

Numéro 36

unineWS

TRAQUER

les eaux souterraines

VALORISER

les sources de chaleur

DÉTECTER

les micropolluants



De vapeur et d'eau

50 ans du Centre d'hydrogéologie
et de géothermie (CHYN)

unine
UNIVERSITÉ DE
NEUCHÂTEL

Cinquante ans sous la terre

Un demi-siècle à sonder les ressources cachées en eau et en chaleur du sous-sol. C'est le jubilé que célèbre en 2015 le CHYN - Centre d'hydrogéologie et de géothermie de l'Université de Neuchâtel (UniNE). Focalisé lors de sa création en 1965 sur l'étude du karst, la roche calcaire emblématique de sa région natale, le CHYN se place aujourd'hui parmi les instituts de référence mondiale dans quasi tous les domaines de l'hydrogéologie et de la géothermie modernes. Ce succès l'amène à figurer parmi les neuf centres d'excellence définis en 2013 par l'Université de Neuchâtel.

Sa mission répond à des enjeux cruciaux pour la société. Améliorer les connaissances des ressources renouvelables en eau et énergie souterraines, développer des stratégies pour leur gestion durable et transmettre ce savoir par des programmes de formations uniques en leur genre. Une ambition qui ne couvre pas seulement la Suisse et l'Europe mais également les pays en développement souffrant du manque de ce précieux or bleu, comme en témoigne la présence du CHYN au Tchad, au Kenya, en Tunisie ou au Mexique.

Après cinquante ans d'existence, le CHYN est plus que jamais en phase avec l'actualité. Avec la croissance de la population, les pressions sur la qualité et quantité de l'eau augmentent. Or l'eau ne sert pas qu'à boire. Elle reste un élément stratégique pour la production de nourriture, d'énergie, ainsi que pour l'équilibre des écosystèmes. Quand on sait que 40% de la nourriture mondiale provient des surfaces irriguées, on comprend l'urgence qu'il y a à connaître toutes les ressources en eau disponibles, y compris et surtout celles cachées dans le sous-sol.

Comment assurer l'accès à de l'eau de qualité pour tous ? Comment concilier l'utilisation de l'eau avec le respect des écosystèmes ? Tels sont les défis auxquels répond le CHYN par son vaste éventail de compétences.

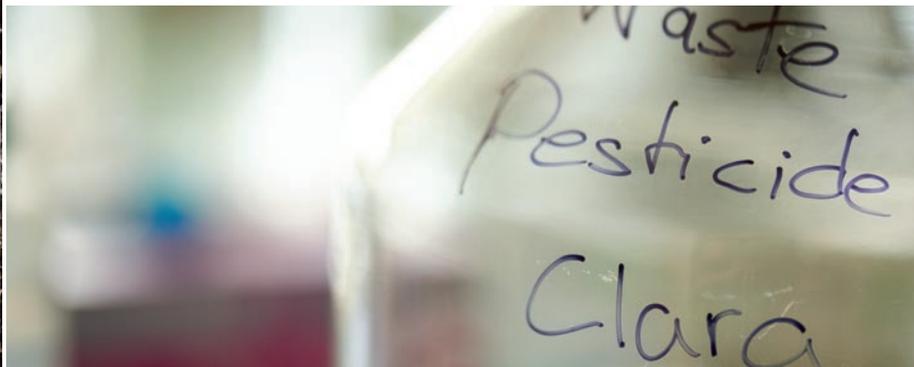
Dans ce numéro d'UniNEws, vous découvrirez les questionnements autour de l'impact du climat sur les ressources en eau, ou de celui des herbicides susceptibles de polluer les aquifères. Il sera aussi question d'énergie, avec un point sur les recherches en géothermie, ou encore, avec un projet de modélisation de risques pour l'entreposage de déchets nucléaires en France.

Vous apprécierez aussi l'ancrage international qu'a su tisser le CHYN avec des partenaires aussi prestigieux que le CICR, l'ONU, des agences publiques telles que la coopération suisse (DDC) ou l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), ainsi qu'avec des multinationales comme Nestlé. Sans oublier un réseau d'*alumni* qui couvre tous les continents. Enfin, mentionnons également les efforts de formation du CHYN qui sont également salués, avec des cursus de Master intégrant théorie et pratique qu'on trouve rarement ailleurs.

