des géosites de montagne, notamment ceux de la haute montagne glaciaire et périglaciaire, renvoyant à la question du changement climatique et des risques naturels (cf. encadrés), mais aussi des géosites

karstiques (Doumit, 2007) et miniers (Cayla, 2009), renvoyant alors au défi de l'invisibilité (Giusti, 2012 ; Malgat et al., 2012), qui a débouché sur une réflexion plus large conduisant à définir la notion d'« visibilité » géopatrimoniale (Cayla et al., 2012).

C'est finalement toute une somme de connaissances, d'expériences, de réalisations co-construites qui a pu être mobilisée et traitée de manière réflexive autour du concept intégrateur de gestion des géopatrimoines. Ce corpus a ainsi donné lieu à des publications de synthèse en la matière, sur par exemple la gestion des géomorphosites karstiques (Hobléa et al., 2008 ; 2014 ; Hobléa, 2009) ou la gestion des géosites dans les espaces protégés et labellisés (Hobléa et al., 2013). Parallèlement, le travail de recherche a également porté sur le développement d'outils novateurs pour la gestion et la valorisation des géopatrimoines, avec une spécialisation dans les outils numériques (Cayla et al., 2014) et les outils dits hybrides, servant à la fois la recherche scientifique et la valorisation géodidactique ou géotouristique des sites et phénomènes étudiés, avec par exemple le système de monitoring optique des crues de sources karstiques GéoVision expérimenté dans le *Geopark* du massif des Bauges (Hobléa et al., 2011b ; 2013). Sur le plan des postures et méthodologies de recherche, les géopatrimoines, avec d'autres objets emblématiques du laboratoire comme l'eau, ont contribué à l'éclosion et à l'essor de pratiques de recherche-action-collaboratives (RAC) et de sciences citoyennes et participatives, avec notamment l'invention du concept de traçage hydrogéologique participatif développé dans et pour le *Geopark* du massif des Bauges (Hobléa et al., 2012) et aujourd'hui en phase de dissémination vers les territoires karstiques voisins, comme le PNR de Chartreuse, et de transfert-appropriation par des bureaux d'étude.

3 - Une recherche réflexive sur les rapports entre patrimonialisation et territorialisation des géosites, support d'actions territoriales

Le processus de patrimonialisation des objets et paysages géologiques, envisagés comme nouveaux patrimoines participant de l'élargissement du champ patrimonial, a également été analysé à l'aune des trajectoires de gestion de quelques cas choisis pour mettre en évidence l'importance d'une phase du processus de patrimonialisation jusqu'à présent occultée dans les travaux de référence, que nous avons appelée la phase de *révélation patrimoniale* (Reynard et al. 2011 ; Cayla et al., 2012), incluant les notions de *charge temporelle* (intensité et précision du rapport au passé, importance des événements passés dont témoigne le géosite, dépendantes des capacités de datation) et de *profondeur temporelle* (plages de

temps couvertes, plus ou moins grande ancienneté) des géosites. C'est durant cette étape, cruciale dans le cas des géopatrimoine qui sont généralement perçus comme simple décor par les non-spécialistes, que s'effectuent le transfert et l'appropriation des connaissances (scientifiques mais aussi vernaculaires) entre l'ensemble des acteurs concernés, ainsi que le porter à connaissance et la prise de conscience collective des valeurs patrimoniales du bien. Ce processus de révélation patrimoniale a été particulièrement important dans la reconnaissance et la protection de l'archipel calcaire de Madre de Dios en Patagonie chilienne, suite aux expéditions d'exploration spéléo-karstologiques et archéologiques menées entre 2000 et 2010 (Hobléa *et al.*, 2001 ; Maire *et al.*, 2009 ; Hobléa, 2012).

La question de l'impact territorial des processus de patrimonialisation et de valorisation de patrimoines naturo-culturels à forte connotation géopatrimoniale a été intensément investie (Duval et Gauchon, 2010) sur plusieurs terrains, ayant parfois donné lieu à des approches comparatives, depuis les trajectoires patrimonio-territoriales de l'Ardèche karstique (Duval, 2007, 2008 a,b, 2013 ; Duval et Gauchon, 2013 ; Cachat *et al.*, 2012), initialement comparées à celles du Karst slovène (Duval, 2007) jusqu'aux sites d'art rupestre (Duval et Smith, 2013) et aux espaces et paysages protégés sud-africains (Duval, 2013), en passant par les sites touristiques souterrains (Gauchon, 1997 ; Gauchon *et al.*, 2006 ; Biot, 2006, 2013), les *Geoparks*

(Hobléa *et al.* 2011a) et les oasis et montagnes marocaines (Duval *et al.*, 2013).

Cette présentation sectorielle ne doit pas masquer le caractère holistique de l'approche géopatrimoniale développée au sein d'EDYTEM, comme le montre l'exemple des sites lacustres palafittiques. En 2013, en lien avec la démarche *Geopark* (PNR du massif des Bauges), le laboratoire (Y. Billaud, F. Arnaud, F. Hobléa) a été associé à la réflexion sur la gestion des sites palafittiques des lacs d'Annecy et du Bourget appartenant au bien sériel classé au Patrimoine Mondial en 2011 et relevant de ce fait du Ministère de la Culture et du Comité Français du Patrimoine Mondial et de leurs antennes au sein des services déconcentrés de l'État (DRAC Rhône-Alpes). Bien culturel certes, mais abordé sous l'angle géopatrimonial par les acteurs locaux, pour ses liens avec la dynamique sédimento-lacustre et l'enregistrement des relations entre les modes d'occupation humaine et les évolutions climatiques et environnementales du Néolithique final. Le laboratoire est à même d'investir cet objet sous différents angles, depuis l'analyse des dimensions et valeurs géopatrimoniales, non évidentes pour un bien catégorisé comme culturel, jusqu'à l'analyse de l'interférence des différents niveaux et logiques d'acteurs impliqués dans la gestion du bien, en passant par l'analyse de la vulnérabilité des sites liée à la dynamique lacustre et aux activités humaines et la recherche de modes de mise en valeur contournant le problème de l'invisibilité du bien *in situ*.

CONCLUSION

La thématique des géopatrimoine est désormais bien ancrée au sein d'EDYTEM. Autour d'un noyau dur de chercheurs qui en ont fait leur spécialité, elle tend à fédérer des chercheurs des trois équipes du laboratoire dont les travaux peuvent être mis en lien avec la thématique ou la recourent partiellement.

Signe de maturité, la thématique a également vu se développer des liens entre recherche et enseignement. Elle a en effet été introduite dans les contenus de Masters auxquels EDYTEM est adossé : modules géopatrimoine du M1 STADE et du M2 EPGM, mais aussi échanges avec l'Université de Lausanne (cours et séminaires de Master, écoles thématiques et Intensive Courses, excursions et camps de terrain).

Outre l'engagement des membres du noyau dur dans l'animation de la thématique au niveau national et international, et en résonance avec les travaux effectués dans d'autres unités de recherche (l'équipe d'E. Reynard à l'UNIL, de D. Sellier à Nantes, de M. Ambert à Montpellier 3, C. Giusti et François Bétard à Paris, M. Taabni à Poitiers ...), les apports de l'approche edytémienne des géopatrimoine ont porté sur les notions de révélation patrimoniale, de trajectoires

géopatrimoine, de charge et profondeur temporelle des géosites. Ils ont contribué aux réflexions sur la notion de *patrimoine invisibles* (dont ceux du karst) et à la résolution des défis de gestion qu'ils représentent, notamment en explorant et développant des outils numériques et géomatiques de pointe et innovants. Ils ont œuvré de manière tout aussi innovante et pointue pour la compréhension, l'évaluation, la conservation et la valorisation des géosites à haute valeur patrimoniale, notamment ceux présents dans les sites classés, les *Geoparks* et sur la liste du Patrimoine mondial, ainsi que ceux liés aux patrimoines archéologiques en espace confiné et à l'art rupestre pariétal, avec un intérêt porté aux processus de patrimonialisation et à leurs interactions avec les dynamiques territoriales et les processus de territorialisation induits.

La thématique semble loin d'être épuisée et nous sommes confiants dans son avenir au sein du laboratoire, avec le développement prévu ou potentiel des questions relatives aux liens entre géopatrimoine et géodiversité (notamment la question des sols, des hydrosystèmes et des processus dynamiques en tant que géopatrimoine), mais aussi à l'intégration des

LES OUTILS DE MÉDIATION DES GÉOPATRIMOINES DU MASSIF DU MONT-BLANC EN PRISE DIRECTE AVEC LES RECHERCHES MENÉES À EDYTEM

Plusieurs chercheurs du laboratoire EDYTEM sont des spécialistes de la vallée de Chamonix et du massif du Mont-Blanc. Ludovic Ravel, chargé de recherche CNRS, y a en particulier étudié l'écroulement de la face ouest des Drus. Luc Moreau et Sylvain Cutterand, membres associés, s'intéressent aux phénomènes glaciaires, dynamiques actuelles pour le premier et traces des anciennes glaciations pour le second.

Les partenariats établis avec les différents acteurs locaux, ville de Chamonix, communauté de communes de la vallée de Chamonix-Mont-Blanc ou Compagnie du Mont-Blanc, en charge de la gestion des remontées mécaniques sont à l'origine de plusieurs projets de valorisation des géopatrimoines de la vallée.

L. Moreau et S. Cutterand ont été les conseillers scientifiques de l'exposition Des glaciers et des hommes, installée au cœur de la ville de 2007 à 2011 et dont une version synthétique « itinérante » parcourt la Haute Savoie depuis, dans les médiathèques, communes et établissements scolaires.

En 2008, la Compagnie du Mont-Blanc met en place avec L. Moreau une animation de lecture du paysage au Montenvers, et depuis 2009, chaque été, du 1er juin au 30 septembre, les trois glaciologues se relaient pour raconter en direct sur la terrasse de la gare d'arrivée du train du Montenvers, à 1913 m d'altitude, l'évolution de la Mer de Glace (Figure a). Cette activité quotidienne de vulgarisation scientifique, s'appuie sur une relation directe avec



les chercheurs, eux-mêmes en contact étroit avec un réseau plus large de spécialistes. Elle a été mise en place par la Compagnie du Mont-Blanc. Les chercheurs sont là pour expliquer l'origine de la couverture rocheuse de la Mer de Glace, véritable Mer de pierres aujourd'hui (Figure b) ! Dès l'arrivée au Montenvers, les visiteurs sont généralement surpris, déçus, étonnés de voir une surface recouverte de rochers, sables et graviers à la place de la belle glace blanche et crevassée des années 1990. Les explications, complétées par la visite du Glaciorium et de la grotte de glace, permettent de comprendre que suite à son fort ralentissement, le glacier ne peut plus évacuer les débris qu'il transporte, puisqu'il n'avance plus que de 30 m par an aujourd'hui contre 90 m en 1990 (perte d'épaisseur de 100 m !).

L. Moreau et S. Cutterand sont également les référents scientifiques du *Glaciorium* installé au Montenvers depuis l'été 2012. Ce centre d'interprétation complète les explications fournies à l'extérieur. Il enrichit la visite, surtout en cas de mauvais temps ou pour les visiteurs ne pouvant descendre les 450 marches qui permettent d'accéder à la grotte.

Figure a - Ludovic Ravel lors d'une médiation à la gare d'arrivée du train du Montenvers (Ph. L. Moreau).

Les travaux de S. Cutterand sur la reconstitution et la caractérisation des héritages glaciaires ont également été valorisés en fond de vallée, où plusieurs géosites ont été aménagés : celui des Chavants est valorisé dès 2003 par un sentier d'interprétation baptisé *les traces des glaciers*, financé par la commune des Houches ; la moraine du parc Couttet à Chamonix, véritable « Central Park » chamoniard, a également été aménagée au cœur de la ville par la communauté de communes de Chamonix - Mont-Blanc. Ce relief morainique témoigne du refroidissement brutal qui marqua la fin de la dernière glaciation, il y a 12 000 ans. Cette dégradation climatique provoqua une avancée des langues glaciaires de plusieurs kilomètres (Figure c). Toutes les hautes vallées en portent les traces, généralement situées quelques kilomètres en aval des moraines historiques de 1820 et de 1850 (Petit Âge Glaciaire). Dans la vallée de Chamonix, le front de la Mer de Glace pénétra jusqu'au centre du Chamonix actuel, édifiant le relief morainique boisé du parc Couttet.

Ces géosites et d'autres seront mis en lien dans un musée à ciel ouvert qui sera inauguré au printemps 2014. Les promeneurs curieux pourront, à l'aide d'un audio phone ou d'un smart phone, suivre quelques itinéraires référencés par GPS et écouter les commentaires et anecdotes de nos spécialistes sur les anciennes moraines et extensions de la Mer de Glace durant le Petit Âge Glaciaire, jusqu'aux destructions de hameaux proches du village des Bois suite à la crue du glacier en 1643-44, ou l'extension plus ancienne du glacier dans Chamonix même avec la moraine du parc Couttet.

L. Ravanel et L. Moreau sont aussi accompagnateurs en montagne et agrées Éducation Nationale ; S. Cutterand lui, travaille étroitement avec le Centre de la Nature Montagnarde à Sallanches. Il a réalisé avec François Amelot, directeur adjoint en charge de la médiation (et ancien membre du laboratoire EDYTEM), une exposition et des panneaux d'interprétation sur le thème des glaciers de Chamonix, disposés sur les plates-formes sommitales du téléphérique du Brévent.

Transmettre leurs connaissances et vulgariser les géopatrimoine constituent ainsi une part importante des travaux de ces trois chercheurs.



Figure b - La gare d'arrivée du Montenvers et la Mer de Glace... aujourd'hui glacier noir dans sa partie basse (Ph. Luc Moreau).

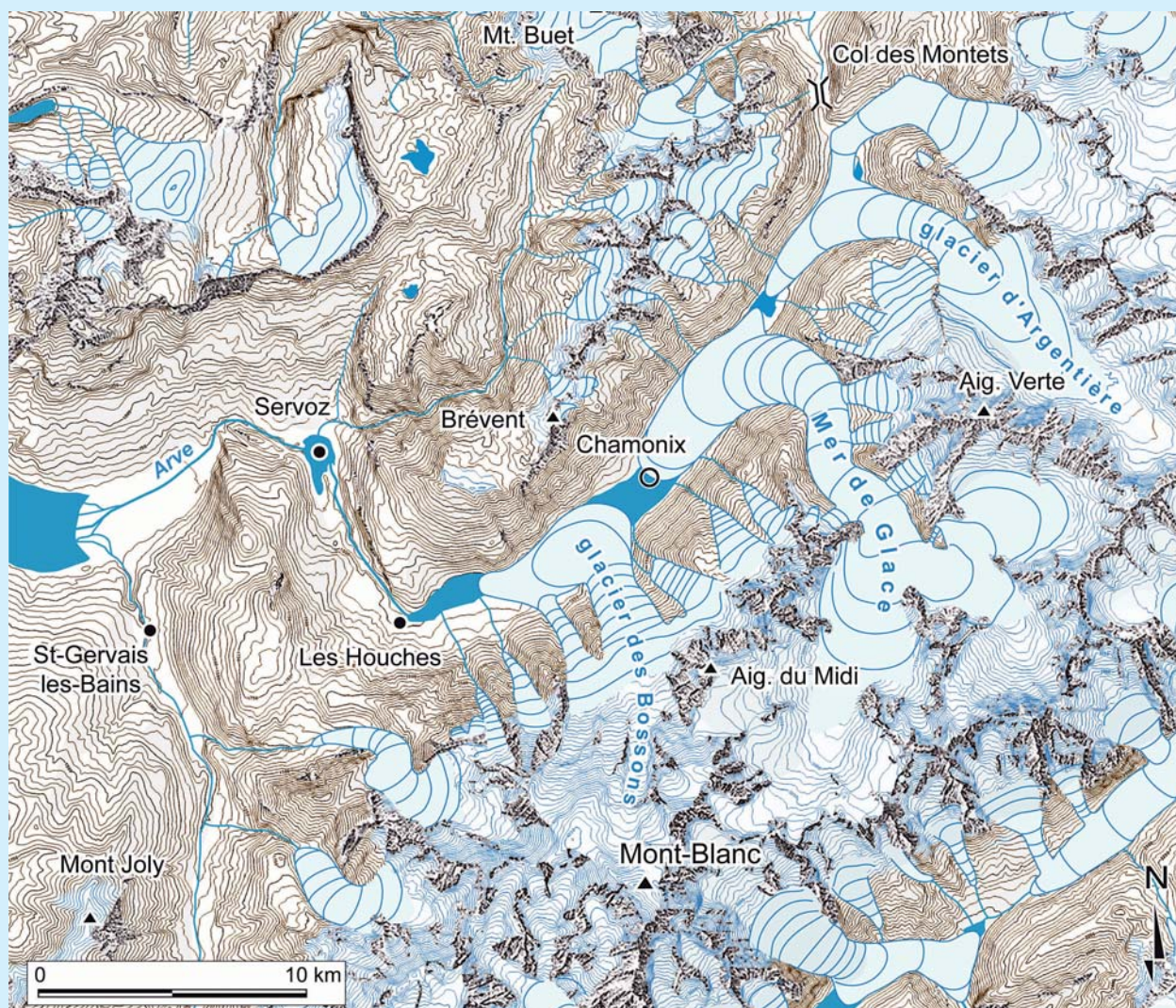


Figure c - Dernière extension des glaciers de la vallée de Chamoni il y a 12 000 ans, au cours du Dryas récent (cartographie et photo-montage S. Cutterand). La langue de la Mer de Glace atteint Chamoni et dépose la moraine du parc Couttet. Les glaciers des Bossons et de Taconnaz s'avancent dans le lac qui occupait le fond de la vallée.

dimensions et valeurs non géoscientifiques des géosites (valeurs écologiques, historiques, culturelles...), tendant notamment à faire émerger la notion de « géosite culturel » que l'on pourrait à ce stade liminaire de la réflexion définir comme un géosite patrimonialisé pour ses valeurs culturelles, comme le sont les grottes ornées (Biot, 2013) ou les sites palafittiques. Nous continuerons à porter attention à la notion de vulnérabilité des géopatrimoines et des géosites, aux notions de géosites actifs et hérités, à l'évolution des concepts et outils de géomédiation et de géoéducation, notamment l'application du concept PPF (Martini, 2012) dans les *Geoparks* alpins.

D'un point de vue épistémologique, la thématique des géopatrimoines nous renvoie finalement à une autre vision et pratique des géosciences, qui sans s'opposer au modèle en vigueur, le complètent et le renouvèlent de manière parfois inattendue et surprenante, en y introduisant des préoccupations et des dimensions sociales et culturelles. Le concept de géopatrimoine et son cortège de *géoavatars* (géotourisme, éducation géocitoyenne...) conduisent à envisager de nouvelles formes de géoressources, non consommables, et d'autres manières, que nous espérons durables, de tirer profit des richesses de la Terre.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement tous les membres du laboratoire EDYTEM ayant contribué de manière directe ou indirecte aux travaux et aux réflexions sur les géopatrimoines, ainsi qu'à l'élaboration de cet article, notamment : Françoise Allignol, Fabien Arnaud, Laurent Astrade, Elisa Boche, Didier Cailhol, Philip Deline, Mélanie Duval, Christophe Gauchon, Christophe Griggo, Stéphane Jaillet, Charlotte Malgat, Emmanuel Malet, Carole Nehme, Gérard Nicoud, André Paillet, Yves Perrette, Estelle Ployon, Jérôme Poulenard, Pierre-Jérôme Rey, Pierre Sabatier, Georges-Marie Saulnier, ainsi que l'ensemble des nombreux partenaires impliqués, en particulier Emmanuel Reynard (Université de Lausanne, Suisse) pour sa relecture avisée. Les contenus de l'article n'engagent que les auteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLIGNOL F., GASQUET D., 2010. Petit guide géologique pour randonneur curieux : le cas du fascicule présentant les balades autour du refuge Jean Collet (Belledonne – France). Communication au Workshop International sur le Patrimoine géologique et Développement durable de la Région de Rabat Salé Zemmours Zaers du 14 au 16 décembre 2010 à Rabat (Maroc).
- ALLIGNOL F., BERTRAND J.-M., GASQUET D., RAVANEL L., 2011. Un aperçu de la géologie et de la géomorphologie autour du refuge Jean-Collet. Club Alpin français, Pub. Cons. Scientif., *Petit guide géologique pour randonneur curieux*, 7, 28 p. ; <http://www.ffcam.fr/publications.html>
- ALLIGNOL F., GASQUET D., 2011. Les sentiers de découverte de haute montagne : une façon de valoriser le patrimoine géologique et géomorphologique. Comm. au Colloque international : Ressources patrimoniales et alternatives touristiques : entre Oasis et Montagne. Ouarzazate, Maroc, 21-22 novembre 2011.
- BERTRAND J.-M., GASQUET D., 2008. Lauzière : Anatomie d'un granite. Club Alpin français, Pub. Cons. Scientif., *Petit guide géologique pour randonneur curieux*, 3, 38 p. ; <http://www.ffcam.fr/publications.html>
- BIOT V., 2006. Le tourisme souterrain en France. *Karstologia Mémoire*, 15, 236 p.
- BIOT V., 2013. Les grottes ornées. Des géosites culturels à la ressource territoriale. In HOBLÉA F., CAYLA C., REYNARD E. (dir.), Gestion des géosites dans les espaces protégés. *Collection EDYTEM*, 15, 119-126.
- BUREK C.V., PROSSER C.D., 2008. The history of Geoconservation. *Geological Company, London, Special Publications*, 300, 315 p.
- CACHAT S., DUVAL M., GAUCHON C., 2012. Ici, là ou ailleurs ? Les enjeux liés à la localisation d'un grand équipement, l'Espace de restitution de la grotte Chauvet. *Mondes du Tourisme*, 5, 13-30.
- CAYLA N., 2005. Les ressources minérales patrimoniales du Parc Naturel Régional de Chartreuse. Inventaire et potentialités de valorisation des activités extractives (mines et carrières) passées et présentes. Rapport de recherche, PNR Chartreuse, 33 p.
- CAYLA N., 2009. Le patrimoine géologique alpin : de la médiation à la valorisation géotouristique. Université de Savoie, thèse de doctorat de sciences de la Terre, de l'univers et de l'environnement, 309 p.
- CAYLA N., 2013. La vulnérabilité des géomorphosites un concept au service de la géoconservation. Lettre 7 de la Commission du Patrimoine Géomorphologique du CNFG. Mars 2013, p. 10.
- CAYLA N., GASQUET D., HOBLÉA F., REYNARD E., 2008a. From sensorial experience to virtual reality: benchmark of good practices for the mediation and the valorisation of the geological heritage in Europe. Proceedings of the 3rd International UNESCO Conference on Geoparks, p. 31.
- CAYLA N., HOBLÉA F., GASQUET D., 2008b. Pratiques comparées de médiation scientifique autour du patrimoine géologique. Recueil des résumés de la 22^{ème} Réunion des Sciences de la Terre. Nancy, 21-24 avril 2008, p. 506.
- CAYLA N., TRITENNE D., 2011. Promenade Géologique à Chambéry. *Collection Balades Géologiques*, 31 p.

- CAYLA N., HOBLÉA F., 2011. La VIA GEOALPINA, itinérance géologique à travers les Alpes. In : Les géosciences au service de la société. Actes du colloque organisé en l'honneur du Professeur Michel Marthaler. 24-26 juin 2010, Université de Lausanne, Institut de Géographie. *Géovisions*, 37, 119-130.
- CAYLA N., DUVAL M., 2012. Le géotourisme : patrimoines, pratiques, acteurs et perspectives marocaines. In DUVAL M., PEYRACHE-GADEAU V., OUDADA M. (dir.), Ressources patrimoniales et alternatives touristiques. Entre Oasis et Montagne. *Collection EDYTEM*, 14, 101-116.
- CAYLA N., HOBLÉA F., BIOT V., DELAMETTE M., GUYOMARD A., 2012. De l'invisibilité des géomorphosites à la révélation géopatrimoniale. *Géocarrefour*, 87, 3-4, 171-186.
- CAYLA N., GUYOMARD A., 2012. HINT Project (Heritage Interpretation through New Technologies), an international cooperation for interpretation of the geoheritage. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, 19 (2^{ème} série), 75-80.
- CAYLA N., HOBLÉA F., REYNARD E. (eds.), 2014, accepted. Editorial: New digital technologies applied to the management of geoheritage. *Geoheritage*.
- DELANNOY J.-J., GAUCHON C., 2008. Lascaux et la conservation de l'art préhistorique en milieu souterrain. *Karstologia* 52, 51-56.
- DELANNOY J.-J., GENESTE J.-M., JAILLET S., BOCHE E., SADIÉ B., 2012 a. Les aménagements et structures anthropiques de la grotte Chauvet - Pont-d'Arc : apport d'une approche intégrative géomorpho-archéologique. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B. (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 43-62.
- DELANNOY J.J., GENESTE J.M., DAVID B., KATHERINE M., GUNN R.G., WHEAR R.L., 2012 b. Apports de la géomorphologie dans l'aménagement et la construction sociale des sites préhistoriques. Exemples de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (France) et de Nawarla-Gabarnmang (Australie). *Paleo, Revue d'archéologie préhistorique*, 23, 85-104.
- DE WEVER P., LE NÉCHET Y., CORNÉE A., 2006. Vade-mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique national. *Mémoire hors série de la Société géologique de France*, 12, 161 p.
- DOUMIT L., 2007. La valorisation du patrimoine endokarstique libanais. Thèse de géographie, Université Saint-Joseph, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Département de Géographie, Beyrouth, Liban, en co-tutelle avec l'Université de Savoie, Laboratoire EDYTEM, 280 p.
- DOWLING, R.K., NEWSOME, D. (eds), 2006. Geotourism. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford. 260 p.
- DUVAL M., 2007. Valorisation patrimoniale et dynamiques territoriales autour d'un site karstique emblématique : le polje de Cerknica (Slovénie). *Karstologia*, 50, 1-10.
- DUVAL M., 2008a. Dynamiques spatiales et enjeux territoriaux des processus de patrimonialisation et de développement touristique. Thèse de Géographie. Université de Savoie, 512 p.
- DUVAL M., 2008b. Patrimonialisation et mise en tourisme des espaces naturels : l'exemple des gorges de l'Ardèche. *Géographie et cultures*, 66, 61-78.
- DUVAL M., 2013. Place et fonctions de la patrimonialisation de la nature dans les espaces protégés. Enseignements à partir du massif de l'uKhahlamba-Drakensberg, Afrique du Sud. *Vertigo*, HS 16, Patrimonialiser la nature, juin 2013, <http://vertigo.revues.org/13572>.
- DUVAL M., GAUCHON C., 2010. Tourisme, géosciences et enjeux de territoires. Actualités du géotourisme. *Téoros*, 29, 2, 3-14.
- DUVAL M., SMITH B., 2013. Rock Art Tourism in the uKhahlamba/Drakensberg World Heritage Site : obstacles to the development of sustainable tourism. *Journal of Sustainable Tourism*. DOI :10.1080/09669582.2012.699060
- DUVAL M., GAUCHON C., 2013. Le patrimoine, une affaire de choix. La candidature de la grotte Chauvet au patrimoine mondial. *Ardèche Archéologie*, 30, 89-94.
- DUVAL M., PEYRACHE-GADEAU V., OUDADA M., 2013. In DUVAL M., PEYRACHE-GADEAU V., OUDADA M. (dir.), Ressources patrimoniales et alternatives touristiques. Entre Oasis et Montagne. *Collection EDYTEM*, 14, 158 p.
- GASQUET D., ALLIGNOL F., 2010. La médiation des géosciences sur le terrain ; l'exemple des Alpes du Nord. Comm. au Workshop International sur le Patrimoine géologique et Développement durable de la Région de Rabat Salé Zemmours Zaers du 14 au 16 décembre 2010 à Rabat.
- GAUCHON C., 1997. Des cavernes et des hommes. Géographie souterraine des montagnes françaises. *Karstologia Mémoire*, 7, 248 p.
- GAUCHON C., 2012. Un géomorphosite qui sème la discorde : les arches naturelles de la Grande Chartreuse (Isère, France). *Géocarrefour*, 87, 3-4, 249-259.
- GAUCHON C., PLOYON E., DELANNOY J.-J., HACQUARD S., HOBLÉA F., JAILLET S., PERRETTE Y., 2006. The concepts of heritage and heritage resource applied to karsts: protecting the Choranche caves (Vercors, France). *Acta Carsologica*, 35, 37-46.
- GIUSTI C., 2012. Les sites d'intérêt géomorphologique : un patrimoine invisible ? *Géocarrefour*, 87, 3-4, 151-156.
- GRANDGIRARD V. 1997a. Géomorphologie, protection de la nature et gestion du paysage. Thèse de doctorat, Université de Fribourg, Faculté des sciences, 210 p.
- GRANDGIRARD V., 1997b. Géomorphologie et gestion du patrimoine naturel. La mémoire de la Terre est notre mémoire. *Geographica Helvetica*, 2, 47-56.
- GRAY M., 2004. Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature. John Wiley & Sons, 434 p.
- HOBLÉA F., 1999. Contribution à la connaissance et à la gestion environnementale des géosystèmes karstiques montagnards : études savoyardes. Thèse de Géographie. Lyon 2, 995 p.
- HOBLÉA F., 2008. La protection et la valorisation des patrimoines du karst. *Géosciences*, 7/8, p. 101.
- HOBLÉA F., 2009. Karstic geomorphosites: managing subterranean natural-cultural heritage sites. In REYNARD E., CORATZA P., REGOLINI-BISSIG G. (eds). Geomorphosites: assessment and management. IAG. Pfeil Verlag, Munich, 189-200.
- HOBLÉA F., 2012. Des paysages époustoufflants, uniques au monde. In MARBACH G. (dir.). L'île aux glaciers de marbre. Dans les profondeurs des archipels de Patagonie. Ed. Centre Terre, 208 p., 200-201.

- HOBLÉA F., 2013. La vulnérabilité : un concept opératoire pour la protection des patrimoines géomorphologiques ? Lettre 7 de la Commission du Patrimoine Géomorphologique du CNFG. Mars 2013, 9-10.
- HOBLÉA F., JAILLET S., MAIRE R., 2001. Erosion et ruissellement sur karst nu en contexte subpolaire océanique : les îles calcaires de l'archipel de Patagonie chilienne. *Karstologia*, 38, 13-18.
- HOBLÉA F., DELANNOY J.J., GAUCHON C., HACQUARD S., JAILLET S., PLOYON E., 2008. Entre karstologie fondamentale et appliquée : l'étude de classement du site de Choranche/les Coulmes (Vercors, France). In HOBLÉA F., REYNARD E., DELANNOY J.-J. (dir.), Karst de montagne : géomorphologie, patrimoine et ressources. Actes du colloque des Journées de l'Association Française de Karstologie, Sion, Suisse, 15 septembre 2006. *Collection EDYTEM*, 7, 103-112.
- HOBLÉA F., CAYLA N., GUYOMARD A., PEISSER K., RENAU P., 2011 a. Géosciences et projets de territoire : comparaison et conciliation de trois projets de géoparc dans les Préalpes françaises du Nord. In Les géosciences au service de la société. Actes du colloque organisé en l'honneur du Professeur Michel Marthaler. Lausanne, 24-26 juin 2010. Université de Lausanne, Institut de Géographie. *Géovisions*, 37, 21-36.
- HOBLÉA F., CAYLA N., RENAU P., 2011 b. The Concept of "Hybrid Research" applied to the Geoheritage of the Bauges Massif (French Alps): When the Promotion of the Geoheritage helps Geosciences and vice versa. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. IV, 2, 8, 206-211.
- HOBLÉA F., CAYLA N., PEISSER C., RENAU P., GALLINO-JOSNIN S., DESBOIS J.-L., 2012. Participatory Geosciences experienced in the Bauges Geopark (France). In SA A.A., ROCHA D., PAZ A., CORREIRA V. (eds), Smart inclusive sustainable growth. Proceedings of the 11th European Geoparks Conference, 19-21 September 2012, Arouca Geopark, Portugal, 153-154, 319 p.
- HOBLÉA F., CAYLA N., REYNARD M. (dir.) 2013. Managing Geosites in Protected Areas / Gestion des géosites dans les espaces protégés. Actes du colloque ISGM 2011, Savoie Mont-Blanc, 7-10 septembre 2011. *Collection EDYTEM*, 15, 179 p.
- HOBLÉA F., DELANNOY J.J., JAILLET S., PLOYON E., SADIÉ B. (eds), 2014. Digital tools for managing and promoting karst geosites in southeast France. *Geoheritage*, à paraître.
- HOERLÉ S., KONIK S., CHALMIN E., 2011. Les vermiculations de la grotte de Lascaux : identification de sources de matériaux mobilisables par microanalyses physico-chimiques. *Karstologia*, 58, 29-40.
- JAILLET S., SADIÉ B., HAJRI S., PLOYON E., DELANNOY J.-J., 2011. Une analyse 3D de l'endokarst : applications lasergrammétriques sur l'aven d'Ornac (Ardèche, France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 4, 379-394.
- KERVAZO B., FERUGLIO V., BAFFIER D., DEBARD E., FERRIER C., PERROUX A.-S., AUJOUAT N., DELANNOY J.-J., PERRETTE Y., 2010. Parois et art pariétal. Approche taphonomique. L'exemple de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche). In THIÉBAUT C., COUMONT M.-P., AVERBOUH A. (dir.), Mise en commun des approches en taphonomie : actes du workshop n° 16, XV^e Congrès international de l'UISPP, Lisbonne, septembre 2006. Les Eyzies-de-Tayac : Société des amis du Musée national de Préhistoire, p. 43-52 (*Paléo*, suppl., 3).
- LIMA F.F., BRILHA J.B., SALAMUNI E., 2010. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, 2, 3-4, 91-99.
- MAIRE R., JAILLET S., HOBLÉA F., 2009. Karren in Patagonia (Chile), A natural laboratory for hydroeolian dissolution. In GINÉS A., KNEZ M., SLABE T., DREYBRODT W. (Eds.), Karst rock features. Karren sculpturing. ZRC Publishing, Ljubljana. *Carsologica*, 9, 329-348.
- MALGAT C., DUVAL M., GAUCHON C., 2012. Donner à voir un patrimoine invisible : de l'original à la copie. Le cas de l'espace de restitution de la Grotte Chauvet. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIÉ B., (dir.), Karsts, Paysages et Préhistoire. *Collection EDYTEM*, 13, 99-114.
- MARTIN S., 2012. Valoriser le géopatrimoine par la médiation indirecte et la visualisation des objets géomorphologiques (Thèse de doctorat), Lausanne. 273 p. + annexes.
- MARTINI G., 2012. Creating a new strong Geopark identity in front of other world UNESCO territories: the PPF concept. Proceedings of the 11th European Geoparks Conference, Arouca 2012, 185-186.
- PANIZZA M., 2001. Geomorphosites : concepts, methods and example of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, 46, Suppl. Bd, 4-6.
- PANIZZA M., PIACENTE S., 2003. Geomorfologia culturale. Pitagora Editrice, Bologna, 350 p.
- PEISSER C., RENAU P., HOBLÉA F., DESBOIS J.-L., DAVID E., 2012. Guiding geotours on the field in mountain areas: the role of mountain leaders in the Bauges Geopark, France. In SA A.A., ROCHA D., PAZ A., CORREIRA V. (eds): Smart inclusive sustainable growth. Proceedings of the 11th European Geoparks Conference, 19-21 September 2012, Arouca Geopark, Portugal, 319 p., 227-228.
- PERRET A., 2013. Itinerant exhibition in the Chablais area. Association of "objective knowledge" and "interpretation method" to elaborate a geotourism product. Abstract Volume, 11th Swiss Geoscience Meeting, Lausanne, 15th-16th November 2013, 5-6.
- PERRET A., 2014. Géopatrimoines des trois Chablais: identification et valorisation des témoins glaciaires (thèse de doctorat). Université de Lausanne, Université de Grenoble, 279 p., plus annexes.
- PERRET A., REYNARD E., DELANNOY J.-J., 2011. Reconstitution des principaux stades glaciaires du Chablais : base scientifique pour la valorisation d'un patrimoine glaciaire régional. In REYNARD E., LAIGRE L., KRAMAR N. (dir.), Les géosciences au service de la société. Actes du colloque en l'honneur du Professeur Michel Marthaler, 24-26 Juin 2010. Université de Lausanne, Institut de géographie. *Géovisions*, 37, 91-103.
- PORTAL C., 2012. Trajectoires culturelles des géomorphosites ou comment rendre visible le « relief-géogramme. » *Géocarrefour*, 87, 3-4, 187-198.
- REYNARD E., 2004. Géotopes, géo(morpho)sites et paysages géomorphologiques. In Reynard E., Pralong J.-P. (éds). Paysages géomorphologiques. IGUL, Lausanne. *Travaux et recherches*, 27, 123-136.
- REYNARD E., 2005. Géomorphosites et paysages. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3, 181-188.
- REYNARD E., PANIZZA M., 2005. Géomorphosites : définition, évaluation et cartographie. Une introduction. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3, 177-180.

- REYNARD E., FONTANA G., KOZLIK L., SCAPOZZA C., 2007. A method for assessing “scientific” and “additional values” of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 148-158.
- REYNARD E., CORATZA P., REGOLINI-BISSIG G. (Eds), 2009. *Geomorphosites*: Pfeil Verlag, München, 240 p.
- REYNARD E., HOBLÉA F., CAYLA N. ET GAUCHON C., 2011. Les hauts lieux géologiques et géomorphologiques alpins. *Revue de Géographie Alpine | Journal of Alpine Research* [En ligne], 99-2 | 2011, mis en ligne le 20 juillet 2011 ; <http://rga.revues.org/1412> ; DOI : 10.4000/rga.1412
- REYNARD E., BERGER J.-P., CONSTANDACHE M., FELBER M., GRANGIER L., HÄUSELMANN P., JEANNIN P.-Y., MARTIN S. 2012a. Révision de l’inventaire des géotopes suisses : rapport final. Groupe de travail pour les géotopes en Suisse, Lausanne.
- REYNARD E., PERRET A., GRANGIER L., KOZLIK L., 2012b. Methodological approach for the assessment, protection, promotion and management of geoheritage. EGU General Assembly 2012, 22-27 April 2012, Vienna, Austria. Abstract book, p. 3740.
- REYNARD E., CORATZA P. 2013. Scientific research on geomorphosites. A review of the activities of the IAG working group on geomorphosites over the last twelve years. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 36. 159-168.
- RIVAS V., RIX K., FRANCES E., CENDRERO A., BRUNSDEN D., 1997. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. *Geomorphology*, 18, 169-182.
- ROCHAS J., 2008. *Muséum de Grenoble : une histoire naturelle*. Editions du Muséum de Grenoble. 273 p.
- ROCHAS J., 2013. De la curiosité aux sciences. In ROCHAS J., MOCCELLIN G. (dir.). *L’Europe des Merveilles au temps de la Curiosité*. Catalogue de l’exposition du musée Saint-Antoine. Conseil Général de l’Isère, 19-27.
- SADIER B., DELANNOY J.J., BENEDETTI L., BOURLÈS D., JAILLET S., GENESTE J.M., LEBATARD A.-E., ARNOLD M., 2012a. Further constraints on the Chauvet cave artwork elaboration. *PNAS*, 109, 21, 8002-8006.
- SADIER B., BENEDETTI L., DELANNOY J.J., BOURLÈS D., JAILLET S., ARNAUD J., JARRY B., VERMOREL G., GENESTE J.-M., 2012b. Datations ³⁶Cl de la fermeture de la grotte Chauvet : implications géomorphologiques et archéologiques. In DELANNOY J.-J., JAILLET S., SADIER B., (dir.), *Karsts, Paysages et Préhistoire. Collection EDYTEM*, 13, 63-78.

LA PLATEFORME CTI3D

10 ANNÉES ENTRE CARTOGRAPHIE ET RECHERCHE DE LA TROISIÈME DIMENSION...

STÉPHANE JAILLET, ESTELLE PLOYON

Contacts : stephane.jaillet@univ-savoie.fr ; estelle.ployon@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

Sur un socle scientifique de géographie et de géologie, la carte a, dès les débuts du laboratoire EDYTEM, constitué un objet central des travaux de recherches : la carte¹ comme élément de localisation, la carte comme support d'acquisition de données, la carte comme production de résultats, la carte comme support à la réflexion, la carte comme élément cœur de l'édification des problématiques de recherche.

Très vite confrontés à des milieux particuliers (haute montagne, torrent, karst) empreint d'une rugosité et d'une complexité élevées, nous avons été amenés à développer des travaux à des échelles fines en intégrant la troisième dimension. L'utilisation des lidars terrestres mais aussi de la photogrammétrie s'est révélée efficace et a ainsi constitué un fort investissement au sein de la plateforme. Dans le même temps, les recherches géographiques basées sur l'utilisation de données à références spatiales

n'ont fait que croître, intégrant la variabilité des échelles et du temps. Aujourd'hui, entre acquisition haute résolution sur le terrain, analyse spatiale sous SIG (Système d'Information Géographique) et réalité virtuelle reconstruite, nous évoluons entre 2D et 3D au cœur de productions d'images. Ces dernières sont des vecteurs d'acquisition et de production scientifiques et des supports aux problématiques portées par le laboratoire.

Dans ce chapitre, sont présentés l'évolution de la plateforme CTI3D et les développements techniques les plus marquants de ces dix dernières années. Ces développements sont illustrés par des exemples de travaux de recherches réalisés au sein du laboratoire. A travers ces développements comme à travers les terrains qui ont supporté les questionnements qui nous ont animés, c'est la production d'images 2D ou 3D qui reste au cœur des missions de la plateforme.

I - DU DESSIN CARTOGRAPHIQUE À LA PLATEFORME CTI3D

Dès la création du laboratoire EDYTEM, sa structuration a été pensée en équipes et en plateformes technologiques et c'est donc au départ une plateforme *Cartographie haute résolution* qui voit le jour dès 2004. Rapidement, elle s'est orientée vers la terminologie CT3D pour *Cartographie, Topographie et 3D*. En effet, équipée de matériels topographiques (compas, clinomètre, distance-mètre électronique mais aussi GPS différentiel), puis dès 2005 d'un scanner Optech Ilris 3D longue portée (lidar terrestre), la plateforme investit des milieux de montagne et produit des nuages de points denses qui servent les études sur la dégradation du permafrost et la mobilité des surfaces englacées. Ainsi, les travaux 3D se structurent autour de la

haute montagne, des torrents et du karst. Pour ce troisième objet, fortement replié et complexe, un partenariat avec le cabinet de géomètre Perazio (thèse Cifre, Sadier, 2013) nous a permis de bénéficier de scanners courte portée à décalage de phase (Leica HDS 6000) plus adaptés au milieu souterrain.

Assez rapidement, le recrutement de deux ingénieurs CNRS (auteurs de ce chapitre) permet à la plateforme de structurer son activité efficacement le long d'une chaîne opératoire allant des acquisitions de données sur le terrain aux traitements infographiques et à la production cartographique. En lien avec les trois équipes de recherche, la plateforme tente d'apporter les réponses les plus efficaces aux différentes recherches développées au sein du laboratoire.

Parallèlement aux aspects 3D, l'analyse spatiale et les travaux sous SIG (Système d'information

¹ On entend ici par carte le sens le plus général, c'est-à-dire toute représentation en plan de données à références spatialisées.

Géographique) occupent une place croissante. Qu'il s'agisse d'organisation des données à références spatiales (cf. chapitre sur les bases de données) ou de traitements et de productions de résultats analytiques à partir de développements sous SIG, la plateforme tente d'apporter des réponses efficaces voire originales pour répondre au mieux aux recherches en cours ; on peut citer à titre d'exemple les apports de la plateforme pour traiter de l'évolution paysagère historique (recherche doctorale de D. Baud, 2010) ou de suivi spatio-temporel d'événements de crues historiques (cf. *infra*, Figure 8).

L'acquisition de matériels de référencement (GPS bifréquence et station totale TopCon), d'un appareil photo numérique haute résolution (Nikon D800) et le développement de méthodes de mesure par appareil embarqué sur ballon captif permet d'aller plus loin dans l'acquisition des données et d'ajouter une véritable dimension imagerie à nos travaux (Figure 1). Dès lors, la plateforme devient CTI3D pour *Cartographie, Topographie, Imagerie et 3D*. La photogrammétrie mais aussi le texturage des nuages de points deviennent

des outils complémentaires dans notre palette de compétences.