Un des fondateurs encore actif

La naissance du CHYN doit beaucoup au professeur Jean-Paul Schaer qui, en 1965, occupait le poste de directeur de l'Institut de géologie. Cinquante ans plus tard, il se rend encore à son bureau tous les jours. Avant de venir à l'UniNE, Jean-Paul Schaer travaillait au Maroc. Dans une certaine mesure, l'idée de ce centre est née au Maroc, où cet expert a vu les défis rencontrés dans les régions arides pour s'approvisionner en eau. Dans le même temps, Jean-Paul Schaer désirait élargir les champs d'activité des géologues vers des aspects plus pratiques ouvrant ainsi de nouvelles perspectives professionnelles. Cette motivation a été concrétisée par les directeurs successifs du CHYN, artisans d'un centre internationalement reconnu à Neuchâtel : André Burger de 1965 à 1985, puis François Zwahlen de 1985 à 2012. Elle reste toujours valable aujourd'hui.

Prof. Daniel Hunkeler,
directeur du CHYN



Le CHYN au fil du temps

*par François Zwahlen, professeur honoraire,
directeur de 1985 à 2012*

1958

Mise sur pied à l'Université de Neuchâtel d'un cours précurseur d'hydrogéologie, unique en Suisse. Il est organisé à l'initiative d'André Burger, ingénieur des eaux de l'Etat de Neuchâtel, nommé privat-docent de l'UniNE en 1960.

1965

Sous l'impulsion du professeur Jean-Paul Schaer, directeur de l'Institut de géologie, le Conseil de la Faculté des sciences décide la création d'un Centre d'hydrogéologie au sein de l'Institut de géologie.

1967

Inauguration officielle du Centre d'hydrogéologie de l'UniNE. Dirigé par André Burger, qui sera nommé professeur ordinaire en 1973, le Centre devient rapidement l'institution suisse de référence dans cette discipline.

1973

La carte hydrogéologique du Canton de Neuchâtel signée Lazlo Kiraly est publiée. Avant-gardiste, elle fera date dans sa manière de représenter les eaux souterraines en pays calcaire.

1976

Le Centre d'hydrogéologie édite le premier « Bulletin d'hydrogéologie » qui sera, jusqu'à la fin de sa parution en 2008, l'unique périodique suisse en matière d'hydrogéologie.

Des fuites dans le château d'eau

Avec le Rhin et le Rhône prenant leur source dans les Alpes suisses, notre pays est considéré comme le château d'eau de l'Europe. Mais le réchauffement climatique risque d'écorner cette réputation. Le réservoir d'eau de notre territoire est-il menacé de se tarir ? Le CHYN en collaboration avec l'Université de Zurich aborde cette question centrale dans le cadre d'un projet de recherche soutenu par l'Office fédéral de l'environnement.

C'est un fait avéré. La température moyenne de l'air a augmenté en Suisse de 1,6 °C depuis le début du 20^e siècle. Une nouvelle augmentation est attendue pour les prochaines décennies, avec pour conséquence une croissance de la consommation d'eau par les plantes et une évaporation plus importante. Les modèles climatiques tablent sur moins de précipitations en été, mais davantage en hiver. Les périodes de sécheresse deviendront plus fréquentes et dureront plus longtemps. Autant de phénomènes susceptibles d'entraîner localement des pénuries d'eau. Et tout cela, sans compter avec une limite de la neige qui remonte en altitude et un recul des glaciers.

Depuis 1850 en effet, les glaciers des Alpes ont perdu la moitié de leur volume. A ce rythme, ils ne pourront plus servir de réservoir saisonnier d'eau comme par le passé. « Sans l'apport des glaciers, les rivières risquent de se tarir plus rapidement pendant les périodes de canicule », rapporte Claire Carlier, doctorante dans le groupe du professeur Philip Brunner. Il reste cependant une inconnue majeure : quel rôle pourrait jouer l'eau souterraine comme réserve cachée et souvent sous-estimée ? Ces aquifères seraient-ils en mesure de compenser la diminution du volume des glaciers et offrir des réservoirs en eau suffisants à l'avenir ?

« En moyenne, le volume d'eau disponible reste important, rassure toutefois la chercheuse. Mais à une échelle locale et saisonnière, tout est différent. Le Jura ou le Tessin sont par exemple très rapidement touchés : quelques semaines de sécheresse suffisent pour que surviennent des problèmes. »

En savoir plus:

Page web de Claire Carlier: www.unine.ch/chyn/page-35558_en.html

Pour y voir plus clair, des investigations sont menées dans plusieurs régions en Suisse, afin d'étudier les interactions entre eaux de surface et souterraines. Le but est de comprendre les processus physiques grâce à un modèle numérique très complet sur cette dynamique. Avec un volume situé entre 60 et 150 km³, les eaux souterraines abritent la première réserve d'eau potable du pays.

Cinquante bassins versants

« L'objectif final de notre étude est d'identifier, sur une cinquantaine de bassins versants, ceux qui résistent à la sécheresse grâce à l'eau souterraine et ceux qui restent vulnérables, poursuit la jeune hydrogéologue. On ne peut évidemment pas tous les étudier en détail, raison pour laquelle nous en avons choisi deux comme modèles, bien représentatifs des situations existantes en raison de leurs comportements extrêmes. »

Le premier de ces bassins versants est celui du Röthenbach (Emmental), un affluent important de l'Emme dont le lit s'assèche régulièrement durant l'été. Ce cours d'eau est très dynamique, siège d'énormes crues et de fortes variations de débit durant l'année. Le second est celui de la Langete (Langenthal), un havre de calme et de stabilité qui contraste avec son bouillonnant voisin.

« Grâce à des stations de mesures savamment réparties, nous cherchons à comprendre pourquoi des rivières très voisines géographiquement se comportent aussi différemment », indique Claire Carlier. Parallèlement à la récolte de ces données, les chercheurs établissent des modèles numériques qui permettront aux administrations de développer une gestion de l'eau incluant les risques dus à la sécheresse.

Gelée à l'azote liquide

Opération spectaculaire un matin de janvier sur la rivière Emme : ses sédiments ont été gelés à l'azote liquide de manière à obtenir un instantané de la distribution des grains, semblable à une « carotte » percée dans la glace. Cette expérience s'inscrivait dans une étude menée par le docteur Oliver Schilling sur les interactions entre la rivière Emme et sa nappe phréatique. Il s'agit de mieux cerner l'influence du prélèvement d'eau sur les interactions entre eaux de surface et nappes phréatiques. Le site de l'Emmental présente une configuration idéale à cet égard. On peut y varier le débit de pompage, et en évaluer les conséquences sur le terrain de manière contrôlée. L'objectif final est de générer un modèle géologique du lit de la rivière Emme d'une qualité sans précédent. Le projet durera trois ans.

**Philip Brunner
et Claire Carlier**



...

1982

Mise sur pied d'un cursus de formation spécialisé en eau souterraine, donné annuellement à plein temps et conduisant à un Diplôme de 3^e cycle en hydrogéologie.

1985

Succédant à André Burger, le professeur François Zwahlen devient directeur du Centre d'hydrogéologie qui s'appellera désormais le CHYN. De retour du Niger, il donne au Centre une ouverture internationale en enrichissant considérablement ses champs de recherche et d'enseignement.

1988

Un seul cours interuniversitaire regroupant les cursus de l'UniNE et de l'EPFL débouche sur un Diplôme postgrade, avec une option en hydrogéologie donnée par le CHYN et une option en hydrologie offerte à l'EPFL.

1990

Création au sein du CHYN du Groupe de géothermie sous la direction de François-David Vuataz.

1995

Création d'une formation continue sur la gestion des ressources en eau dans des situations d'urgence en collaboration avec le CICR. En parallèle, les activités de recherche sur l'eau dans des pays arides gagnent de l'importance.

1998

Le CHYN lance l'Action Cost 620 visant à créer une approche européenne coordonnée de la cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques. Pas moins de 15 pays y participent sous la présidence de François Zwahlen.

...