A partir de 2011, la plateforme a acquis une certaine maturité et une stabilité dans son fonctionnement ; elle devient capable de proposer ses compétences au-delà du laboratoire. Cela s'est traduit par l'organisation d'une école thématique CNRS, *Images et Modèles 3D en milieux naturels*, rassemblant 70 personnes durant une semaine en juin 2011 et se matérialisant par l'édition d'un ouvrage spécifique (Jaillet et al., 2011, Collection EDYTEM n°12). À partir de 2013, la plateforme organise un module du master 2 recherche (Universités de Savoie, Grenoble, Saint Etienne et ENS de Lyon) intitulé *De la 2D à la 3D, images et modèles en milieux naturels*. Cela s'exprime aussi par la participation des membres de la plateforme aux activités de réseaux institutionnels nationaux tels que le GDR MoDyS *Modélisation des Dynamiques Spatiales*, le réseau ISA *Information Spatiale et Archéologie* et demain le GDR Magis *Méthodes et Applications pour la Géomatique et l'Information Spatiale*.

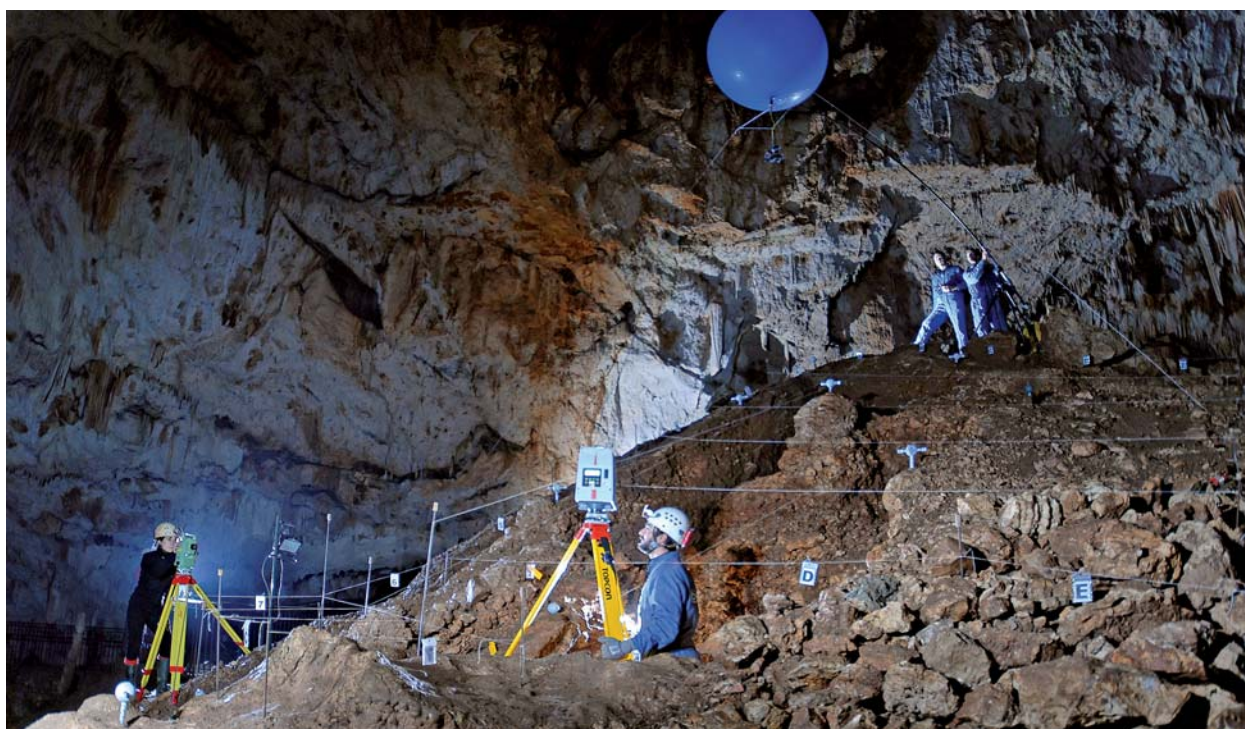


Figure 1 - Mise en œuvre des matériels pour la création d'un modèle 3D dense, ici d'un dépôt détritifique, le cône souterrain de l'aven d'Orgnac. Un lidar terrestre (ici un Leica HDS 6000) acquiert les points du nuage (500 000 pts/s), le référencement est réalisé à la station totale (à gauche) et des prises de vues sont effectuées par ballon captif (en haut). Photo S. Jaillet.

II - RELEVÉ LASERGRAMMÉTRIQUE : DU NUAGE DE POINTS À LA RÉALITÉ VIRTUELLE

L'acquisition d'un scanner longue portée en 2005 et l'accès à des scanners courte portée dès 2008 nous ont permis d'acquérir des nuages de points 3D à haute densité sur des objets naturels variés. Le mode opéra-

toire est généralement basé sur l'acquisition des points depuis plusieurs positions de balayage laser donnant plusieurs nuages qui sont assemblés sur des logiciels spécifiques selon la méthode du best-fit ou par conso-

validation avec des sphères positionnées sur le terrain (Grussenmeyer *et al.*, 2011). Les nuages sont parfois géoréférencés ou simplement référencés localement selon la nécessité. La plupart du temps, une étape de maillage est également nécessaire pour produire un modèle RTI (Réseau de Triangles Irréguliers) à maille fine, ce qui permet de (i) réduire la taille du modèle 3D, (ii) offrir une information topologique continue (voisinage) et (iii) servir de support au texturage du modèle (Jaillet *et al.*, 2011).

A la suite de ces traitements, le modèle 3D sert de support à des travaux analytiques qui peuvent être, par exemple, la quantification de volumes rocheux effondrés entre deux campagne de relevés lasergram-

métriques (recherche doctorale de L. Ravel, 2010 ; Figure 2). Le développement d'algorithmes spécifiques a permis de segmenter automatiquement ou semi-automatiquement des objets comme des stalagmites de grottes, ouvrant des perspectives très intéressantes en terme de cartographie automatique (recherche doctorale de S. Hajri, 2010 ; Figure 3). Enfin les reconstitutions paléo-paysagères basées sur ces techniques peuvent utilement trouver des applications dans les domaines scientifiques de l'archéologie comme c'est le cas du modèle proposé pour l'entrée de la grotte Chauvet avant sa fermeture (Delannoy *et al.*, 2010 ; Sadier *et al.*, 2012 ; recherche doctorale de B. Sadier, 2013 ; Figure 4).

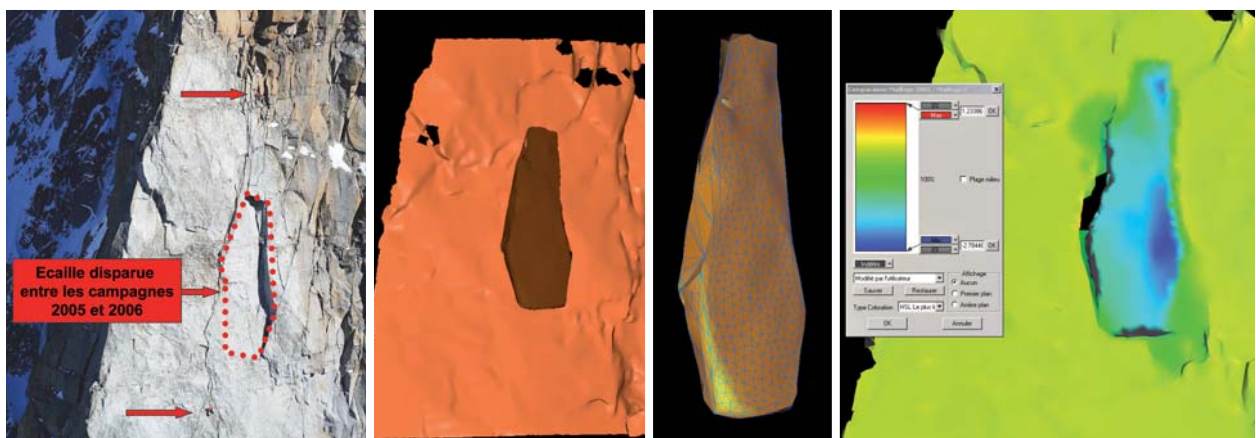


Figure 2 - Evaluation volumétrique diachrone d'une écaïlle rocheuse du petit Dru (Vallée de Chamonix-Mont-Blanc) à partir de deux relevés lasergrammétriques réalisés ici en 2005 et 2006. La comparaison (inspection) des deux modèles et la modélisation 3D de l'écaïlle permet de générer sa géométrie et son volume (Thèse Ravel, 2010).

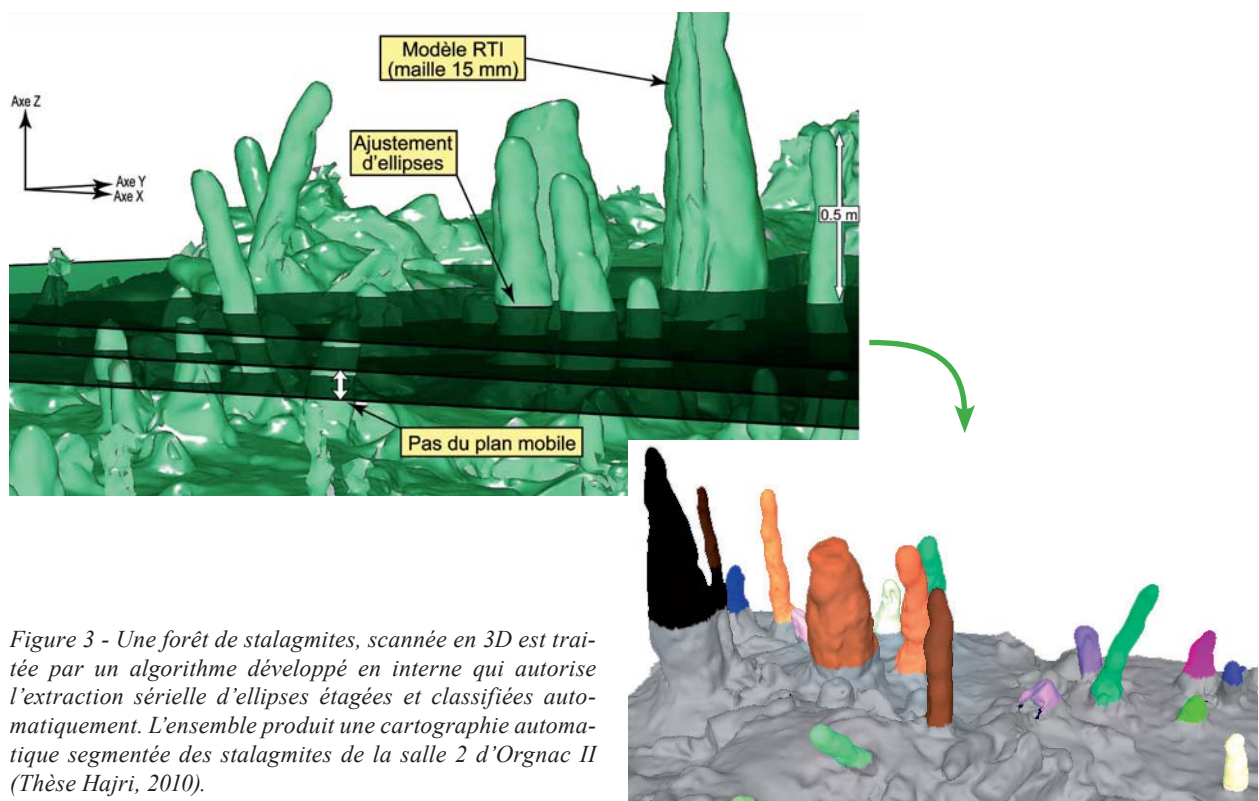


Figure 3 - Une forêt de stalagmites, scannée en 3D est traitée par un algorithme développé en interne qui autorise l'extraction sérielle d'ellipses étagées et classifiées automatiquement. L'ensemble produit une cartographie automatique segmentée des stalagmites de la salle 2 d'Ornac II (Thèse Hajri, 2010).



Figure 4 - La modélisation 3D a permis de traiter la physionomie ancienne (à gauche) et actuelle (à droite) de la zone d'entrée de la grotte Chauvet. L'analyse à haute résolution spatiale de la niche d'arrachement a autorisé l'estimation du volume écroulé et une reconstitution de l'échelle ainsi qu'une paléo-topographie du site avant sa fermeture (Thèse Sadier, 2013).

III - DÉVELOPPEMENT PHOTOGRAMMÉTRIQUE

Plus récemment, la plateforme s'est orientée vers des alternatives à l'acquisition de données 3D par lasergrammétrie terrestre. En effet, cette méthode n'est pas adaptée à tous les objets d'étude, ni à toutes les problématiques scientifiques développées au laboratoire.

La photographie aérienne est une source importante d'information géographique. Elle est très largement utilisée dans les études diachroniques sur l'évolution des occupations du sol et, notamment au laboratoire, sur les questions de retrait glaciaire (recherche doctorale de M. Gardent, 2014). Son utilisation pour reconstituer le relief par photogrammétrie est bien connue mais était jusqu'alors difficile à mettre en œuvre. L'évolution des techniques et outils informatiques en partie basés sur ces principes de photogrammétrie permet des reconstitutions 3D plus abordables. Cela a ouvert la voie à de la modélisation 3D à partir de données anciennes, notamment avec les nombreuses missions de photographies aériennes de l'IGN. Il est alors possible de reconstituer des MNE (modèle numérique d'élévation) et MNT anciens et à plusieurs dates pour suivre l'évolution de phénomènes dans le temps (Figure 5).

Ces traitements photogrammétriques peuvent également être utilisés avec des photographies non historiques et surtout, depuis peu, ne nécessitent plus des prises de vues calibrées très rigoureusement. Dès lors, la plateforme s'est orientée vers ces solutions nouvelles pour acquérir des données topographiques haute-résolution dans des lieux où l'utilisation du laser scan est difficile à mettre en œuvre, notamment en milieu torrentiel (Figure 6) ou paroi verticale. Clairement les problématiques de recherche du

laboratoire et les développements méthodologiques avancent de concert et s'alimentent mutuellement. En effet, un développement technique peut s'effectuer sur et pour un programme de recherche, parfois ce sont les compétences développées au sein de la plateforme qui rendent possible une thématique de recherche.

Figure 5, ci-contre en haut - Vue en relief d'un Modèle numérique de Surface géoréférencé du Granier (Isère) réalisé à partir de photographies aériennes anciennes IGN. Traitement Photoscan + ArcGis.

Figure 6, ci-contre en bas - Exemple d'évaluation volumétrique de la dynamique torrentielle. Le suivi d'une nappe caillouteuse par la comparaison de modèle 3D réalisés à partir de levés au laser scan terrestre a mis en évidence que les conditions de levés rendent les traitements complexes. Cela implique en effet un nombre de scènes de scan important et surtout des visées rasantes qui entraînent des distorsions importantes (Astrade et al. 2011). La mise en œuvre d'une campagne de photographies aériennes prises au ballon captif vise à simplifier l'acquisition des nuages de points et à comparer les approches.

Multi-corrélation d'images

Points de contrôle au sol, visibles sur plusieurs images. La saisie des coordonnées géographiques en x, y, z de ces points permet d'obtenir un modèle à l'échelle et géoréférencé.

Rectangle blanc : Masque certaines parties de l'image non utiles pour le résultat final du modèle

- ### Principes
- Mise en correspondance des images par recherche automatique de points communs entre les images
 - Permet de retrouver les positions originelles de prises de vues
 - Autorise des calculs photogrammétriques de mesures de profondeur
 - Restitution de la 3^{ème} dimension par inversion des profondeurs

Modèle 3D texturé, géoréférencé

Produits dérivés utilisables sous SIG

Orthophotographie

Modèle Numérique de Surface

Relevé topographique au laser scanner terrestre

- Très nombreuses scènes de scan nécessaires pour couvrir l'objet
- Problème de calage des scènes sur des objets rasants
- Post-traitement important des nuages de points avant modélisation et calcul des volumes déplacés.

Méthode d'acquisition alternative

Traitements

a- Etats successifs

Vagues sédimentaires successives et remaniements internes au chenal

Trajectoires des sédiments

b- Etats comparatifs

Localisations des accumulations et des érosions d'année en année

Seuil 1
Seuil 2
Seuil 3
Seuil 4
Seuil 5

2005-2006 2006-2007 2007-2008

échelle d'inspection (m)

- Accumulations
- Changements non significatifs
- Erosions

Relevé topographique par photogrammétrie (multicorrélation d'images)

Levés photographiques par ballon captif et nacelle orientable

Positionnement au sol de cibles levées au GPS différentiel

Multicorrélation d'images

Reconstitution des positions de prises de vues et nuage de points 3D dense

Positions reconstituées des prises de vue

Nuage de points 3D colorisés reconstitués selon des principes de photogrammétrie et des calculs de profondeur

IV - DE LA CARTOGRAPHIE AU SIG 3D

Le volet SIG de la plateforme s'articule en projets autour des questionnements scientifiques. Cette utilisation des SIG intéresse de fait des thématiques variées et couvre véritablement les trois équipes de recherche du laboratoire. Cette approche SIG est souvent très ciblée sur les bases de données (cf. chapitre sur les ressources référentiels géographiques) et la cartographie associée mais elle peut être plus orientée vers le 3D. C'est une piste que nous cherchons à développer tant il apparaît limité voir parfois impossible de se contenter d'une organisation des données en 2D ou 2,5D. En effet, l'intégration du z (objet replié comme les grottes) ou l'intégration du t (le temps) nous pousse aujourd'hui à l'ajout de cette dimension

supplémentaire dans les SIG. Deux exemples présentés s'inscrivent dans cette approche 3D des SIG. L'un concerne la grotte Chauvet et son SIG (Boche et al., 2010, 2012) pour lequel des développements sont actuellement réalisés pour une véritable gestion 3D (2D + z) de la donnée (Figure 7).

Des projets plus exploratoires sont basés sur le volet temporel des données spatialisées. Il s'agit alors de proposer des solutions autour des SIG temporels (2D + t). De nombreuses méthodes sont envisageables et l'exemple de la Figure 8 montre une des voies considérées, en l'occurrence, intégrer le temps comme la 3^{ème} dimension des SIG (Projet CrHistAI, Labex ITEM, 2013) grâce à des outils comme GeoTime.

SIG Chauvet - aspects spatiaux et attributaires

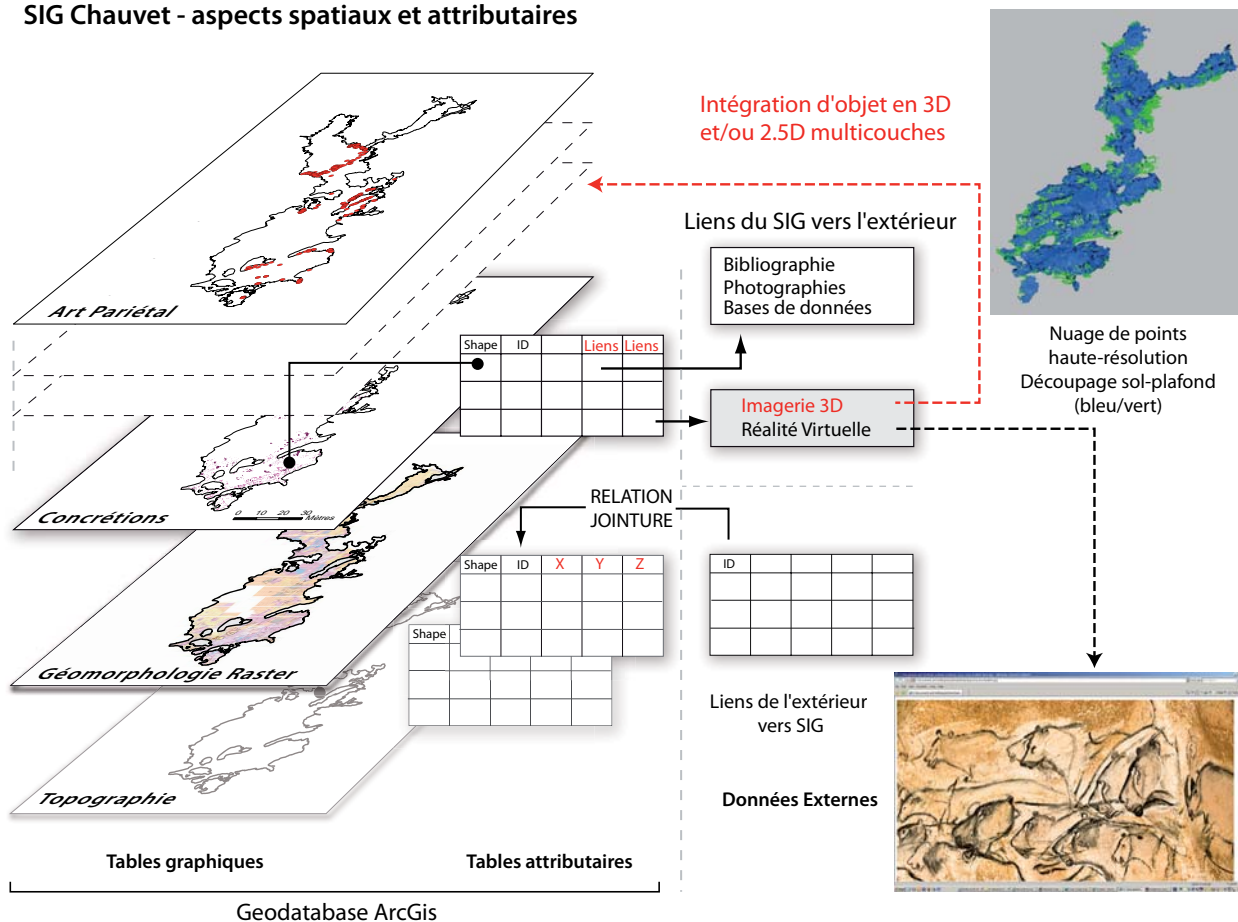


Figure 7 - Structuration du SIG de la Grotte Chauvet et évolution progressive du projet initial en 2D vers un aspect de plus en plus en 3D par différents moyens, réalité virtuelle, nuages de points 3D haute-résolution (laser), levés topographiques (station totale). Ces différentes données 3D enrichissent progressivement le SIG qui centralise et spatialise les recherches scientifiques interdisciplinaires menées dans cette cavité. Il est un outil fédérateur tant de l'équipe scientifique Chauvet qu'en direction des institutions (Ministère de la Culture et de la Communication).