Clara Torrentó
et Daniel Hunkeler

Le côté sombre des herbicides

Atrazine, métolachlore, acétochlore, ou encore chloridazone. Utilisés pour débarrasser des mauvaises herbes les cultures de maïs ou de blé, ces herbicides sont au cœur des recherches de Clara Torrentó, post-doctorante au CHYN à la tête d'un projet transnational d'étude de micropolluants dans l'eau. Bien que l'atrazine soit interdite depuis plusieurs années dans l'UE et en Suisse, des traces en subsistent encore aujourd'hui dans l'eau, avec des concentrations dépassant parfois les normes de tolérance pour l'environnement et la santé.

Ce qui suscite toutefois l'intérêt des chercheurs du CHYN n'est pas tant la circulation de l'atrazine et de ces autres herbicides dans les eaux souterraines que celle des composés issus de leur dégradation naturelle. « Ces molécules secondaires, qu'on appelle métabolites, sont préoccupantes, car elles peuvent parfois présenter une mobilité plus importante que le composé parent », souligne Clara Torrentó, post-doctorante du groupe du professeur Daniel Hunkeler, coordinateur d'un projet Sinergia* consacré à cette thématique.

Direction maintenant la station de recherche fédérale Agroscope ART près de Zurich où se déroule la partie expérimentale du projet. On y fait pousser plusieurs cultures en rotation dans de gigantesques pots de terre, de manière à étudier l'écoulement des substances vers les eaux souterraines. L'an dernier, du maïs y a été planté. Les cultures sont alors régulièrement arrosées d'herbicide. Une partie des produits phytosanitaires est bien sûr absorbée par la plante, mais ce qui intéresse ici les chercheurs, c'est surtout la quantité qui s'infiltré dans l'eau du sous-sol.

L'expérience consiste à recueillir sous les pots l'eau qui s'écoule et à en analyser le contenu. « La difficulté tient à la faible concentration des micropolluants présents, souligne Clara Torrentó. Nous devons donc passer par une étape de pré-concentration, afin d'obtenir un échantillon dont on pourra quantifier les composants chimiques. »

Pour étudier l'origine et la transformation de ces micropolluants organiques, les chercheurs proposent une méthode basée sur une analyse de rapports isotopiques (*Compound-specific isotope analysis* ou CSIA). Le CHYN avait déjà prouvé la validité de cette méthode pour déterminer les voies de dégradation des hydrocarbures de l'industrie pétrolière, ou de solvants industriels. Cette méthode mise au point à l'UniNE a même été adoptée par l'Agence US de protection de l'environnement (USEPA). Il s'agit maintenant de savoir si la CSIA reste un outil valable pour établir dans quelle mesure les quatre herbicides sont dégradés ou vont arriver dans les captages d'eau potable.

Ce projet de l'Université de Neuchâtel et de l'Agroscope ART rassemble également les compétences de l'EAWAG, du Helmholtz Zentrum à Munich (HGMU). Les expériences sur le terrain dureront jusqu'à l'été 2016. Ce n'est donc pas avant cette date que l'on saura si les concentrations de micropolluants et leurs résidus de dégradation constituent ou non une préoccupation majeure pour l'environnement et la santé.

En savoir plus :

*Assessment of micropollutant degradation using multi-element compound-specific isotope analysis, Swiss National Science Foundation (SNSF). Sinergia programme. Number 141805.

Durée du projet du 01.07.2013 - 30.06.2016

<http://p3.snf.ch/Project-141805>

Gestion de l'eau en cas d'urgence

Le CHYN est présent dans plusieurs projets de gestion des eaux à travers le monde. Emblématique de cette démarche, le cours de formation continue WATSAN* s'adresse aux professionnels dans le domaine humanitaire. On y apprend les gestes destinés à assurer un accès à l'eau potable dans des situations d'urgence. Ellen Milnes, organisatrice actuelle de WATSAN et maître-assistante au CHYN, évoque les grandes lignes de cette aventure, dont on fêtera la 20^e édition en 2015.

De gros 4x4 blancs au logo du CICR parqués devant Unimail. Telle est la première image qu'évoque WATSAN dont l'aventure a démarré en 1995 par la volonté d'une collaboration entre le CHYN et l'unité « Eau et assainissement » du CICR. Les compétences des hydrogéologues de l'UniNE se combinaient parfaitement à celles de la célèbre organisation humanitaire qui désirait former des professionnels de la gestion de l'eau et de l'assainissement dans des conditions d'urgence. Au-delà de sa mission pédagogique, cette initiative a même débouché sur des actions innovatrices originales.

Ainsi est né en 2010, grâce au réseau constitué autour de ce cours, un projet de gestion de l'eau unique à ce jour. Il a pour décor Dadaab au Kenya, un camp qui accueille aujourd'hui plus de 350'000 réfugiés et où se manifestait à l'époque le besoin d'évaluer en temps réel l'état des ressources en eau. « Il n'existait aucune donnée hydrogéologique à ce sujet, se souvient Ellen Milnes. Il fallait donc commencer par acquérir les valeurs en continu de trois paramètres fondamentaux, tels que le niveau d'eau, la température et la salinité ». Pour ce faire, des sondes de mesures ont été spécialement adaptées à ces conditions climatiques extrêmes par l'entreprise Tétraèdre,

une PME d'Auvergnier (NE). Quelques heures de programmation informatique plus tard, l'évolution des puits de Dadaab pouvait être suivie par internet en direct depuis n'importe quel point du globe par tous les partenaires du projet. Et notamment depuis Neuchâtel, où se trouvent les chercheurs du CHYN.

Santé publique, hygiène et maladies

La richesse du programme WATSAN tient à la large palette des questions abordées : santé publique, hygiène, ou encore risques liés aux maladies transmises par l'eau. De nombreux spécialistes y apportent leur contribution, comme ceux de l'Institut tropical et de santé publique suisse à Bâle ou de l'OMS. « Les vingt places disponibles pour huit jours par année affichent toujours complet, se réjouit l'organisatrice des cours. Nous n'avons pas besoin de publicité particulière, le bouche à oreille suffit. Nous nous adressons en priorité aux professionnels de l'humanitaire qui la plupart du temps prennent sur leurs vacances pour venir s'instruire, souvent à leurs propres frais.»

Pas question toutefois durant cette formation de se cantonner au confort des auditoires. Après quatre jours de théorie, les participants sont plongés dans le bain sur la plage de Colombier (NE) qui se métamorphose en véritable terrain à problèmes : réservoir qui fuit, eau contaminée à assainir, pompage d'eau souterraine à installer. Il s'agit alors d'apprendre les gestes d'urgence pour éviter la propagation d'épidémies due à de l'eau souillée avec une perspective d'action à moyen et long terme. Le prochain cours se tiendra du 22 au 29 août à Neuchâtel.

En savoir plus :

*Water and Sanitation Engineering: from Emergency towards Development: www.unine.ch/watsan
WATSAN sur la RTS, le 19:30 du 15.03.2007: <http://bit.ly/1BoDhwM>



Ellen Milnes

...

1999

Création d'une seconde chaire au CHYN portant sur l'hydrogéologie quantitative avec la nomination du professeur Pierre Perrochet.

Participation du CHYN au programme de recherche européen COST consacré à la gestion des eaux souterraines en milieu karstique.

2004

Création à l'UniNE du Master en hydrogéologie, le seul titre de ce type en Suisse, suite à l'adoption des accords de Bologne qui avaient mis fin au cours postgrade interuniversitaire UniNE-EPFL.

Cette formation intègre à la fois les aspects théoriques et pratiques de la discipline.

2008

Création d'une nouvelle chaire en contamination des eaux souterraines, la troisième du CHYN, avec la nomination de Daniel Hunkeler comme professeur ordinaire à sa tête. Philippe Renard est engagé comme directeur de recherche en hydrogéologie stochastique, traitement de données et modélisation des réservoirs.