Suivi spatio-temporel d'événements de crues historiques

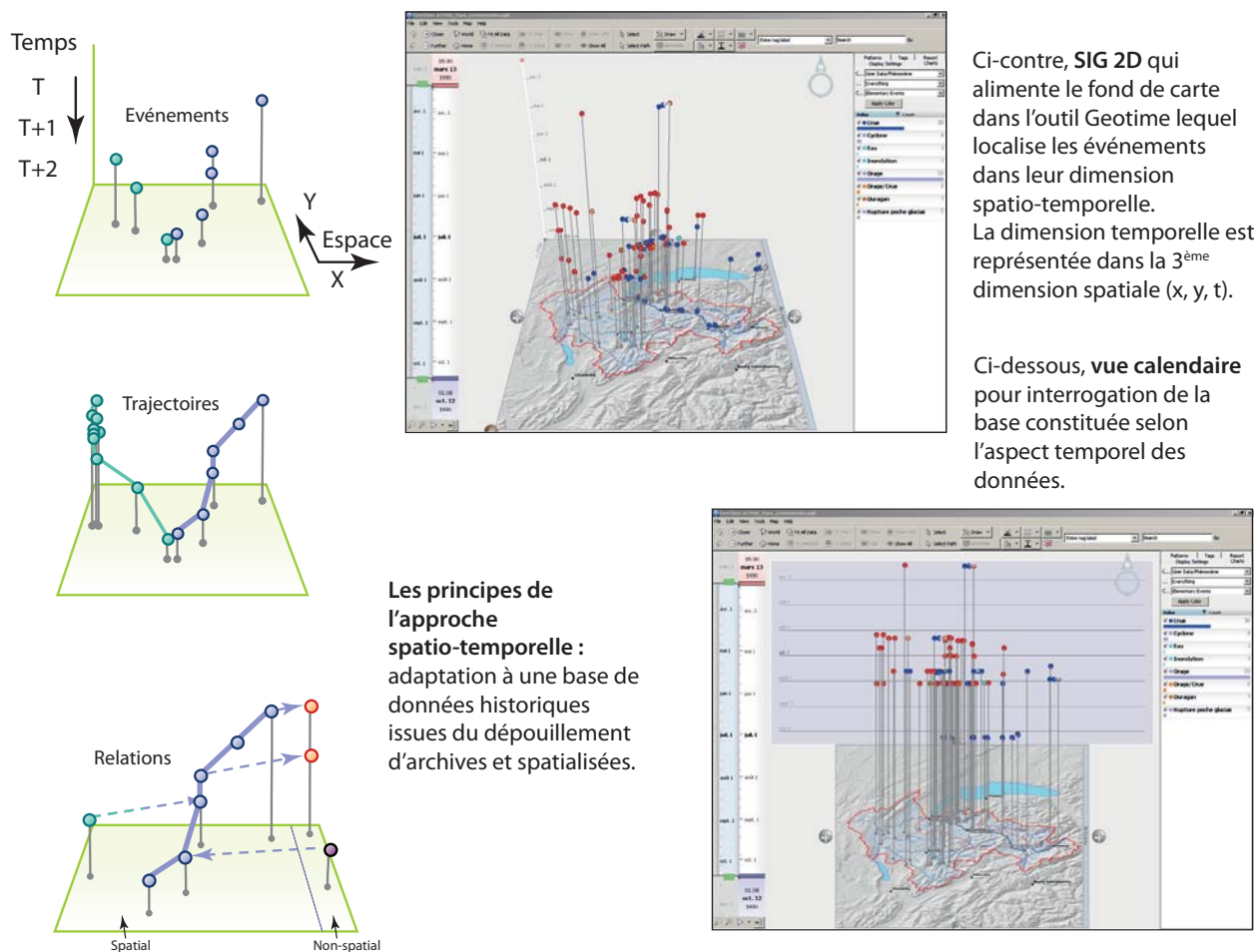


Figure 8 - Mise en base de données d'événements de crue à partir d'archives textuelles et représentation spatio-temporelle des données (ArcGis et GeoTime) pour explorer ces informations et proposer un nouveau regard sur les données.

CONCLUSION - DEMAIN, VERS LA PLATEFORME CTI4D

Au terme de ces dix années d'existence, la plateforme CTI3D a atteint une maturité qui la conforte dans son organisation et son fonctionnement. L'absence de recrutement ne permet pas d'augmenter significativement le nombre de chantiers traités, mais la participation croissante des chercheurs aux travaux techniques, l'autonomie plus importante des doctorants (acquise par des formations internes, mais aussi par la participation croisée des uns et des autres aux travaux de tous) et l'efficacité des procédures mises en œuvre permet un gain de temps, certes limité, mais essentiel pour conserver la possibilité de réaliser des développements et des projets. La plateforme s'intègre désormais dans une chaîne opératoire plus ou moins linéaire qui depuis les problématiques scientifiques cherche à proposer des solutions techniques et méthodologiques adaptées, mêlant et croisant les méthodes

des deux grands volets de la plateforme (SIG et 3D). Cela permet d'envisager une évolution vers du SIG 3D abouti, avec à terme une dimension temporelle.

Les travaux les plus récents montrent tout l'intérêt qu'il peut y avoir à intégrer dans ces recherches la dimension temporelle : le temps dans les cartes 2D comme troisième dimension (time geography, SIG 2D+1), le temps comme élément d'analyse avec production de modèles diachroniques et de cartes animées (*.gif animé), ou le temps comme quatrième dimension dans les modèles 3D ou SIG 3D+1 ou des analyses à quatre dimensions (analyses factorielles par exemple).

Tous ces éléments militent vers un élargissement des champs d'investigation de la plateforme CTI3D de demain et son évolution méthodologique et conceptuelle vers une plateforme CTI4D.

RESSOURCES, STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE LA PLATEFORME CTI3D

Au travers des exemples présentés, les champs d’investigation de la plateforme CTI3D ont été abordés et mettent l’accent sur une chaîne opératoire permettant d’aller de l’acquisition de données à leur valorisation (Figure a).

Pour mener à bien ses missions, la plateforme dispose de ressources matérielles et informatiques, ces ressources sont synthétisée dans la Figure b.

La plateforme fonctionne, en outre, avec une commission interne dont les réunions périodiques ont pour but l’organisation des travaux et la diffusion des avancées et des missions vers tout le laboratoire. Ce fonctionnement se fait en interaction avec la direction et les équipes de recherche pour définir les orientations et appuyer au mieux la recherche menée au laboratoire (Figure c).

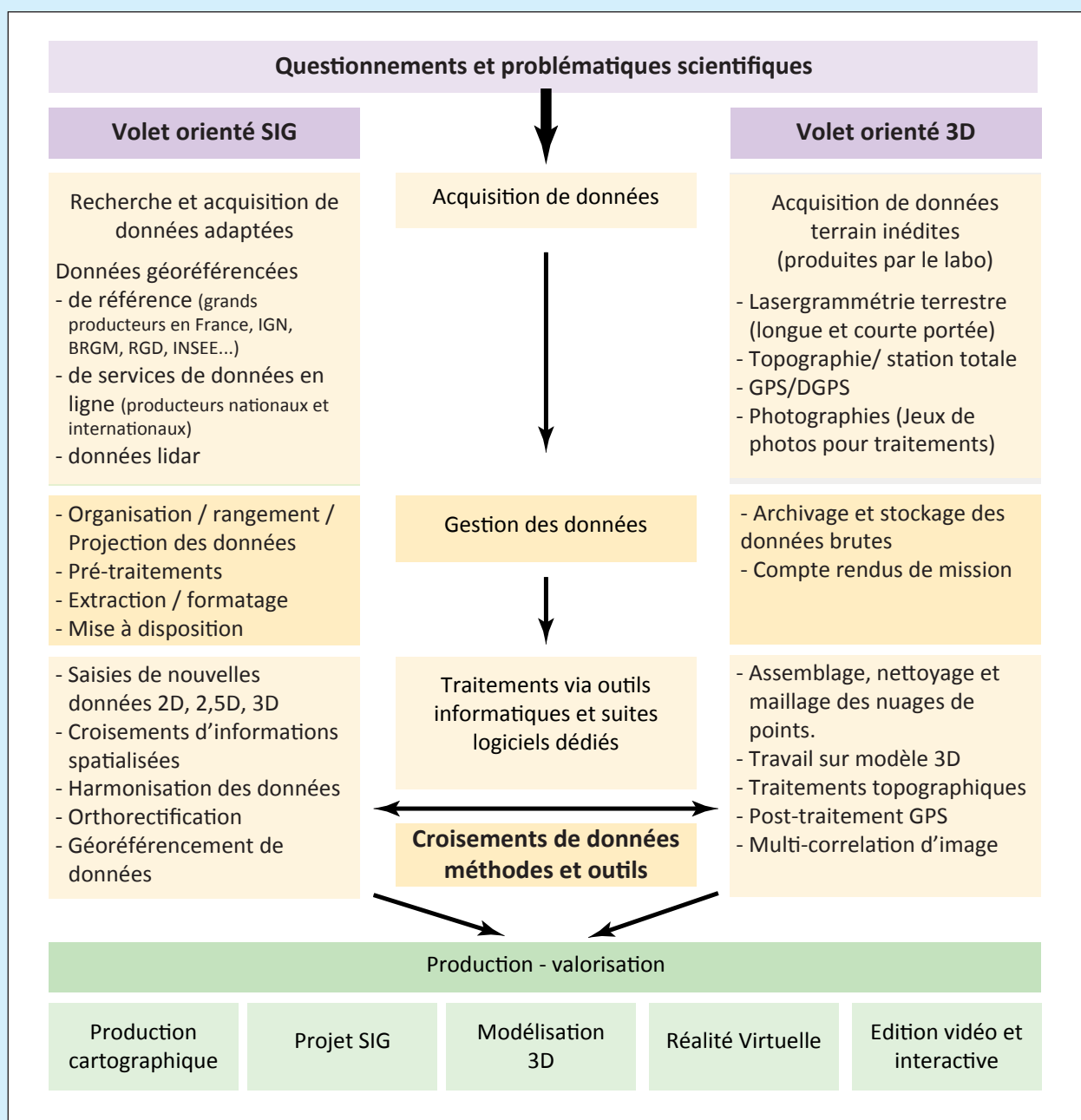


Figure a - Chaîne opératoire de la plateforme CTI3D. Après la définition des problématiques et des questions scientifiques, la plateforme met en œuvre ses ressources pour l’acquisition, l’archivage, le traitement et le rendu des données. Les productions réalisées sont variables, allant du modèle 3D à la carte en passant par différents résultats analytiques originaux basés sur des croisements de données, de méthodes et d’outils.

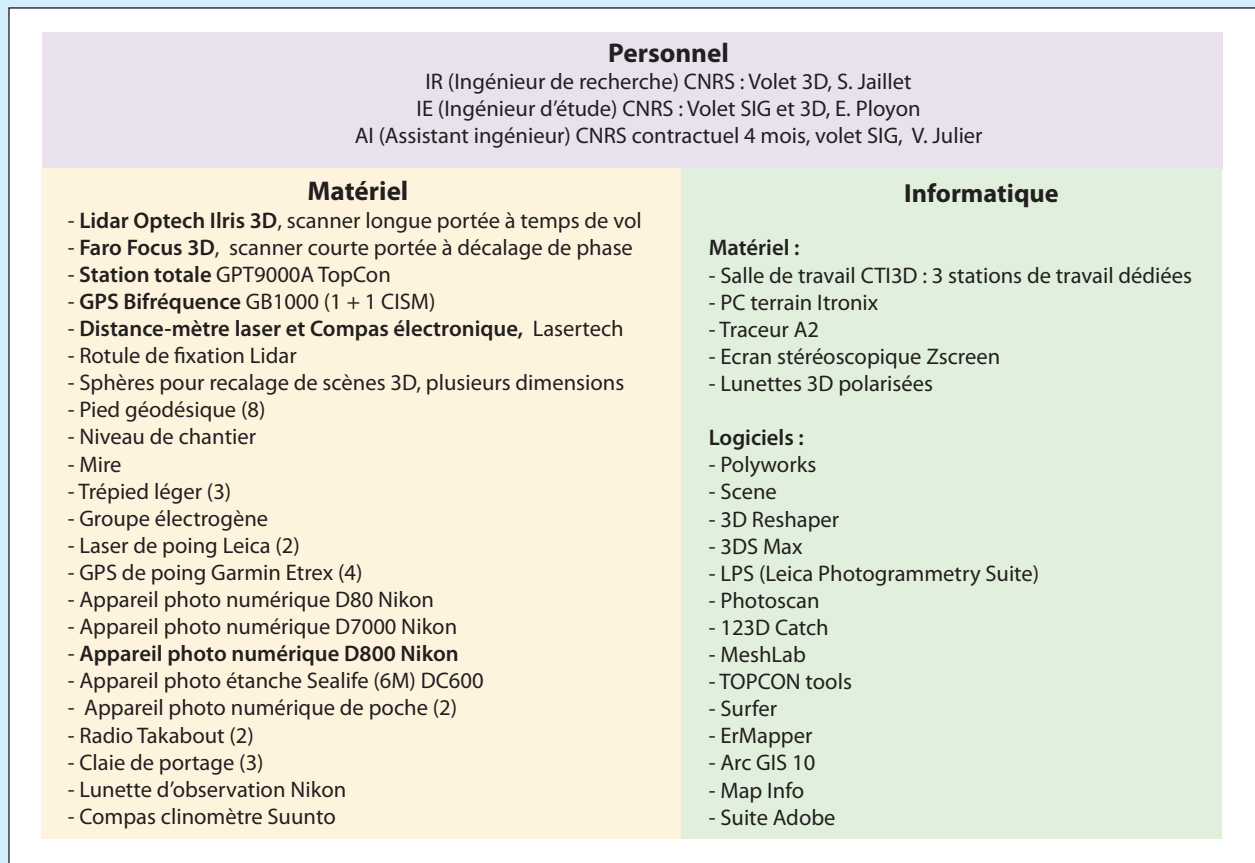


Figure b - Les ressources de la plateforme CTI3D

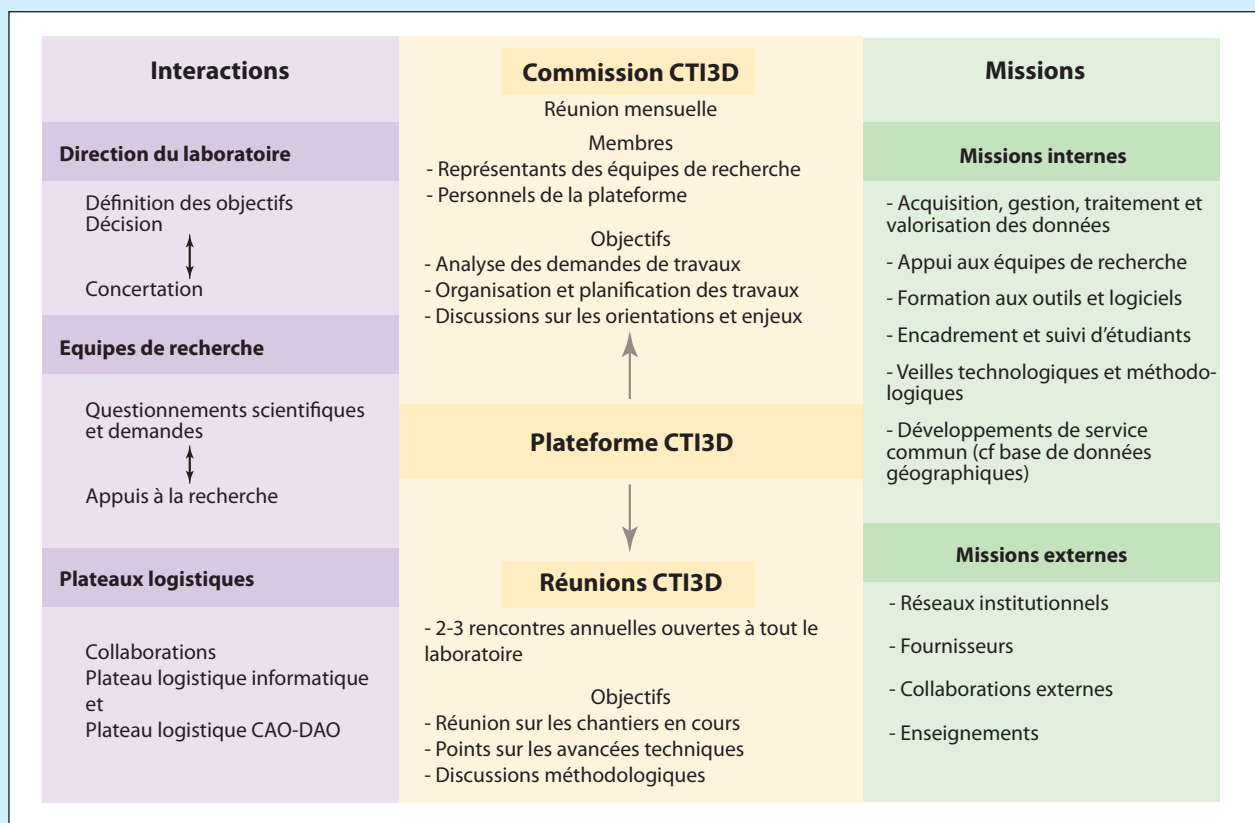


Figure c - Les grandes lignes du fonctionnement de la plateforme CTI3D.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTRADE L., PLOYON E., VEYRAT-CHARVILLON S., 2011. Les données laser terrestre à haute résolution pour le suivi de la charge de fond dans les tronçons torrentiels. Retour d'expérience. In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T., (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 107-118.
- BAUD D., 2010. Étude des dynamiques d'occupation du sol et des paysages alpins : des archives cadastrales des Pays de Savoie aux Systèmes d'Information Géographique. Université de Savoie, thèse de géographie, 315 p.
- BOCHE E., MONNEY J., PLOYON E., SADIER B., DELANNOY J.-J., GENESTE J.-M., JAILLET S., 2010. Le SIG comme outil fédérateur de recherche interdisciplinaire : application à la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Système d'Information Archéologique : modèles, normes, outils, applications. JIAP (Journées d'Informatique et Archéologie de Paris), 2010.
- BOCHE E., JAILLET S., SADIER B., CRETIN C., DELANNOY J.-J., GENESTE J.-M., PLOYON E., ROBERT E., 2012. De l'art pariétal à ses contextes : de nouveaux outils d'enregistrement et de mise en réseau des informations. MADAPCA (Micro-Analyses et Datations de l'Art Préhistorique dans son Contexte Archéologique).
- DELANNOY J.-J., SADIER B., JAILLET S., PLOYON E., GENESTE J.-M., 2010. Reconstitution de l'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France) : les apports de l'analyse géomorphologique et de la modélisation 3D. *Karstologia*, 56, 17-34.
- GARDENT M., 2014. Inventaire et retrait des glaciers dans les Alpes françaises depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. Université de Grenoble-Alpes, thèse de géographie, 444 p.
- HAJRI S., SADIER B., JAILLET S., PLOYON E., BOCHE E., CHAKROUN A., SAULNIER G.-M., DELANNOY J.-J., 2009. Analyse spatiale et morphologique d'une forêt de stalagmites par modélisation 3D dans le réseau d'Orgnac (Ardèche, France). *Karstologia*, 53, 1-14.
- HAJRI S., 2010. Modélisation des surfaces rocheuses naturelles à partir d'une scannerisation laser 3D et extraction automatique de formes caractéristiques : applications aux spéléothèmes et surfaces géologiques. Université de Savoie, thèse de géomatique, 250 p.
- JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T., (dir.) 2011. Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 216 p.
- JAILLET S., SADIER B., HAJRI S., PLOYON E., DELANNOY J.-J., 2011. Une analyse 3D de l'endokarst : applications lasergrammétriques sur l'aven d'Orgnac (Ardèche, France). *Géomorphologie : Relief. Processus. Environnement*, 4, 379-394.
- GRUSSENMEYER P., LANDES T., 2011. Lasergrammétrie terrestre. In JAILLET S., PLOYON E., VILLEMIN T., (dir.), Images et modèles 3D en milieux naturels. *Collection EDYTEM*, 12, 11-28.
- PLOYON E., 2013. SIG et Milieux Souterrains. Exemples d'utilisations scientifiques 2D-3D (Grotte de Choranche, Aven d'Orgnac, Grotte Chauvet). Conférence francophone, SIG 2013, ESRI, 2-3 octobre 2013.
- RAVANEL L., 2010. Caractérisation, facteurs et dynamiques des écoulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc. Université de Savoie, thèse de géographie, 322 p.
- RAVANEL L., DELINE P., JAILLET S., 2010. Quantification des éboulements/écroulements dans les parois à permafrost de haute montagne : quatre années de relevés laser terrestres dans le massif du Mont Blanc. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 192, 58-65.
- SADIER B., DELANNOY J.-J., BENEDETTI L., BOURLÈS D., JAILLET S., GENESTE J.-M., LEBATARD A.-E., ARNOLD M., 2012. Further constraints on the Chauvet cave artwork elaboration. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 109, 21 8002-8006. doi: 10.1073/pnas.1118593109
- SADIER B., 2013. 3D et géomorphologie karstique. La grotte Chauvet et les cavités des gorges de l'Ardèche. Université de Savoie, thèse de géographie, 486 p.

LA PLATEFORME GÉOMATÉRIAUX ET MONITORING (GÉMo)

MONITORING, ÉCHANTILLONNAGE ET CARACTÉRISATION DES GÉOMATÉRIAUX

BERNARD FANGET, EMMANUEL MALET, CÉCILE PIGNOL, FAYÇAL SOUFI, VINCENT BLANC, ANNE-LISE DEVELLE

Contact plateforme : bernard.fanget@univ-savoie.fr

Contact métrologie de terrain : emmanuel.malet@univ-savoie.fr

Contact core scanner : anne-lise.develle@univ-savoie.fr

Contact plateau technique sédimentologie, BD CAROTE : cecile.pignol@univ-savoie.fr

Contact plateau technique litholamellage : faycal.soufi@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

CONSTITUTION DE LA PLATEFORME GÉMo : MUTUALISATION ET PROSPECTIVE

Lors de la mise en place de la structure en trois plateformes technologiques, le laboratoire ne comptait que deux ingénieurs dédiés au soutien à la recherche. À ce stade initial, il ne s'agissait pas tant d'organiser la recherche que de donner un cadre prospectif au développement du laboratoire et ainsi d'éviter un éparpillement des projets et types d'équipements. De même, le souhait initial de la mise en place de cette structuration était également de partager les moyens humains disponibles pour l'accompagnement de la recherche.