2009

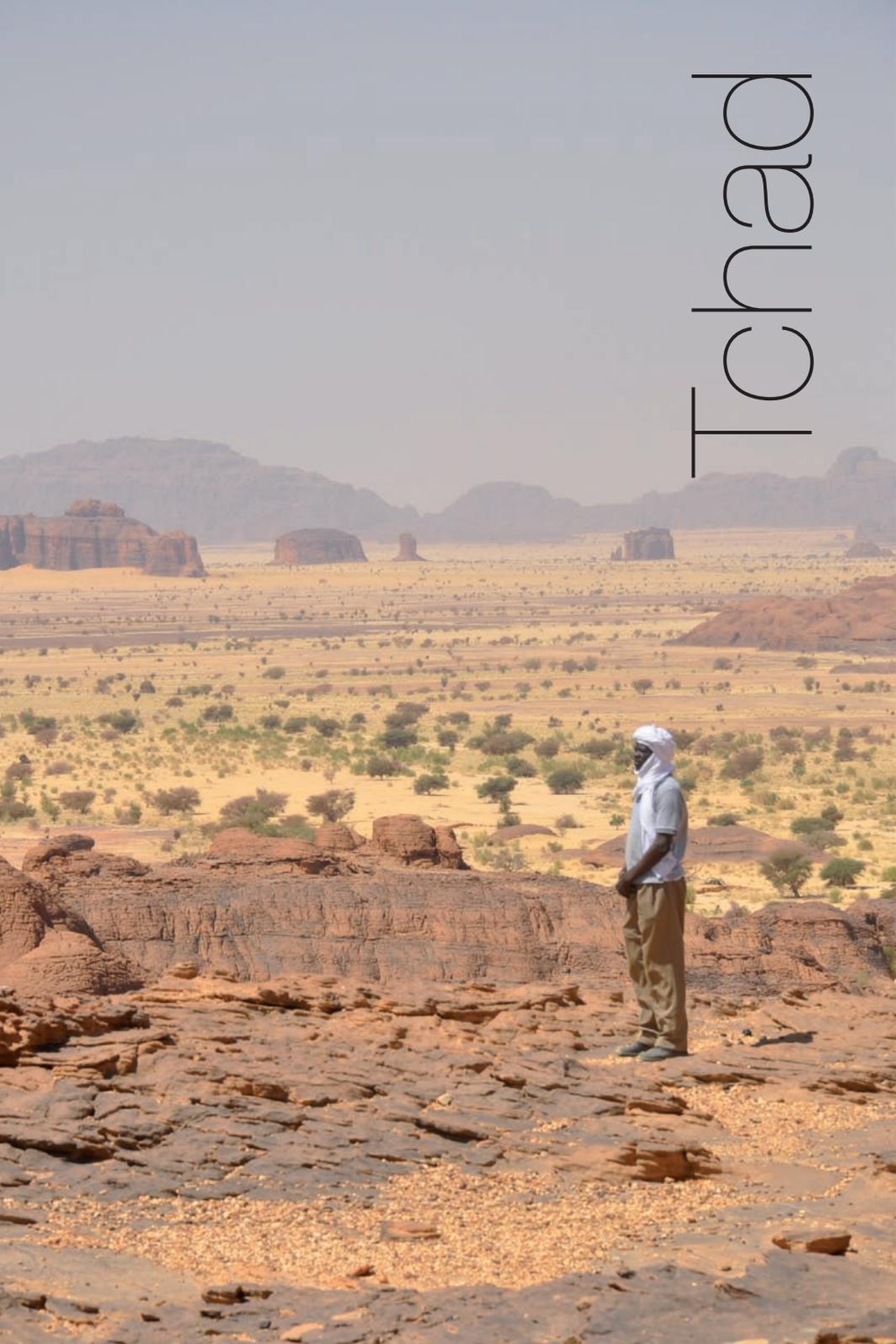
La première chaire de géothermie de Suisse voit le jour. La même année est entreprise la première grande étude du potentiel géothermique profond du canton de Neuchâtel.

2010

Daniel Hunkeler devient directeur du CHYN, succédant à François Zwahlen qui prendra sa retraite deux ans plus tard.

...

Tchad



De l'eau à la carte

Au Tchad, de vastes zones aux climats arides souffrent d'une pénurie chronique d'eau. Pour améliorer la connaissance de cette ressource rare, le CHYN participe à l'implémentation du programme ResEau. Objectif ? Transférer aux gestionnaires de l'eau du pays des outils pour mieux comprendre, évaluer et gérer cette ressource. Grâce à ces outils, de nombreux secteurs du développement dépendant de la gestion de l'or bleu (santé, sécurité alimentaire, etc.) en sortiraient renforcés.