Dix ans après, il convient de dresser un bilan critique de cette structuration. Du point de vue matériel, ce bilan est très positif, les lignes qui suivent présentent quelques réalisations qui nous semblent bien illustrer le travail effectué durant ces 10 ans. Du point de vue de la gestion des ressources humaines, cette structuration prospective a permis de renforcer l'équipe des personnels d'accompagnement de manière équilibrée. Cette structuration a également entraîné une frag-

mentation du temps de travail des ITAs durant ces dernières années. En effet, l'évolution des plateformes et la croissance de l'équipe de recherche ont rendu la structure initiale inadaptée. Ainsi, du point de vue des personnels d'enseignement et de recherche, une part du travail des ITAs apparaissait opaque ou dédié uniquement à certaines composantes du laboratoire ; en miroir, le ressenti des ITAs était qu'une part de leur travail semblait participer au remplissage du tonneau des Danaïdes par des données. Pour cette raison, dans un souci de simplicité dans l'organisation des services, les plateformes géomatériaux et monitoring ont été fusionnées depuis 2013 afin de constituer une structure plus claire et lisible en interne, adaptée à l'équipe et aux besoins actuels.

Dans la suite de ce texte de présentation de l'activité de la plateforme, nous intégrerons indifféremment les travaux réalisés dans le cadre du monitoring ou de l'analyse des géomatériaux.

I - PÉRIMÈTRE ET MISSIONS DE LA PLATEFORME GÉMo :

PRODUIRE, ORGANISER ET RENDRE ACCESSIBLES LES ÉCHANTILLONS ET DONNÉES

La plateforme GéMo couvre un vaste champ de méthodes et métiers qui visent à produire et organiser la donnée de base nécessaire à l'étude en géoscience et en science de l'environnement. On distingue trois domaines distincts.

1 - L'échantillonnage

Le prélèvement : depuis sa création, le laboratoire a pu s'équiper de moyens conséquents de prélèvements. À côté des moyens disponibles pour l'hydrogéologie et l'étude des eaux de surfaces et souterraines, le laboratoire dispose de moyens de prélèvements spécifiques

pour chaque archive naturelle : tronçonneuse (étude des cernes d'arbre), carottiers de roche, tarières.

À ces moyens utilisés essentiellement en interne, sont adossés des moyens de carottage sédimentaire conséquents qui participent à une plateforme nationale de carottage continental, plateforme intégrée dans le cadre de l'Équipex CLIMCOR coordonné par Fabien Arnaud (cf. encadré).

La préparation et le micro-échantillonnage : parmi les archives naturelles, les cernes et les spéléothèmes nécessitent une préparation spécifique avant analyse (sciage, polissage) couplée parfois à un micro-échantillonnage. Les différents moyens nécessaires à cela sont présents au laboratoire et ont été renforcés il y a quelques années par la mutualisation de nos moyens avec ceux de l'atelier de litholamellage de l'université (UFR CISM). Notamment, les compétences de Faycal Soufi, en charge du litholammellage permettent de travailler sur des lames minces imprégnées (sol ou sédiment) mais également de préparer des échantillons en vue d'analyse synchrotron (lame mince libre de 30 µm). Ce savoir faire reconnu nationalement est un atout important pour les travaux menés au laboratoire.

L'organisation et la conservation : en lien avec l'augmentation de l'activité de recherche menée à partir des archives sédimentaires, un travail important, impulsé par F. Arnaud, a été réalisé sous la responsabilité de Cécile Pignol, en lien étroit avec l'ensemble du groupe lacs (P. Sabatier, J. Poulenard, C. Giguët-Covex, B. Wilhelm, J.-P. Jenny), pour l'organisation, le stockage et la mise à disposition des archives sédimentaires prélevées. Ce travail de curateur (ou conservateur) a permis de réaliser des études originales avec les laboratoires partenaire de FLAME notamment (étude de micropolluants avec le LCME, de l'ADN ancien avec le CARTEL). Ce travail repose sur deux aspects : la conservation physique des échantillons ; le référencement des échantillons et leur recollage dans une base de données spécifique. Ce deuxième point a servi de point de départ au développement de la base de données réalisée à Edytem.

2 - Acquisition de données

Monitoring : afin de répondre aux questions scientifiques posées sur les milieux de moyenne et de haute montagne, les eaux thermales et les milieux karstiques, Stéphane Jaillet, puis Bernard Fanget et maintenant Emmanuel Malet ont équipé et maintenu des sites dédiés à la mesure de paramètres physiques de l'environnement (température de roche, de l'eau, minéralisation de l'eau, turbidité, fluorescence...). Si les paramètres mesurés sont en général très classiques, les lieux et conditions de mesures le sont beaucoup moins (Figure 1). C'est à ce niveau que se situe le savoir faire de l'équipe de la plateforme GéMo. Le nombre de sites suivis est évolutif. Certains sites sont éphémères (cf. encadré), ils sont

installés pour répondre à une question précise, sont suivis puis démontés une fois l'étude réalisée. La durée de vie peut être ainsi de 3 à 5 ans pour les sites éphémères. Certains sites sont suivis sur du plus long terme, en général ces sites ne sont pas attachés à une question scientifique précise. Les données sont bien souvent sous exploitées. N'ayant pas les ressources humaines et financières suffisantes pour suivre des sites sur le long terme sans passer par l'appui d'un réseau d'observatoires, certains sites historiques comme celui des grottes de Choranche, ont été en grande partie interrompus. L'accueil de Georges-Marie Saulnier au laboratoire a orienté une part des développements de monitoring vers l'utilisation des moyens vidéos. L'innovation des méthodes a permis de lancer une startup adossée au laboratoire qui propose des services d'instrumentation et de suivi des paramètres hydrométriques par imagerie (TENEVIA).

Laboratoire : la plateforme GéMo regroupe de nombreux instruments de mesures repartis sur 260 m², en 7 salles dédiées à : i) la chimie analytique ii) l'ouverture et la description des sédiments, iii) la spectroscopie classique (uv, fluorescence, MIR), iiiii) l'ouverture et l'échantillonnage sur sédiments et sols, v) le litholamellage et le polissage de roches et lames vi) la spectroscopie XRF (core scanner) et enfin vii) une pièce partagée entre la spectrofluorescence sur phase solide et la spectrométrie de masse des isotopes stables de l'oxygène et du carbone. L'originalité de la plateforme est de regrouper des instruments dédiés à l'étude des différentes matrices solides naturelles (roches, sédiments, spéléothèmes, sols, carottes d'arbre). Qu'il s'agisse d'analyses d'éléments organiques ou inorganiques, la stratégie mise en œuvre au sein de la plateforme, en lien avec les questionnements scientifiques, est de coupler des méthodes analytiques chimiques avec des méthodes spectroscopiques. Les premières sont en général très informatives mais coûteuses et peu résolues, les secondes sont moins informatives mais moins onéreuses et à haute résolution. Ce couplage constitue le point caractéristique du laboratoire. Notamment, le projet conduit par F. Arnaud qui a permis au laboratoire d'acquérir un scanner de carottes sédimentaires en fluo X, Le recrutement d'Anne-Lise Develle a été essentiel pour permettre une utilisation optimale de cet instrument au sein du laboratoire mais surtout à l'échelle nationale. Cela a conféré une grande visibilité au laboratoire sur cette compétence d'imagerie spectroscopique à l'échelle régionale, voire nationale (cf. encadré). Les aspects analytiques sont développés directement au laboratoire, coordonnés par B. Fanget ou via des collaborations conduites dans les cadre de FLAME avec le LCME notamment (ex spéléothèmes hap). Quasi inexistantes lors de la création du laboratoire, tous ces moyens ont été acquis grâce au soutien de nos tutelles et de l'ANR et ont pu être déployés de manière optimale grâce à l'immobilisation d'une surface conséquente de salles dédiées lors de l'aménagement des locaux du pôle montagne. Ces salles d'analyses sont adossées à deux



Figure 1 - Exemples de sites instrumentés du laboratoire EDYTEM (massifs du Mont Blanc, de Belledonne, de la Chartreuse).

ateliers (mécanique et électronique) qui permettent le développement et la maintenance des instruments destinés aux laboratoires ou au terrain.

3 - La gestion des données

Les données de sédimentologie d'EDYTEM sont systématiquement stockées depuis 2009 dans une base de données CAROTE (Carottes et ARchives pour l'Observation Temporelle de l'Environnement) afin de garder une archive des échantillonnages et des données analytiques issues du laboratoire (Figure 2).

L'entrée d'une carotte dans la base de données s'effectue par les rapports de mission (RM) remplis au retour des sorties de terrain. Ces rapports de mission sont intégrés depuis 2012 à la base de données globale du laboratoire BDDEdytem. Les carottes sont, entre autres, géoreferencées, listées, accompagnées de toutes les informations liées à leur prélèvement. Un document PDF est proposé en sortie afin de permettre la diffusion au partenaire de la mission.

Les carottes sont ensuite identifiées dans une banque de données dédiée (CAROTE ; <http://www.bdd-inee.cnrs.fr/spip.php?article434>). Le point d'entrée est à la fois une base assurant la gestion du stockage, puis après l'ouverture d'une carotte, une base de métadonnées (Fiche ID) où sont répertoriées systématiquement les informations et actions d'analyses relatives à chaque demi carotte. Les données sont stockées de manière organisée et systématique permettant une sauvegarde, un archivage et un accès pérenne et facilité.

L'historique de cette banque de donnée s'inscrit au cœur du projet de l'Agence Nationale de la Recherche IPER-RETRO (Impact des PERTurbations sur les Réseaux TROphiques en lacs) ayant débuté en 2009. Ce projet a constitué sans doute le plus important effort de recherche paléolimnologique jamais réalisé sur les grands lacs français (Bourget, Annecy, Léman). Ce projet, tout à la fois multi-sites, multi-thématiques, multi-proxies, multi-par-

tenaires (la plupart biologistes, ignorant tout de l'étude des sédiments) et international, concentrait la plupart des défis de gestion associés à un grand projet d'étude de carottes sédimentaires. Au total, ce sont 132 carottes – 264 demi carottes – prélevées dans 3 lacs différents qui ont dû être datées, intercorrélées et plus de 6 000 échantillons qui ont été prélevés, inter-datés, distribués et suivis dans cette banque de données mutualisée. La gestion de ces 132 carottes a reposé sur le recrutement d'un Assistant Ingénieur *Curator*¹ qui a mis en place dès le début du programme des procédures permettant le suivi des besoins et du partage d'échantillons de chaque membre. En parallèle, il a fallu identifier et mettre en place rapidement un outil de gestion des métadonnées et des données associées à chaque demi carotte du projet tout en prévoyant au mieux les questionnements, à la fois de mutualisation d'échantillons ou de données, mais aussi de répondre à la problématique d'archivage, de traçabilité, de la qualité des carottes et des données. La banque de données a donc vu le jour sous l'impulsion du responsable du WorkPackage Sédimentologie (F. Arnaud, CNRS) et grâce à un soutien affirmé du responsable du projet (M.-É. Perga, INRA).

Excepté pour les carottes de glace (EPICA), cette approche, par ailleurs bien développée à l'échelle internationale (carottages marins – IODP², terrestres – ICDP, lacustres – LakeCORE³), reste aujourd'hui unique en France (Pignol et al., 2013).

Au cours de la montée en charge du projet, la banque de données a dépassé les frontières du projet IPER-RETRO. Elle rassemble maintenant l'ensemble des données relatives à l'étude des sédiments lacustres du laboratoire EDYTEM et de ses partenaires (en particulier dans la cadre de la Fédération de recherche FLAME) acquises depuis 2000 (500 Go de données et 950 entrées). La banque de données permet d'accéder, en interne, à l'information (métadonnées et données) relative aux 500 carottes d'une quarantaine de lacs (64 rapports de missions) sur lesquels 50 types d'analyses ont pu être réalisées.

II - ENJEUX ACTUELS DE LA PLATEFORME GÉMO

Dix ans après, deux grands types d'enjeux guident les développements de la plateforme GéMo : l'un concerne le flux opérationnel (ou workflow), l'autre le développement de moyens spécifiques.

1 - Flux opérationnel

Ce terme, quoique peu utilisé dans nos laboratoires de recherche, résume bien l'enjeu à relever pour la

¹ *Curateur en sédimentologie* : le curateur rassemble, organise, annoté et valide les informations autour d'objets (carotte). Son rôle peut englober le suivi qualité, l'extraction, l'organisation des données, leur description et leur mise à disposition.

² *Consortium IODP* : Bremen, one of Cores Repository of IODP ; http://www.marum.de/en/IODP_Integrated_Ocean_Drilling_Program_at_MARUM.html

³ *LRC- LakeCORE* : Lake core repository of the Limnological Research Center - University of Minnesota ; <http://www.d.umn.edu/llo/facilities/sedimentology.html>

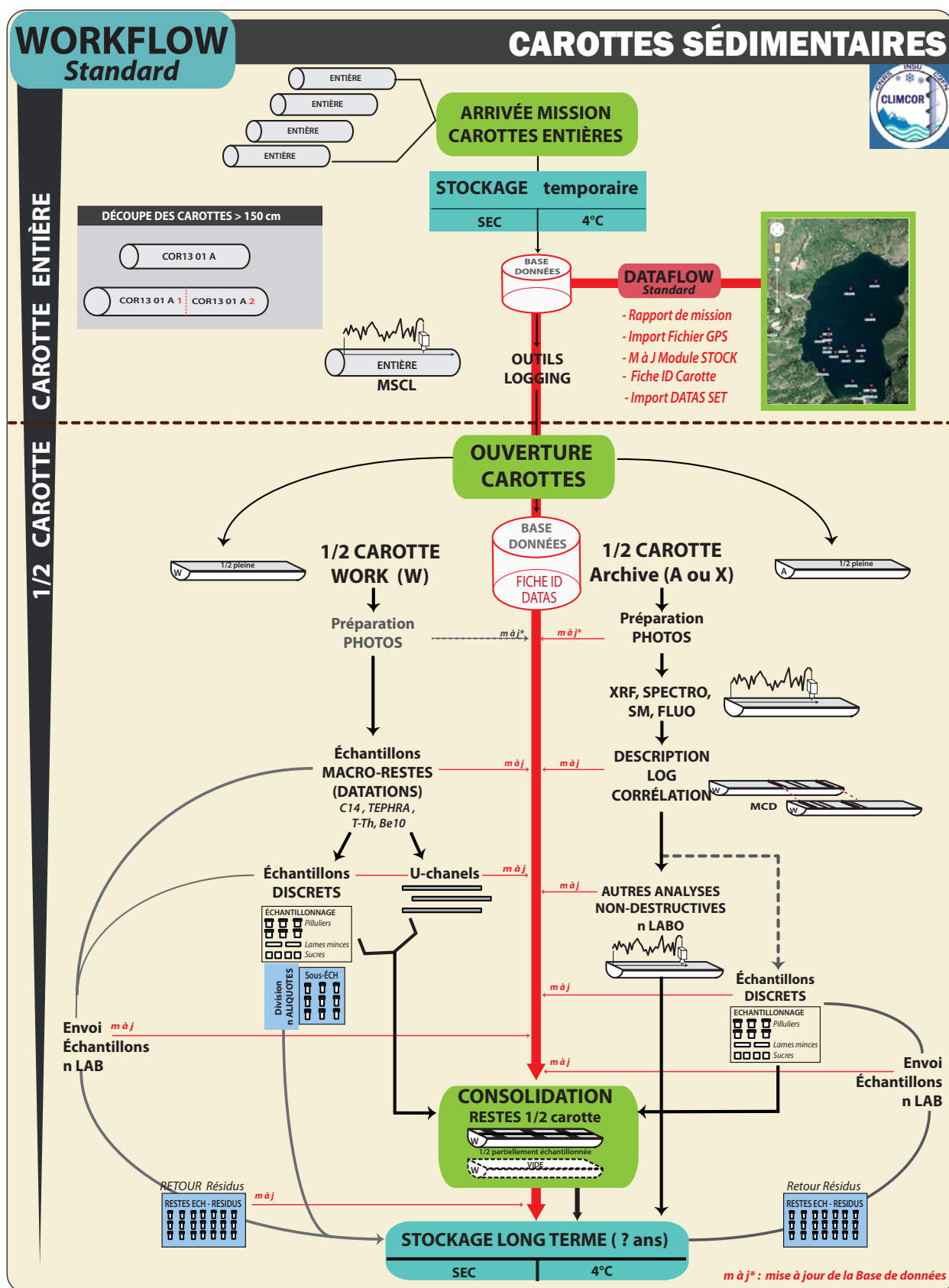


Figure 2 - Organigramme des différentes phases du traitement d'une carotte sédimentaire au laboratoire EDYTEM (Pignol et al., 2013).

plateforme GéMo. Cette notion fait référence à l'enchaînement des tâches et actions permettant, depuis l'arrivée d'un échantillon (quel qu'il soit) au laboratoire, de produire de la manière la plus simple et reproductible de la donnée exploitable et accessible. Cela recouvre donc les questions de gestion du parc analytique et des personnels aptes à l'utiliser et ou le maintenir. Cela recouvre également les questions de stockage des échantillons, de compatibilité des tâches effectués (étude d'échantillons poussiéreux et microéchantillonnage...). La sous exploitation des instruments peut prendre deux formes, elle peut être directe (pas de production de données) soit indirecte (pas d'utilisation des données).

Le travail entrepris par l'équipe de sédimentologie pour optimiser ce flux opérationnel depuis l'ouverture de la carotte jusqu'à la constitution d'une base de données utilisable par les chercheurs, servira de point de départ afin de rendre plus fluide le travail réalisé dans le cadre de la plateforme. En ce qui concerne l'utilisation du parc analytique, cela pourra être couplé avec des fiches d'instruments permettant de définir leurs conditions d'utilisation et les fréquences de maintenance nécessaires. Dans le cadre du monitoring, les sites instrumentés pourront être intégrés dans différents réseaux d'observatoires qui à l'échelle régionale et nationale fournissent un cadre opérationnel plus abouti que celui du laboratoire tant pour la mise en œuvre des réseaux d'instruments de mesure qu'en ce qui concerne la mise à disposition des données collectées.

III - LES PLUS BEAUX FLOPS DE LA PLATEFORME GÉMO

Le chercheur sage apprend de ses erreurs....
Notamment, durant ces 10 ans, la plateforme a connu un certain nombre de flops qui nous ont servi à réorganiser notre travail. Ces plus beaux flops révèlent les limites d'un fonctionnement en limite de rupture de charge. Le *flop fondateur* concerne l'acquisition d'un CHNS aujourd'hui sans le S. Cet équipement destiné à l'analyse élémentaire des solides (Carbone, Hydrogène, Azote, Soufre) a été acheté grâce à un soutien du CNRS en saisissant une opportunité à la fois du CNRS et du vendeur. N'ayant pas de local environné (fluide) pour l'installer, cet instrument est resté un an en carton avant qu'un accord avec le CARTEL nous permettent de le déballer... le problème est qu'il ne fonctionnait pas et était hors garanti ... adieu le S. Depuis, des problèmes répétés sur le CHN ou sur sa balance associée ne nous ont pas permis de sortir un seul résultat... dix ans après. Cette expérience nous a permis de penser différemment l'installation dans les nouveaux locaux puis des nouveaux instruments.

En matière de suivi, plusieurs sites ont été particulièrement chronophages en relevés de données tant en surface que sous terre sans que celles-ci

Ici, le facteur limitant principal nous semble être les ressources humaines et leur stabilité, tant au niveau des personnels de recherche qu'à celui des chercheurs.

2 - Développements

Une part de l'activité de la plateforme GéMo vise à adapter ou développer des instruments d'analyses spécifiques pour le terrain ou la mesure en laboratoire. Grâce aux compétences en mécanique et électronique, de nombreux dispositifs ont pu être créés par B. Fanget et E. Malet pour répondre aux questions des chercheurs du laboratoire. Ces moyens techniques ont également permis de développer le banc d'analyse par spectrofluorescence des spéléothèmes (cf. encadré). Mais avec la croissance du laboratoire, cette activité chronophage est la première à pâtir de la surcharge de travail des ITAs. La réorganisation en une seule plateforme et la redéfinition des missions des personnels de la plateforme devraient permettre de maintenir cette activité qui est essentielle pour répondre aux questions spécifiques posées et aux terrains étudiés (milieux difficiles, peu accessibles).

Dans ce cadre, à la rencontre des recherches menées sur les spéléothèmes et les sédiments, un banc multianalyse et multispectral (PAMM) est en cours de développement. Cette activité fait actuellement l'objet d'une étude de valorisation dans le cadre de GRAVIT et pourrait déboucher sur un démonstrateur industriel destiné aux ingénieurs géologues.

aient été exploitées comme elles auraient dû l'être. L'apprentissage réalisé par ces expériences concerne deux points : l'importance d'un questionnement scientifique préalable à l'installation, le temps nécessaire pour maintenir un site observatoire. Ces deux points sont régulièrement discutés pour chaque site en cours de suivi, et pour chaque nouveau site. Ces deux points révèlent un manque d'implication des scientifiques responsables du site, manque d'implication qui a fait qu'aucun site d'Edytem n'a été encore proposé dans les cadres des SOERE.

Enfin, du point de vue analytique, de nombreux instruments sont sous utilisés. Notamment la chromatographie d'exclusion stérique couplée à un analyseur de carbone en ligne a été très peu utilisée au laboratoire. Cette sous utilisation révèle ici deux choses : le manque de temps ingénieur pour réaliser les analyses et le manque de cerveau ingénieur et chercheur pour réaliser les publications associées. Instrument mutualisé dans le cadre de FLAME, cette SEC enviée par de nombreux laboratoires produira peut être à l'avenir plus de données utilisées en vue de publications.

SCANNER DE CAROTTES EN FLUORESCENCE X (AVAATECH CORE SCANNER)

Le laboratoire EDYTEM possède un nouvel outil : un scanner de carottes en fluorescence X (Avaatech core scanner). Pièce maîtresse du dispositif analytique d'étude des archives naturelles, il permet la mesure en continu et à haute résolution (de 100 μm à 2 cm) des éléments chimiques les constituant. L'utilisation de cet appareil s'effectue depuis 2012 sous la responsabilité de Anne-Lise Develle.

Ce système repose sur l'analyse automatisée de la composition chimique d'un échantillon par fluorescence X (émission de rayons X secondaires, caractéristiques des éléments qui composent la matière). Les avantages du scanner XRF sont nombreux. Il mesure en continu et à très haute résolution de nombreux éléments majeurs et mineurs (Al à Ba). Cette méthode ne nécessite aucune préparation préalable puisque les analyses sont effectuées directement sur les carottes, stalagmites ou morceaux de roches.



Avaatech XRF core scanner.

UN OUTIL DÉDIÉ AUX OBJETS EMBLÉMATIQUES DU LABORATOIRE

Le scanner de carottes XRF représente un nouvel outil de caractérisation chimique particulièrement adapté aux thématiques de recherche du laboratoire :

- l'étude des mécanismes climatiques et hydrologiques rapides dans les archives continentales pour mieux comprendre les changements de l'environnement au cours du passé ;
- la caractérisation des mécanismes érosion/ transport responsables de la formation des structures sédimentaires ;
- l'étude des transferts des espèces chimiques du milieu terrestre vers le milieu aquatique (relation « sources->puits »).

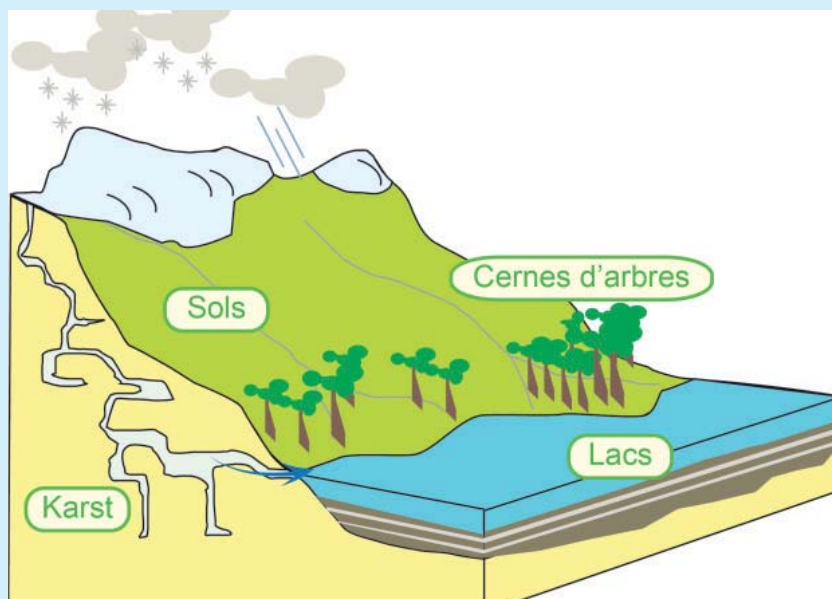
UNE APPROCHE MULTI-ARCHIVES POUR MIEUX CONTRAINDRE LES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX À L'ÉCHELLE DE L'ÉCOSYSTÈME

S'il est un outil de caractérisation particulièrement adapté à l'étude des séries lacustres, le scanner peut être adapté à un grand nombre d'archives et sa plage d'utilisation en termes d'éléments chimiques peut être optimisée.

Les principaux travaux de développement entrepris au laboratoire EDYTEM s'articulent autour de plusieurs axes visant à développer les capacités du core scanner sur un maximum d'archives naturelles (Develle *et al.*, 2013, Quiers *et al.*, 2013).

Optimisation des mesures pour tracer les changements environnementaux enregistrés dans les échantillons à forte composante matricielle (spéléothèmes, cernes de bois).

Détection des contaminants métalliques en traces (Pb, Zn, Hg, Ni...) à partir de différentes archives (bois, sédiment, stalagmite) afin de fournir une chronique des pollutions à l'échelle de l'écosystème.



Les archives disponibles dans les écosystèmes continentaux.

SITE INSTRUMENTÉ DES ÉLAPHES, UN LYSIMÈTRE NATUREL

OBJECTIF

À la suite de travaux menés sur les molécules organiques piégées dans les stalagmites, nous avons souhaité réaliser le suivi de ces molécules depuis l'environnement vers le milieu souterrain. Après la prospection de cavités sur les massifs du Vercors et des Bauges, le choix du creux des Élaphes s'est imposé pour plusieurs raisons :

- sa géométrie qui répondait parfaitement à l'attente (cavité horizontale de subsurface située dans une zone très fracturée permettant le drainage rapide vers le milieu souterrain) ;
- la présence de deux zones pédologiques en surface permettant de tester le rôle des sols dans ce transfert ;
- l'accessibilité du site en toute saison.

INSTRUMENTATION

Le site a été instrumenté en surface et en souterrain (Figure a).

- Surface :
 - station météo
 - collecteurs de pluiolessivats
 - stations lysimétriques
 - mesures d'humidité des sols
- Souterrain
 - mesures de débits (compteurs de gouttes, pluviomètres)
 - mesures de conductivité des eaux
 - mesures de températures
 - prélèvements ponctuels sur 5 sites dont la période a varié selon l'étude en cours

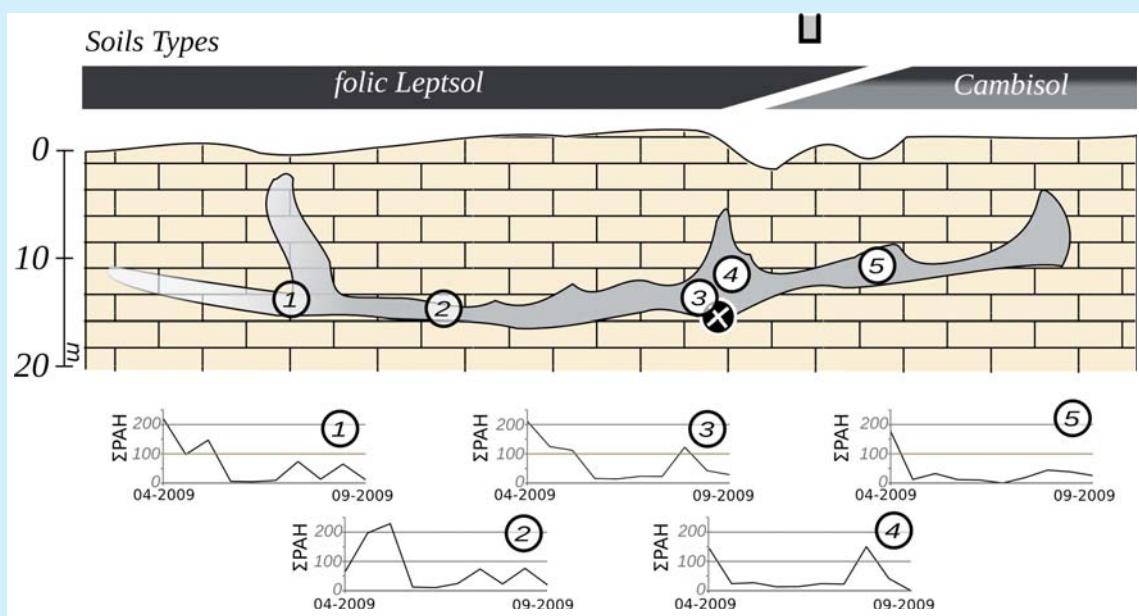


Figure a - Instrumentations et sites de prélèvements suivis dans le creux des Élaphes. Cela comprend un préleveur de pluiolessivats en surface, un mesureur de débit des égouttements dans la grotte (x blanc sur rond noir) et 5 sites de prélèvement. Les sommes de HAP aux 5 sites sont présentées sur une période de 5 mois en µg/l).

RÉSULTATS

Le travail réalisé durant 3 années a permis de montrer :

- le transfert direct de micropolluants atmosphériques vers le milieu souterrain et le rôle variable des sols. (EDYTEM-LCME ; Perrette et al. 2012) ; le rôle des aiguilles d'épicéas dans le stockage / relargage des micropolluants organiques (travail en cours LCME-FLAME) ;
- l'impact de la sylviculture sur la qualité de l'eau en milieu karstique (travail en cours, Edytem).

N'ayant plus de projet de recherche en cours sur ce terrain expérimental, tout le site a été déséquipé courant 2012. En effet, l'évolution de nos questionnements nous a conduits à déplacer nos suivis vers un autre site, situé lui aussi sur le plateau des Bauges mais dans un environnement souterrain et écologique différent.



Le site instrumenté des Élaphes (massif des Bauges, Savoie ; photos S. Jaillet).

BIBLIOGRAPHIE

- DEVELLE A.-L., ARNAUD F., SABATIER P., GUEDRON S., ASTRADE L., CHALMIN-ALJANABI É., ROSSI M., BAJARD M., 2013. Géochimie haute résolution sur archives naturelles continentales (sédiments, spéléothèmes, cernes d'arbres) : mesures de routine et développements analytiques. 14^e congrès de l'ASF, Paris, 5-7 novembre 2013.
- MARIS E., PERRETTE Y., NAFFRECHOUX E., AOUSSAT A., FROELICH D., 2013. Discrimination of polymers from end of life products by spectrofluorimetry with the aim of their sorting and recycling. NIR 2013 - 16th International Conference on Near Infrared Spectroscopy ; 2 - 7 June 2013, la Grande-Motte, France
- PERRETTE Y., POULENARD J., DURAND A., QUIERS M., MALET E., FANGET B., NAFFRECHOUX E., 2013. Atmospheric sources and soil filtering of PAH content in karst seepage waters. *Organic Geochemistry*, 65, 37-45.
- PIGNOL C., ARNAUD F., PERGA M.-É., FANGET B., AUGUSTIN L., CALZAS M., 2013. La gestion et valorisation des données issus de carottes sédimentaires terrestre en France : vers la professionnalisation et la mutualisation de moyens. 14^e congrès de l'ASF, Paris, 5-7 novembre 2013, Poster.
- QUIERS M., DEVELLE A.-L., COUCHOUD I., CHALMIN-ALJANABI É., PERRETTE Y., 2013. Adaptation de la technique de mesure de fluorescence X par scanner XRF aux spéléothèmes. 14^e congrès de l'ASF, Paris, 5-7 novembre 2013.

BANC D'ANALYSE DE LA FLUORESCENCE DES SPÉLÉOTHÈMES

OBJECTIF

La spectrofluorescence est une méthode sensible pour quantifier et qualifier les matières organiques présentes dans les solutions naturelles. De nombreux travaux ont montré l'intérêt de cette technique pour le suivi de ces composés dans les solides notamment naturels.

Afin d'étudier la fluorescence des sédiments et spéléothèmes, un instrument spécifique a été développé au laboratoire Edytem. En effet, les instruments commerciaux qui proposent ce type d'imagerie sont généralement mal résolus du point de vue spatial et spectral. Ils sont également inadaptés à la dimension des échantillons que nous étudions.

DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT

Le Muesli (Multi Uses Emission Spectrofluorescence for Line scanning and Imaging ; Figure a) permet de mesurer à deux longueurs d'ondes (266 et 325 nm) spécifiques des composés organiques, l'émission de fluorescence d'un solide (roche, sédiment, stalagmite, bois) pour un spot de 20 µm de diamètre. Pour chaque point de mesure, on acquiert un spectre couvrant 600 nm centré à 600 nm à une résolution spectrale d'environ 1nm. Une motorisation en X et Y de l'échantillon permet de réaliser des cartographies de fluorescence sur des surfaces de 20 par 300 mm à un pas minimum de 10 µm (Figure b). Le développement de cet instrument a été réalisé sous un environnement Labview.

Les cartographies de fluorescence présentées ici montrent la diversité des composés discriminés et quantifiés dans les sédiments par cette méthode. Ici, on suit particulièrement les pigments de type chlorophylles.

RETOMBÉES

Des travaux de recherche sont en cours de publication pour les stalagmites mais également pour les sédiments.

À partir de ce premier instrument, nous développons actuellement un démonstrateur dédié à l'analyse des carottes sédimentaire (projet de valorisation en cours)

Nous avons été sollicités pour participer à des projets de développements industriels associés à la fluorescence en phase solide, des plastiques notamment, en raison de notre expertise en spectroscopie, programmation et traitement de données de fluorescence (Maris et al, 2013).

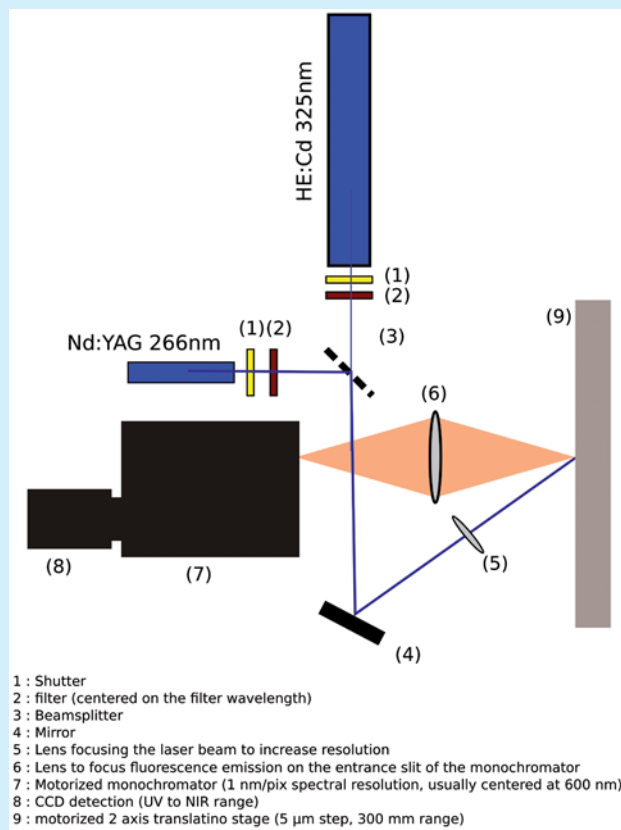


Figure a - Schéma descriptif du MUESLI.

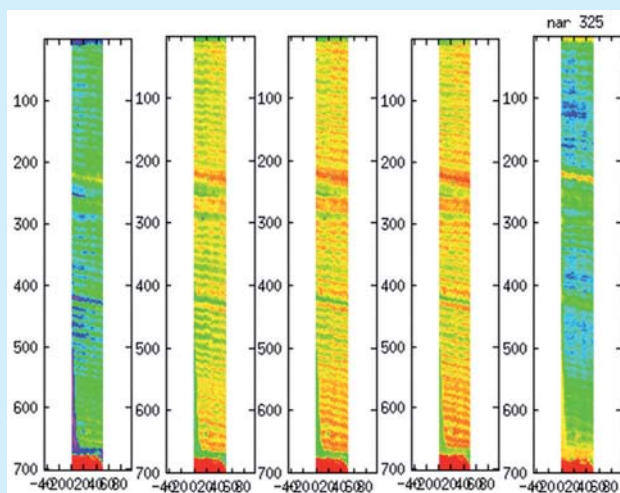


Figure b - Cartes géochimiques (fluorescence, excitation à 325 nm) d'un sédiment rythmé présentant les composants de type protéine, de type humique, de type fulvique, les pigments de type chlorophyllien et la réflectance en proche infra rouge.

LES BASES DE DONNÉES

DONNÉES GÉOGRAPHIQUES ACQUISES ET DONNÉES PRODUITES

ESTELLE PLOYON, CÉCILE PIGNOL, BRUNO GALABERTIER

Contact Module GéoDataBase : estelle.ployon@univ-savoie.fr
Contact Module Rapport de mission : cecile.pignol@univ-savoie.fr
Contact Portail BDD EDYTEM : bruno.galabertier@univ-savoie.fr

A mesure du développement du laboratoire durant ces dix dernières années, de la production de nouvelles données issues des recherches et de l'acquisition de données nécessaires aux travaux d'investigation, s'est posée la question de la gestion et de la pérennisation des données. Dans ce chapitre, sont rappelés les besoins et les objectifs qui ont motivé la création d'une base des données de référentiels géographiques acquises auprès de fournisseurs (IGN, BRGM...) et d'une base de donnée regroupant les métadonnées et données produites au sein du laboratoire EDYTEM (monitoring, prélèvements, enquêtes...).

Stocker, gérer et mettre à disposition les différentes ressources numériques présentes au laboratoire était

indispensable. Mais toutes les données acquises et/ou produites ne pouvaient néanmoins pas être intégrées dans une même base tant leur format, nature et utilisation étaient différents. C'est pourquoi le projet *Base de Données* a été décomposé en deux volets ; les données des référentiels géographiques nécessitant un outil de type SIG (BDGeo-EDYTEM) d'une part et les données plus variées, acquises par exemple sur le terrain, d'autre part (BDD-EDYTEM). Les données déjà structurées, cataloguées et spécifiques à une équipe (données analytiques rattachées à un prélèvement) n'ont pas été intégrées dans le nouvel outil développé, mais des métadonnées géographiques signalent néanmoins leur existence.

I - GÉODATABASES ARCGIS DES RÉFÉRENTIELS GÉOGRAPHIQUES : BDGeo-EDYTEM

1 - Des besoins croissants

Les thématiques développées au laboratoire quelque soit leur champ de recherche (géographie, géologie, science de l'environnement, économie) ont pour dénominateur commun : le recours à des données géographiques (cartes topographiques, modèles numériques de terrain, orthophotographies aériennes...). Ces données sources permettent de fournir les informations basiques nécessaires à toutes études de terrain. Elles sont, par ailleurs, adaptées, par exemple, aux approches diachroniques des territoires et des environnements de montagne. Elles constituent également la base des SIGs (croisement d'informations, répartition spatiale, bases de données spatialisées). Il s'agit pour l'ensemble de ces raisons de données de base, au même titre que des produits chimiques pour un laboratoire d'analyse. La demande en référentiels géographiques est, de fait, importante au sein du laboratoire et les besoins n'ont cessé d'augmenter et se sont très largement diversifiés en raison de l'accroissement de la taille et des activités du laboratoire, que reflètent les problématiques qui y sont

abordées. C'est du fait de cet accroissement qu'il est apparu nécessaire que ces données soient gérées par la plateforme CTI3D.

2 - Historique des acquisitions

L'acquisition par le laboratoire de données géographiques a pris de l'ampleur durant ces dernières années. Trois grands éléments structurants ont contribué à constituer un outil commun et centralisé de ressource en données géographiques : (1) le projet BRQ-SIG Alpes, initié en 2010, (2) la convention signée avec l'IGN par l'intermédiaire de l'UFR-CISM (Centre Interdisciplinaire Scientifique de la Montagne) en 2011 et (3) celle signée entre la Régie de Gestion des données 73-74 (RGD73-74) et l'Université de Savoie en 2010. En effet, l'ouverture des données IGN à l'enseignement et la recherche (Directive Inspire), jusque-là hors de prix, a considérablement fait évoluer l'utilisation des données de ce producteur. Bien que la mise à disposition des données soit gratuite, l'extraction et la mise sur support physique pour livraison ne le sont pas. Le projet BQR-

SIG Alpes a permis l'acquisition de nombreux produits IGN qui peuvent être considérés comme des référentiels géographiques, couvrant 12 départements du Sud-Est de la France. Parallèlement, la convention avec la RGD a permis une mise à disposition de données spécifiques à la Savoie et Haute-Savoie dont il a fallu payer l'accessibilité aux données. Sont venues s'ajouter à ces produits, des données du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) par achats successifs.

Ces différentes acquisitions constituent, dès lors, un lot important de données qu'il convenait de gérer afin qu'elles soient facilement accessibles aux utilisateurs potentiels du laboratoire. (Figure 1).

Le contenu des bases de données géographiques correspond à ce qu'on appelle les *référentiels géographiques*, c'est-à-dire des données produites par des grands producteurs à partir desquels sont extraites et construites des données de base pour travailler sur le terrain. Il ne s'agit en aucun cas de données travaillées et produites par le laboratoire. Le laboratoire n'est donc pas propriétaire des données mais en est seulement un utilisateur autorisé.

3 - Gestion des référentiels géographiques

Face à la quantité de données existantes d'une part et à la diversification des demandes d'autre part, il était important de définir une solution simple et efficace de catalogage ainsi que de gestion des données SIG. Des solutions techniques, sous la forme de serveurs SIG, permettent de centraliser et de faciliter l'utilisation des données géographiques. Au sein d'EDYTEM, cette solution n'a pas été retenue afin de respecter les contrats de licence de certaines données soumises à une utilisation mono-poste. Le choix technique réalisé tient, néanmoins, compte de l'éventuelle migration des bases de données vers des solutions serveurs et représente le volet développement de cette ressource.

L'option retenue se fonde sur les outils SIG existants au laboratoire, à savoir ArcGis et ses géodatabases (fichiers natifs) pour structurer une ou des géodatabases fichiers (vecteur et raster) permettant de regrouper les référentiels géographiques (IGN, RGD, BRGM) dans une même interface pour en faciliter l'usage en interne (consultation, extraction, utilisation). Cette structuration des données a été une étape importante dans la construction de cette base : elle a nécessité l'embauche durant 4 mois d'un assistant ingénieur (Vincent Julier) qui a pu être effectif grâce au soutien de la Délégation régionale Alpes du CNRS.

Les jeux de données étant très hétérogènes tant en contenu, qu'en format et en taille, plusieurs géodatabases ont été réalisées. Ce choix a été dicté par les jeux de données eux-mêmes, lesquels n'étaient pas forcément dans les mêmes référentiels spatiaux. Pour conserver au maximum les formats, les structures et les systèmes de coordonnées initiaux, quatre bases distinctes ont été élaborées. Celles-ci sont toutes structurées selon le même principe et contiennent 3 grands types de données : des jeux de classes d'entité pour les données vectorielles, des catalogues rasters pour les données raster très volumineuses et des jeux de données raster pour les rasters peu volumineux ou caractérisant des données continues (Modèle numérique de terrain). Même si les données sont dans des bases séparées, celles-ci restent mobilisables simultanément.

Des modules et scripts python ont été développés pour automatiser certaines tâches tant pour l'administrateur que pour l'utilisateur final. Du point de vue de l'administrateur, de nouvelles bases peuvent facilement être intégrées, la liste des jeux de données se mettant automatiquement à jour. Pour les utilisateurs, des outils permettent d'interroger spatialement les bases et d'extraire les données géographiques ainsi que toutes les données directement associées à celles-ci (métadonnées des producteurs, fichiers pdf associés...), ce que ne proposaient pas les modules classiques d'ArcGis.

Ces différentes bases constituent un ensemble, nommé BDGeo-EDYTEM, installé sur un poste dédié de la plateforme CTI3D. Comme nous l'avons souligné, cette ressource interne pourra être migrée si nécessaire dans une structure SIG serveur. Des formations internes ont été mises en place auprès des membres et des doctorants du laboratoire, afin de gagner en autonomie et ainsi faciliter le flux et les délais de formalisation des données nécessaires aux différentes recherches en cours (Figure 2).

Pour favoriser l'accès potentiel à cette ressource, des métadonnées sur ces référentiels ont également été intégrées dans la base de données du labo (BDD-EDYTEM). Ainsi, chaque jeu de données est renseigné par son emprise spatiale et une brève description. Cette information sur les données géographiques est relativement sommaire mais permet aux membres du laboratoire de connaître rapidement la disponibilité des données géographiques en un lieu précis. L'interrogation cartographique et/ou attributive se fait via l'interface web de l'application développée (Figure 3).

Fournisseurs	Nombre de Jeux de données	Nombre de Fichiers SIG
IGN	69	15 957
RGD	10	38 707
BRGM	55	438

Figure 1 - Nombre de jeux de données et de fichiers SIG par fournisseur.

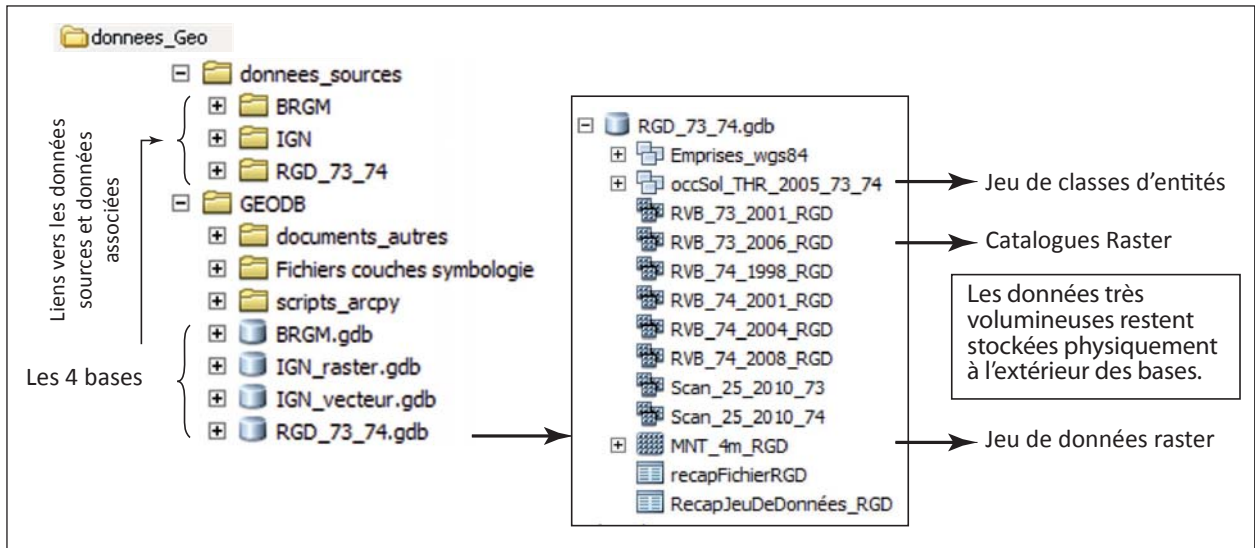


Figure 2 - Les différentes géodatabases, leur structure et liens associés.

Emprise IGN_ORTHOPHOTOS_RVB

Fournisseur : IGN_ORTHOPHOTOS
 Type de produit : RVB
 Echelle : 0.5
 Système de coordonnées : RGF_1993_Lambert_93
 Description courte :

Jeu de données	Département/Coupure	Année de production
RVB_01_2005	1	2005
RVB_04_2004	4	2004
RVB_05_2003	5	2003
RVB_05_2009	05	2009
RVB_06_2004	6	2004
RVB_07_2007	7	2007
RVB_25_2006	25	2006
RVB_26_2006	26	2006
RVB_30_2006	30	2006
RVB_38_2003	38	2003
RVB_38_2009	38	2009
RVB_39_2006	39	2006
RVB_73_2006	73	2006
RVB_73_2009	73	2009
RVB_74_2004	74	2004
RVB_74_2008	74	2008

Références :

Description détaillée :

Responsable(s) : Estelle Ployon

[Fermer](#)

Référentiels Géographiques

- ▶ BRGM_RASTER
- ▶ BRGM_VECTEUR
- ▼ IGN_RASTER
 - Tout sélectionner
 - 25 classique
 - 25 EDR
 - 25 touristique
 - 60
 - 100
 - 1000
- ▼ IGN_VECTEUR
 - Tout sélectionner
 - CARTO
 - TOPO
 - GEOFLA
- ▼ IGN_MNT
 - Tout sélectionner
 - 25m
 - 50m
 - 250m
- ▼ IGN_ORTHOPHOTOS
 - Tout sélectionner
 - IRC
 - RVB
 - N&B
- ▶ RGD_73_74

Figure 3 - Métadonnées et emprise spatiale des référentiels géographiques dans la base BDD-EDYTEM (cf. infra).

II - LA BASE DE DONNÉES DU LABORATOIRE (BDD-EDYTEM)

1 - La base de données

Depuis 10 ans que le laboratoire acquiert ou produit des données aux quatre coins du monde, certaines, malheureusement, restent oubliées aux fonds des tiroirs, sur de vieux disques durs, des cédéroms, des carnets de terrain ou des cahiers de laboratoire. En 2010 il a été décidé de travailler à la mise en place d'un système informatique destiné à archiver ces données sous forme numérique (Figure 4).

Dans cette optique, une application Web-serveur a été développée (<http://193.48.120.232:8080/bddedytem/>), permettant aux utilisateurs d'entrer leur données dans la base, et d'interroger cette base sur un principe de recherche multicritère et/ou géographique (cartes Google). Cette application utilise la technologie AJAX (Asynchronous JavaScript and XML).

Ce travail a été appuyé par le conseil de laboratoire notamment autour des deux principes suivants qui continuent à guider les développements de la BD : (i) répondre à la question : *de quelles données je dispose sur telle zone géographique ?* ; (ii) archiver un maximum de données sous forme de métadonnées (qui seront les principaux critères de recherche) afin de prendre en compte les types de données hétérogènes du laboratoire. Ce travail a été guidé par des réunions utilisateurs afin de cerner quelles étaient les attentes, les besoins des chercheurs et de mesurer l'intérêt d'une telle base. La lisibilité des données produites, leur pérennisation et leur sauvegarde ont été les moteurs de la construction de la base de données du laboratoire.

Après une première version de l'application qui a permis de valider sa structure et le rendu visuel, la version opérationnelle depuis l'automne 2013 apporte des possibilités graphiques étendues et des écrans de saisie ou de recherche améliorés pour en faciliter l'utilisation. Cette application permet progressivement aux membres du laboratoire d'intégrer leurs données en fonction de leur besoin en collaboration avec l'ingénieur en charge de la base.

A cela s'ajoute un module dit *Rapport de Mission*, initié par les chercheurs et techniciens du laboratoire souvent sur le terrain à collecter des données. Ce module permet de tracer leur travail et permet un accès aux données autre que via les critères de recherches standards.

2 - Le module *Rapports de Mission* : vers un archivage systématique des actions de terrain

Les travaux du laboratoire s'appuient sur de très nombreuses missions de terrain (topographie, monitoring, prélèvements, enquêtes). Le besoin d'intégrer des rapports de mission à une base de données s'est fait ressentir en 2011 pour, d'une part, centraliser et archiver dans le temps les métadonnées des missions ainsi que les données brutes acquises sur le terrain et d'autre part, faciliter la rédaction du document sous forme d'un formulaire standard. Le but était de garder une trace des plannings, des objectifs de la mission et des résultats opérationnels (monitorings, localisation

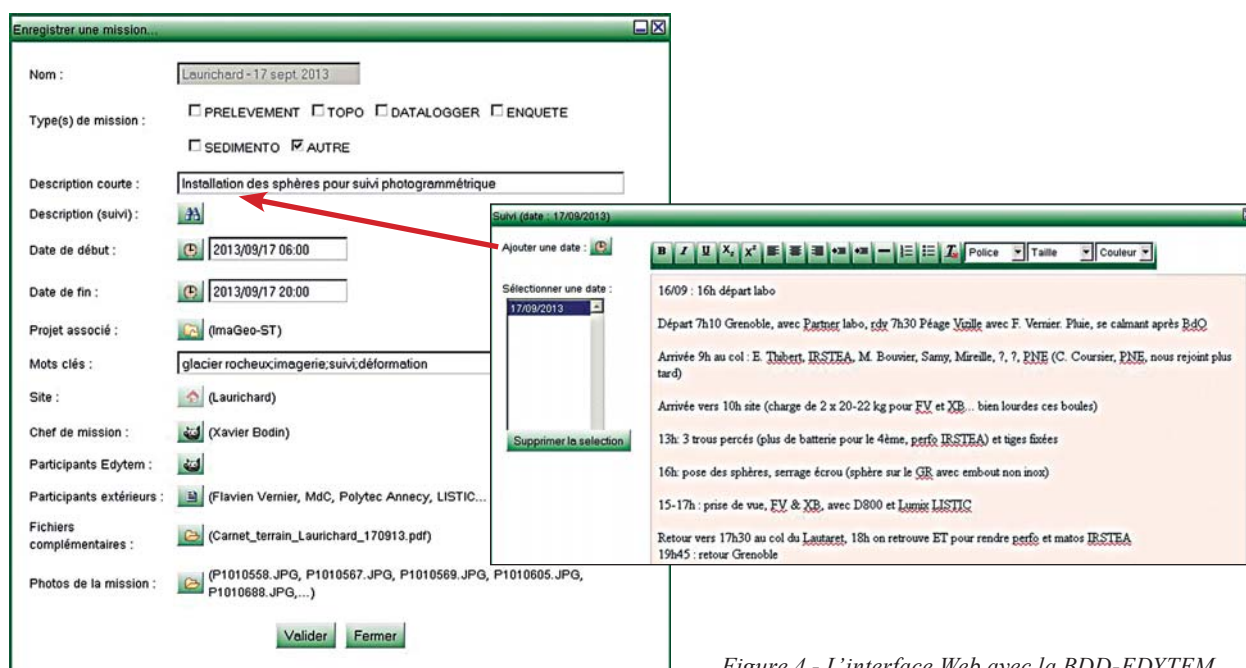


Figure 4 - L'interface Web avec la BDD-EDYTEM.

et listes des prélèvements, enquêtes) en rendant accessible, dans un premier temps, l'information à tous les membres du laboratoire. Le *Rapport de Mission* est utilisé alors comme un passage obligé à toute acquisition d'objet de terrain, auquel tôt ou tard seront associées des données (Figure 5).

En 2012, les premiers rapports de mission ont été saisis. Afin de répondre à des besoins identifiés deux types de *Rapport de Mission* sont aujourd'hui disponibles : le rapport de mission simplifié et le rapport de mission détaillé.

L'utilisation du *Rapport de Mission* simplifié tend à se généraliser auprès des chercheurs, doctorants et ingénieurs ayant des projets de recherche incluant du terrain. Chacun trouve un intérêt par la simplicité de mise en œuvre mais surtout pour la traçabilité que procure le système. Ce formulaire généraliste, a été proposé afin de permettre :

- le rattachement de la mission à un projet et à un site géographique ;
- la saisie de métadonnées principales relatives à la mission ;

Figure 5 - Module Rapport de Mission Détaillé.

Création des carottes												
Nom	Lac	Date de prélèvement	Remarques carottage	Lon.	Lat.	Carottier	Prof. (m)	Long. (cm)	Informations complémentaire	Responsable	Stockage	
[CAN13_P1]	CAN	2013 Jan 24	[Editer]	[E5 55.832]	[N45 03.694]	PILOTE 63	1.65	50	[Editer]	Fabien Arnaud	Edytem	
[CAN13_P2]	CAN	2013 Jan 24	[Editer]	[E5 55.836]	[N45 03.696]	PILOTE 63	-1	55	[Editer]	Fabien Arnaud	Edytem	
[CAN13_P3]	CAN	2013 Jan 24	[Editer]	[E5 55.834]	[N45 03.695]	PILOTE 90	-1	79	[Editer]	Fabien Arnaud	Edytem	
[CAN13_P4]	CAN	2013 Jan 24	[Editer]	[E5 55.833]	[N45 03.696]	PILOTE 90	1.65	83	[Editer]	Fabien Arnaud	Edytem	

PILOTE 90
PILOTE 90 BOULE
PILOTE 63
PILOTE 63 BOULE
XWING
NIEDER 63
NIEDER 63 SPHINCTER
NIEDER 90
NIEDER 90 SPHINCTER
USINGER 90 PLAST
USINGER 90 PLAST PEAU O
USINGER 90 INOX
USINGER 90 INOX PEAU O

Figure 6 - Liste automatique de prélèvements.

– le suivi des missions sur un même site dans le temps ;

– l'archivage de fichiers de données acquises sur le terrain (photos, données brutes de monitoring).

La construction de la BDD-EDYTEM a bénéficié de l'expérience développée par certains membres de l'équipe Archives. Les formulaires permettant de renseigner les métadonnées et données qui seront stockées dans la BDD, ont été développés sur la base de cette expérience, afin de répondre à des besoins de saisie plus spécifiques, notamment concernant les éléments répétitifs des travaux de terrain. Il importe de relever que les missions de prélèvements de carottes sédimentaires et la méthode de formalisation des données ont servi d'étude pilote pour le développement du module *Rapport de Mission Détaillé*.

Le Rapport Mission Détaillé : ce rapport de mission plus détaillé, actuellement orienté mission lacustre, permet d'archiver des métadonnées générales, plus spécifiques ou répétitives, liée aux carottages sédimentaires. L'entrée des carottes dans la base de données s'effectue dès le retour du terrain. Elle sont géoréférencées, listées, accompagnées de toutes

les informations liées à leur prélèvement. Un document PDF est proposé en sortie afin de permettre la diffusion au partenaire de la mission. Ce module est le point d'entrée des métadonnées des carottes vers la carothèque CAROTE (<http://www.bdd-inee.cnrs.fr/spip.php?article434>) porté par la plateforme GéMo qui recouvre les carottes sédimentaires gérées et stockées par EDYTEM. (voir le § Acquisition de données de l'article Constitution de la plateforme GéMo).

On retrouve dans ce formulaire détaillé les éléments de la Figure 5 précédente avec des onglets supplémentaires (Figure 6) :

- onglet associé à la logistique et la mise en œuvre matérielle ;
- onglet permettant la description des types d'actions de prélèvements menés sur le terrain ;
- et un onglet permettant l'intégration de premiers résultats (ex : Photos ou Log de carotte, 1^{ère} courbe de monitoring).

Afin de faciliter la saisie, l'import d'un fichier de type ASCII (fichier GPS Sondeur) permet de générer automatiquement un tableau de prélèvements et une carte de localisation (coordonnées géographiques WGS84, profondeur). Des menus déroulants permettent de préciser, pour chaque prélèvement, certains paramètres spécifiques comme les matériels utilisés (carottier...), les dimensions (longueur, diamètre), les analyses prévues, les laboratoires partenaires et le lieu de stockage (Figure 6).

D'un point de vue opérationnel, chaque prélèvement saisi dans la liste est visible sur l'interface cartographique et est lié à son rapport de mission. Cette entrée spatialisée est utilisée régulièrement par les chercheurs, notamment lors de la réutilisation de carottes. Il est dorénavant aisé de consulter la localisation d'un prélèvement lié à ses métadonnées et son rapport de

mission. Par exemple on peut facilement consulter l'ensemble des carottes extraites d'un lac, leurs métadonnées et l'historique de leur prélèvement (Figure 7).

Le concept de rapport de mission standardisé permettant de conserver de la métadonnée et des données. Dès aujourd'hui le concept de *Rapport de Mission simplifié* est bien accueilli dans le laboratoire. Le *Rapport de Mission Détaillé*, n'est actuellement adapté qu'aux missions lacustres. Il est prévu en 2014 de développer des formulaires de rapport de mission détaillés adaptés à d'autres types de missions.

Le *Rapport de Mission Détaillé* orienté mission lacustre a connu également un excellent écho auprès de collègues sédimentologues français et étrangers. En France, ce module sert actuellement d'exemple pilote au développement d'un outil national destiné à la communauté des scientifiques et foreurs de carottes continentales dans le cadre du Centre National de Forage et Carottage (C2FN) soutenu par l'Equipex CLIMCOR (voir § Plateforme GéMo). Le point majeur sera notamment de centraliser le positionnement et les métadonnées (rapports de mission, gestion de stocks, analyses projetées) de tout type de carottes prélevées grâce aux moyens de forage nationaux du C2FN et de rendre à terme interopérables les métadonnées au niveau international tel que cela est déjà proposé par la NOAA.

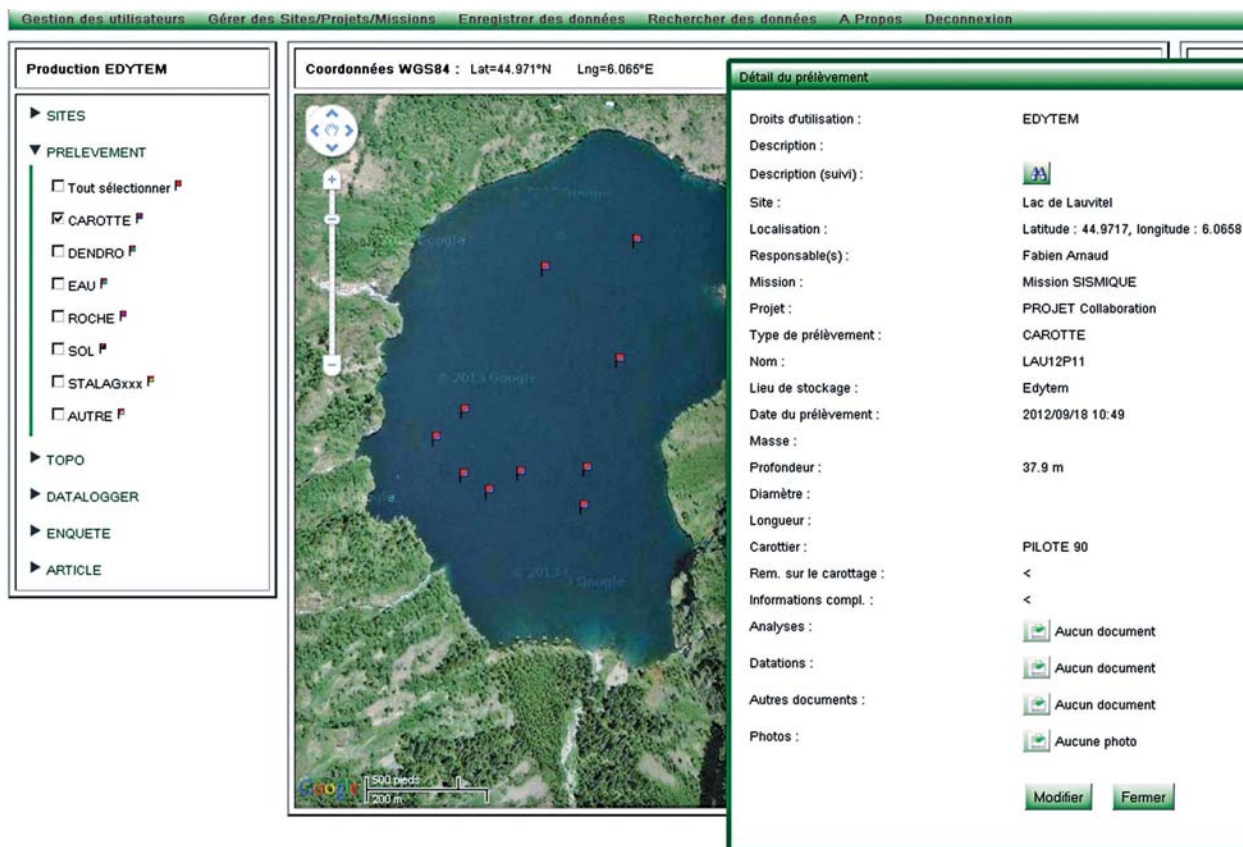


Figure 7 - Positionnement et métadonnées associés à un échantillon sur un site.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Après formation des utilisateurs, la BDGeo-EDYTEM semble donner entière satisfaction aux utilisateurs notamment du point de vue de l'autonomie qu'ils ont acquise et du gain de temps pour accéder à ces données référentielles (consultation et extraction). La base de données BDD-EDYTEM vise quant à elle à archiver les métadonnées ou données non prises en charge par ailleurs. Elle permet également de porter à connaissance l'existence de données rattachées à un lieu précis et de savoir comment y accéder lorsqu'elles ne sont pas intégrées à ladite base (renvoi vers BD spécifiques : BDGeo-EDYTEM, Banque Données CAROTE). Elle a ainsi une vraie vocation de portail d'entrée vers les métadonnées et vers certaines données du laboratoire.

Les perspectives envisagées autour de ces ressources sont de plusieurs ordres. En interne, il s'agit avant tout de développer les outils mis en œuvre et de les alimenter avec de nouvelles données. Pour les données géographiques par exemple, il s'agira d'évoluer vers des solutions SIG-serveur, avec intégration de données SIG produites par le laboratoire. La ressource BDD-EDYTEM doit par ailleurs continuer à s'adapter et s'enrichir : le modèle de données ayant été voulu très ouvert en amont, cette application doit permettre d'intégrer progressivement de nouveaux types de données en fonction des besoins des membres du laboratoire.

Une seconde perspective est la valorisation des données publiques via notamment l'ouverture des métadonnées et même celle des données (OPEN ACCESS, OPEN DATA). L'ouverture des métadonnées applicables à des objets géographiques fait déjà partie intégrante du paysage réglementaire européen au travers de la Directive INSPIRE applicable aux collectivités locales françaises depuis le 3 novembre 2013. Le monde de la recherche bénéficie d'un report d'application, mais le ton est donné : à minima et dans un avenir « proche », les métadonnées des données localisables devront être intégrées dans des outils de mise à disposition de l'information (Géocatalogue INSPIRE,...). Notre expérience interne au travers de la BDD-EDYTEM est une première pierre à l'édifice qui nous permettra, ou tout au moins nous aidera, à répondre à cette réglementation.

Au-delà des métadonnées, la question de l'open data sous-tend aussi la notion d'ouverture des données publiques et leur valorisation. La Commission européenne n'a pas encore statué sur ce point, mais plusieurs rapports de recommandations poussent à l'ouverture des données (données publiées mais également données brutes). De vastes chantiers de réflexion ou de mise en œuvre sont en cours au niveau national et européen. L'existence de la BDD-EDYTEM, la réflexion l'ayant accompagnée jusqu'alors, les réflexions futures déjà envisagées nous permettent de nous préparer à ce défi ambitieux.

LE CENTRE DE DOCUMENTATION SUR LE KARST – FONDS CHOPPY

CHRISTINE MAURY, AGNÈS DARNOUX, CHRISTOPHE GAUCHON

Le 28 juin 2012, près de huit ans après la disparition de Jacques Choppy, a eu lieu à l'Université de Savoie au Bourget-du-Lac, l'inauguration du Centre de documentation sur le Karst - fonds Choppy.

Le 26 juillet 2004, lorsque Jacques Choppy est décédé, Brigitte et ses enfants nous firent savoir que Jacques avait exprimé le souhait que sa bibliothèque de spéléo-karstologie soit léguée au laboratoire EDYTEM qui venait juste d'être créé à l'époque. Evidemment, nous prenons conscience que c'est un grand honneur, et aussi une grande responsabilité, car la bibliothèque de Jacques Choppy passait pour être l'une des plus riches.

Après l'acheminement en novembre 2004 des quelques 130 cartons entre Paris et Le Bourget-du-Lac, et leur stockage provisoire dans des locaux du campus, le laboratoire EDYTEM et la bibliothèque universitaire ont signé en septembre 2005 une convention : le laboratoire légataire reste propriétaire et opérateur scientifique du fonds (organisation, indexation selon le système du BBS, catalogage) et la bibliothèque en assure la gestion au quotidien (hébergement, équipement des ouvrages, prêts). Cette convention, reconduite depuis lors, a donné toute satisfaction aux deux parties et permet à tous les publics de venir travailler dans la rotonde, salle dédiée au fonds Choppy : la grande majorité des ouvrages sont en libre accès, les ouvrages rares ou anciens sont conservés en magasins et consultables sur demande.



Vue partielle du fonds Choppy au sein de la bibliothèque universitaire.

Par la suite, le fonds a continué à s'enrichir par des dons, des legs et des achats : ancienne bibliothèque de l'URA 903 d'Aix-en-Provence, thèses de l'Institut Dolomieu de Grenoble, legs de Gilbert Kolb en août 2012... Petit à petit, les auteurs et éditeurs prennent l'habitude de fournir un exemplaire de leur production.

La valorisation et la gestion du fonds Choppy, dans le cadre du Centre de documentation sur le Karst, a été conduite pendant plusieurs années par Agnès Darnoux (contractuelle CNRS) qui en a assuré l'inventaire et le catalogage. L'ensemble du fonds est référencé dans le catalogue du SUDOC (réseau des bibliothèques et centres de documentation de l'enseignement supérieur et de la recherche universitaires). Il a d'ailleurs fallu créer de nombreuses notices car la plupart de ces ouvrages n'étaient référencés dans aucune autre bibliothèque du réseau.

Depuis septembre 2011, c'est Christine Maury (ingénieure d'études CNRS, documentaliste) qui poursuit ce travail. En effet, il reste encore à inventorier plusieurs collections de périodiques, ainsi que l'énorme collection de tirés-à-part que Jacques Choppy avait rassemblée. Géraldine Cartannaz et Nicole Debernardi, de la bibliothèque universitaire, ont offert leur concours pour plusieurs de ces tâches très prenantes.

Aujourd'hui, 2 131 ouvrages sont inventoriés et catalogués dans le Sudoc, couvrant tous les champs de la spéléo-karstologie. Un premier inventaire des périodiques a été réalisé portant à 324 le nombre de titres détenus dans le fonds. Le centre de documentation sur le Karst - fonds Jacques Choppy est donc devenu une ressource majeure dans le domaine de la spéléo-karstologie, et le principal en France adossé à un laboratoire de recherche et à une Université. Le fonds Choppy a également permis de renforcer nos relations avec les bibliothèques de la Cité de la Préhistoire à Orgnac-l'Aven (Ardèche) et du Centre national de Préhistoire à Périgueux. Les développements à venir portent sur des actions de diffusion pour accroître la fréquentation du centre et sur une coopération, qui reste à consolider, entre plusieurs centres européens qui ont tout intérêt à mutualiser leurs efforts.

En pratique :

Présentation : <http://edytem.univ-savoie.fr/centre-de-ressources-karst/presentation>

Catalogue en ligne : <http://edytem.univ-savoie.fr/centre-de-ressources-karst/catalogue-en-ligne>

Renseignement auprès de Christine Maury, christine.maury@univ-savoie.fr ou edytem-cdk-resp@univ-savoie.fr
Tel. : 04 79 75 86 53 ou 04 79 75 87 68 poste 70 48.

Adresse : Bibliothèque universitaire, site de Technolac, 73376 Le Bourget-du-Lac cedex.

Pour les horaires d'ouverture et modalités d'inscription : <http://www.scd.univ-savoie.fr/index.php/bourget>

COMMUNICATIONS D'EDYTEM DANS LES MÉDIAS

VINCENT BLANC

EDYTEM DANS LA REVUE « CNRS LE JOURNAL »



N°275, février 2014 - *Réplique de la grotte Chauvet : un chantier unique*, page 48.

N°266, mai-juin 2012 - *Ingénieuse écologie Les mille facettes de la grotte d'Orgnac.*, pages 16-17-18.

N°251, décembre 2010 - *L'enquête : Sauver Lascaux*, page 25.

EDYTEM DANS AUTRE PRESSE ÉCRITE

Archéologia, n°520, avril 2014 - *L'ADN sédimentaire : 6000 ans d'histoire de l'élevage au fond d'un lac.*

Alpes Loisirs, n°83, 2014 - *Quand les Alpes s'effritent.*

France Culture Papiers, n°5, 2013 - *Planète terre - Les Alpes sont-elles en voie d'écroulement ?*

Le Figaro, 17/04/2012 - *Les sommets des Alpes fracturés par le dégel.*

La Montagne et Alpinisme, janv. 2012 - *Qu'est-ce qui fait s'écrouler les Drus ?*

L'Express, sept. 2011 - *Le Mont Blanc confronté aux effets du réchauffement climatique.*

Terre Sauvage, sept. 2011 - *Spéléologie, la terre vue d'en bas.*

20 Minutes, 13/09/2011 - *Le Mont Blanc souffre du réchauffement climatique.*

La Croix, 12/10/2011 - *L'alpiniste spécialiste du réchauffement climatique.*

Cimes, 2010 - *Evolution des parois de haute montagne alpine dans le contexte actuel de réchauffement climatique; le cas de la face Ouest des Drus.*

Libération, 05/06/2009 - *La chute des Alpes.*

EDYTEM À LA RADIO ET À LA TÉLÉVISION

France 2, 20/03/2014, au journal de 13h - *La grotte Chauvet et le fac-similé*, avec Jean-Jacques Delannoy.

France Culture, 05/02/2014, 14h - *Les montagnes : un enjeu crucial ?* autour de l'Atlas des montagnes, avec Xavier Bernier et Christophe Gauchon.

Arte, 01/02/2014, 20h45 - *Australie - l'aventure des premiers hommes*, avec Jean-Michel Geneste et Jean-Jacques Delannoy.

France Culture, 31/01/2014, 17h - *Sur la route... de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc, en Ardèche*, avec Jean-Jacques Delannoy.

France 3, 29/01/2014, 20h45 - *Des racines et des ailes : les Pays de Savoie*, avec Luc Moreau.

France Culture, 18/12/2013, 11h30 - *Spiritualités et montagne : zone de la mort et espaces des morts, divin et sacré*, avec Xavier Bernier.

France Culture, 16/12/2013, 11h30 - *Les guerres en montagne : quelle(s) géopolitique(s) ?*, avec Christophe Gauchon.

RTBF, 24/11/2013 - *Fonte des glaces: un phénomène cyclique, mais dont la rapidité étonne.*

France Inter, 12/07/2013, le 7/9 - *La grotte de Chauvet, un chantier hors norme*, avec Jean-Jacques Delannoy et Jean-Michel Geneste.

TF1, 01/02/2013 - *Spéleo : reportage sous la Mer de Glace*, avec Luc Moreau.

France 5, 29/03/2012 - *France, les larmes bleues du glacier*, avec Luc Moreau.

France 3, 15/09/2012 - *C'est pas sorcier : le mystère des grottes de l'Ardèche*, avec Stéphane Jaillet.

702 Talk Radio (Afrique du Sud), 07/02/2011 - *Les enjeux de conservation et de valorisation touristique autour des sites d'art rupestre en Afrique du Sud et en France*, avec Mélanie Duval-Massaloux

SABC News (Afrique du Sud), 5/02/2011 - *Rock Art Tourism in the Drakensberg*, avec Mélanie Duval-Massaloux

France Culture, 12/09/2012 - *Les Alpes sont-elles en voie d'écroulement ?*, avec Ludovic Ravel.

France 3, 28/11/2009 - *Alerte sur les glaciers*, avec Sylvain Coutterand et Luc Moreau.

France 3, 19/06/2009 - *Thalassa : le Mystère de la Baleine*, avec Stéphane Jaillet.

EDYTEM sur le WEB

Mise en place et utilisation du kit d'harmonisation CNRS en 2 temps : de 2005 à début 2012, version statique (html) ; depuis 2012, version dynamique (CMS SPIP), visuellement modifiée pour le laboratoire (bandeau plus grand avec photos aléatoires, mise à jour collaborative). Adresse site web EDYTEM : <http://edytem.univ-savoie.fr/>

LA COLLECTION EDYTEM

LAURENT ASTRADE, XAVIER BERNIER, ANDRÉ PAILLET

En complément des revues scientifiques et des ouvrages, qui constituent les supports privilégiés de diffusion pour les membres du laboratoire, la *Collection EDYTEM* rassemble et diffuse les principaux résultats des programmes et contrats de recherche conduits par les équipes du laboratoire, et les actes et livrets des réunions scientifiques (co-) organisés par le laboratoire (colloques, écoles thématiques, excursions...). Elle constitue en cela un des rares supports de publication privilégiant la diffusion de travaux interdisciplinaires et exploratoires.

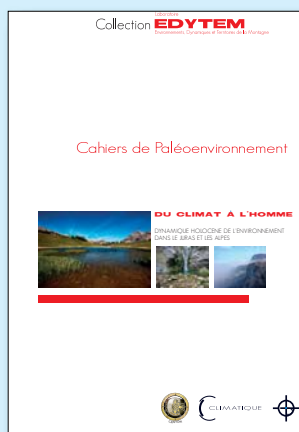
Les premières pièces de la collection sont en fait antérieures à la création du Laboratoire EDYTEM. Ce sont les quatre opus des *Cahiers savoisiens de Géographie*, publiés entre 1997 et 2001 par Claude Meyzenq et Xavier Bernier dans le cadre du Laboratoire de Géographie de l'Université de Savoie, et financés par une bourse de la région Rhône-Alpes et la prime d'installation comme professeur de C. Meyzenq (!).

En 2003, ils cèdent la place aux volumes de la *Collection EDYTEM* qui devient la vitrine scientifique du laboratoire, déclinée en cahiers puis en numéros thématiques, sous la direction de X. Bernier. Puis la collection voit arriver un nouveau directeur de publication (Laurent Astrade) en 2008, une nouvelle maquette en 2009 (dessiné avec le soutien du service communication de la délégation Rhône-Alpes du CNRS), la mise en ligne progressive des numéros épuisés (via le site web du laboratoire) et leur dépôt dans les archives ouvertes HAL.

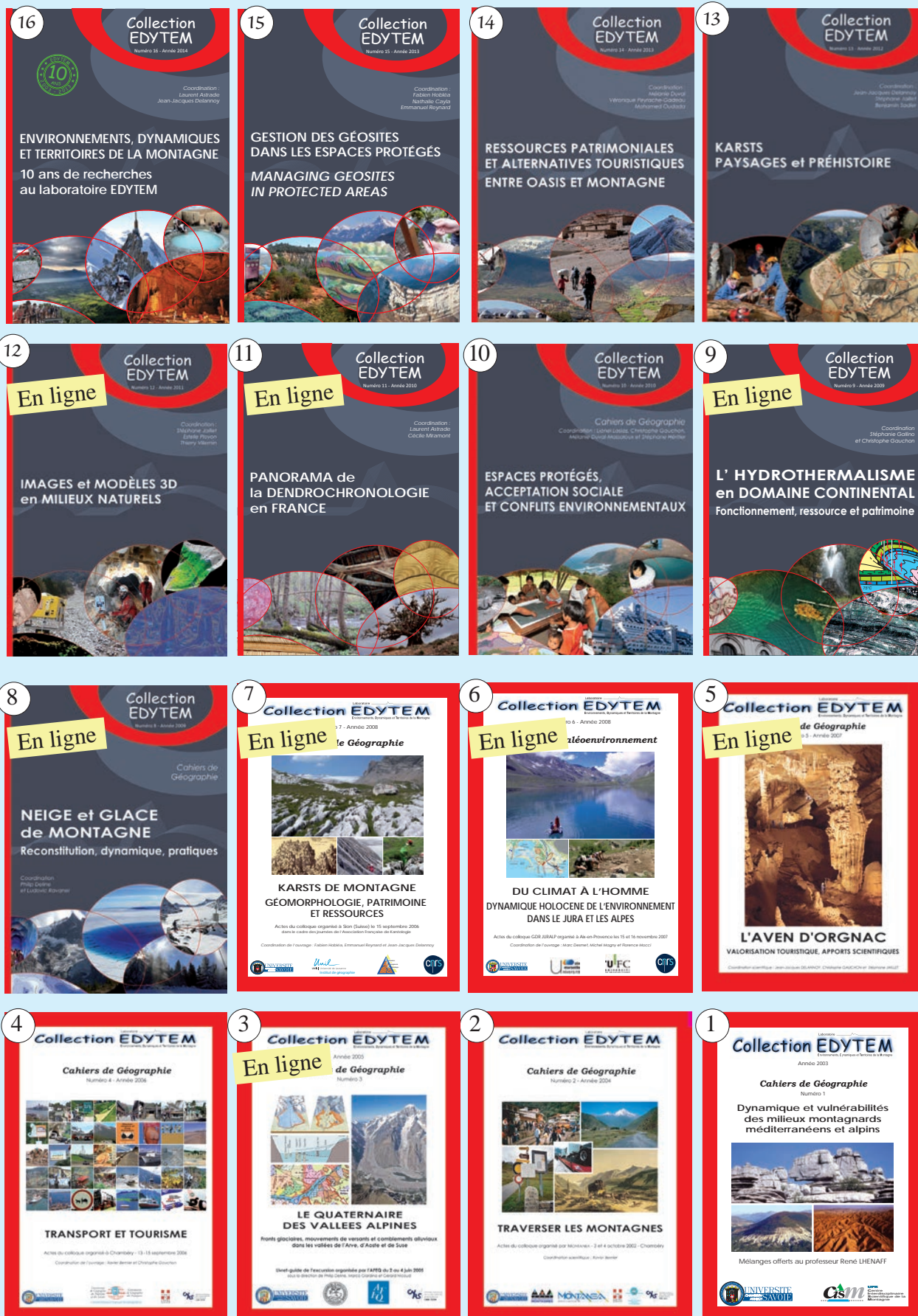
La *Collection EDYTEM* présente ainsi des publications de haute qualité graphique (grâce, depuis le début, au travail de mise en page d'André Paillet), soumises à une ligne éditoriale et à une éthique de diffusion des savoirs (comité rédaction constituée des responsables d'équipe du laboratoire, comités de lecture). Les 15 volumes édités avant ce numéro anniversaire, coordonnés chacun par différents membres du laboratoire et financés par leurs programmes, contrats et subventions, reflètent en 10 ans les travaux de presque déjà l'ensemble des équipes, des thématiques, des objets emblématiques et des plateformes du laboratoire. Enfin la Collection EDYTEM a participé également à l'édition de l'ouvrage *Mer de Glace, Art & Science* avec l'éditeur chamoniard Esopo.

LA COLLECTION EDYTEM EN CHIFFRES :

- 16 volumes (dont 8 téléchargeables en ligne), 3400 pages environ ;
- Plus de 6000 exemplaires imprimés ;
- 240 articles ;
- 492 auteurs, dont 442 différents ;
- 427 auteurs non membres ni membres associés du laboratoire EDYTEM ;
- 1250 mots-clés, 780 mots-clés différents (top 10 : Alpes, tourisme, Holocène, montagne, karst, LiDAR, patrimoine, glacier, hydrogéologie, ressources...)



Quelques unes des maquettes de couverture pour la Collection EDYTEM, non retenues, réalisées par le service Communication du CNRS Rhône-Alpes. Page suivante, l'ensemble des couvertures des numéros de la Collection EDYTEM publiés.



COMPLETEZ VOTRE COLLECTION

ISSN 1762-4304

À paraître : Exploitations minières passées et présentes, impacts environnementaux et sociétaux

COLLECTION EDYTEM	Prix du N°	Frais de port
N° 1 (2003) : Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins	15 €	4 €
N° 2 (2004) : Traverser les montagnes	15 €	4 €
N° 3 (2005) : Le Quaternaire des vallées alpines	épuisé, pdf en ligne *	
N° 4 (2006) : Transport et Tourisme	15 €	4 €
N° 5 (2007) : L'Aven d'Orgnac, valorisation touristique, apports scientifiques	épuisé, pdf en ligne *	
N° 6 (2008) : Du climat à l'homme : Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes	épuisé, pdf en ligne *	
N° 7 (2008) : Karsts de montagne : Géomorphologie, patrimoine et ressources	épuisé, pdf en ligne *	
N° 8 (2009) : Neige et glace de montagne : reconstitution, dynamique, pratiques	épuisé, pdf en ligne *	
N° 9 (2009) : L'hydrothermalisme en domaine continental : Fonctionnement, ressource et patrimoine	épuisé, pdf en ligne *	
N° 10 (2010) : Espaces protégés, acceptation sociale et conflits environnementaux	15 €	4 €
N° 11 (2010) : Panorama de la dendrochronologie en France	épuisé, pdf en ligne *	
N° 12 (2011) : Images et modèles 3D en milieux naturels	épuisé, pdf en ligne *	
N° 13 (2012) : Karsts - Paysages et Préhistoire	15 €	4 €
N° 14 (2013) : Ressources patrimoniales et alternatives touristiques Entre Oasis et Montagne	15 €	4 €
N° 15 (2013) : Gestion des géosites dans les espaces protégés <i>Managing Geosites in Protected Areas</i>	15 €	4 €
N° 16 (2014) : Environnements, dynamiques et territoires de la montagne : Dix ans de recherches au laboratoire EDYTEM	15 €	4 €

* Site web du laboratoire : <http://edytem.univ-savoie.fr/>

Plus d'informations sur chacun des documents sur ce site, ainsi que les pdf en ligne des numéros épuisés.

Pour recevoir ces publications, adressez votre commande à :

Université de Savoie, Laboratoire EDYTEM, secrétariat, Campus scientifique,
 73376 Le Bourget-du-Lac cedex, France (ou à sec-edytem@univ-savoie.fr),
 accompagnée d'un chèque (à l'ordre de M. l'Agent Comptable de l'Université de Savoie), ou d'un mandat administratif.

ENVIRONNEMENTS, DYNAMIQUES ET TERRITOIRES DE LA MONTAGNE

10 ans de recherches au laboratoire EDYTEM

Sommaire

Introduction - Jean-Jacques DELANNOY, Serge FUDRAL, Dominique GASQUET, Fabien ARNAUD.

L'objet emblématique Haute Montagne -

Des parois alpines aux glaciers rocheux andins, une décennie à arpenter les versants et à remonter le temps.

Par Philip DELINE, Xavier BODIN, Sylvain COUTTERAND, Marie GARDENT, Sylvain JOBARD, Melaine LE ROY, Florence MAGNIN, Luc MOREAU, Ludovic RAVANEL.

L'objet emblématique Systèmes Hydrothermaux -

De l'hydrothermalisme profond aux eaux thermales, une décennie de convergence scientifique.

Par Magali ROSSI, Camille DOUBLET, Marc DZIKOWSKI, Dominique GASQUET, Jean-Yves JOSNIN, Gilles MÉNARD, Grégoire MOMMESSIN, Leïla TARRIEU.

L'objet emblématique Karst -

Paysages, mémoires de l'environnement et des hommes, dix années de recherches au laboratoire EDYTEM.

Par Jean-Jacques DELANNOY, Élixa BOCHE, Didier CAILHOL, Isabelle COUCHOUD, Émilie CHALMIN, Russell DRYSDALE, Mélanie DUVAL, Marc DZIKOWSKI, Christophe GAUCHON, Fabien HOBLÉA, Stéphane JAILLET, Vincent LIGNIER, Charlotte MALGAT, Carole NEHMÉ, Yves PERRETTE, Jérôme POULENARD, Marine QUIERS, Benjamin SADIER.

L'objet emblématique Espaces Protégés -

Jalons d'une réflexion collective sur les choix politiques de naturalité.

Par Lionel LASLAZ, Mélanie DUVAL, Christophe GAUCHON, Stéphane HERITIER, Laine CHANTELOUP, Clémence PERRIN-MALTERRE, Claire TOLLIS, Camille GIRAULT.

L'objet emblématique Lacs de Montagne -

L'étude des sédiments lacustres au laboratoire EDYTEM.

Par Fabien ARNAUD, Charline GIGUET-COVEX, Bruno WILHELM, Jean-Philippe JENNY, Pierre SABATIER, Jérôme POULENARD, Marc DESMET, Dirk ENTERS, Sidonie RÉVILLON, Laurent MILLET, Maxime DEBRET, Cécile PIGNOL, Emmanuel MALET, Bernard FANGET.

L'objet emblématique Géopatrimoines -

Évaluer, protéger, valoriser : affirmation d'un champ de recherche transversal et collaboratif.

Par Fabien HOBLÉA, Nathalie CAYLA, Johan BERTHET, Yves BILLAUD, Vincent BIOT, Sylvain COUTTERAND, Jean-Jacques DELANNOY, Dominique GASQUET, Anne GUYOMARD, Luc MOREAU, Véronique PEYRACHE-GADEAU, Amandine PERRET, Françoise PRUD'HOMME, Ludovic RAVANEL, Pierre RENU, Joëlle ROCHAS, Benjamin SADIER.

La plateforme CTI3D -

10 années entre cartographie et recherche de la troisième dimension...

Par Stéphane JAILLET, Estelle PLOYON.

La plateforme GéMo -

Monitoring, échantillonnage et caractérisation des Géomatériaux.

Par Bernard FANGET, Emmanuel MALET, Cécile PIGNOL, Fayçal SOUFI, Vincent BLANC, Anne-Lise DEVELLE.

Les Bases de Données -

Données géographiques acquises et données produites.

Par Estelle PLOYON, Bruno GALABERTIER, Cécile PIGNOL.

La «Collection Edytem»
a pour objet de souligner l'apport
de la géographie, de la géologie et des
sciences de l'environnement dans l'étude
des milieux et territoires de montagne.

Déclinée en «numéros thématiques», elle
met en avant les travaux réalisés au sein du
laboratoire Edytem et les résultats de ses
programmes et actions de recherche.

Prix 15 euros

ISBN 978-2-918435-08-2



9 782918 435082