En partenariat avec le Ministère tchadien de l'élevage et de l'hydraulique, le programme des Nations unies pour les applications satellitaires UNITAR-UNOSAT a été mandaté par la Coopération suisse (DDC) pour développer le Système d'information de la ressource en eau (SIRE). Ce dernier est à la base de la production de deux séries de cartes hydrogéologiques couvrant les régions du Nord et de l'Est du Tchad. Avec la participation de swisstopo et du CREALP (Centre de recherche sur l'environnement alpin), le CHYN apporte une contribution très active à la réalisation de ces cartes hydrogéologiques pour l'ensemble du territoire tchadien.

La première phase de trois ans du projet ResEau a démarré en avril 2012. Elle visait à améliorer les connaissances sur les ressources en eau dans des régions à fortes pressions pastorales et villageoises (Borkou, Ennedi Est et Ouest, Tibesti, Wadi Fira et Ouaddaï).

Côté enseignement, dans le but de renforcer les compétences nationales sur cette question au Tchad, un Master professionnel en hydrogéologie et systèmes d'information géographique a vu le jour. S'inspirant du Master du CHYN, il en est l'unique exemple dans cette sous-région d'Afrique. Il a accueilli sa première volée d'étudiants en 2013 avec un double objectif : former des spécialistes non seulement à la gestion des eaux de surface et souterraines, mais aussi à l'utilisation des systèmes d'information géographique pour analyser les propriétés des ressources en eau et les pressions sur celles-ci.

En savoir plus :

Le projet ResEau : <http://reseau-tchad.org>

Portail cartographique web : https://unosatgis.cern.ch/webmap/projects/ResEAU_v2/

Arpenter les enfers

Le sous-sol du Yucatan (Mexique) abrite un gigantesque entrelacs de grottes qui compte des centaines de cavités, canaux et tunnels, remplis d'eau pour la plupart. A la surface, seuls les fameux « cénotes » témoignent de ce labyrinthe secret. Ce sont des dolines qui se forment lors de l'effondrement des plafonds des grottes. Le Yucatan compte plus de 3000 de ces citernes naturelles. Pour les Mayas, qui avaient érigé de nombreux centres de leur civilisation dans cette région, les cénotes étaient les portes des enfers.

La ville de Tulum était l'un de ces centres. C'est là que se trouvent les deuxième et quatrième plus longues grottes du monde. « Elles sont très probablement reliées l'une à l'autre, ce qui en ferait le plus grand système de grottes du monde », explique Philippe Renard, hydrogéologue à l'Université de Neuchâtel. Avec ses collègues du Service géologique autrichien (GBA), il étudie le système Ox Bel Ha qui s'étire sur 250 kilomètres.

Les cénotes servent depuis l'époque maya de réservoirs d'eau potable aux habitants du Yucatan. Dans certaines de ces « salles de captage », l'eau est si propre que la visibilité y atteint jusqu'à 250 mètres. Mais depuis quelques années, à Tulum, les hôtels et autres infrastructures touristiques poussent comme des champignons. Dans un avenir proche, d'immenses quantités d'eaux usées pourraient donc pénétrer dans les réservoirs d'eau potable par le sous-sol. Or, pour prendre des mesures susceptibles de protéger de façon adéquate ce paysage géologique unique, il est nécessaire de connaître précisément le fonctionnement des systèmes de grottes.

Extraits tirés de l'article « Arpenter les enfers »
 paru dans Horizons 104 (mars 2015),
 le magazine scientifique du Fonds national suisse (FNS).

Observations et modèles

Pour comprendre ce système, les deux doctorants du projet, Axayacatl Maqueda et Martin Hendrick, s'appuient sur des observations de terrain et des modèles numériques. « Dans les zones côtières, comme dans la région de Tulum, l'action conjointe des écoulements souterrains d'eau douce et d'eau de mer dissout les calcaires au fil des millénaires, indique le professeur Philippe Renard. L'eau de mer ayant une densité plus élevée que l'eau douce, elle s'écoule lentement dans la partie inférieure de l'aquifère depuis la mer vers l'intérieur des terres. L'eau de pluie, elle, s'infiltré rapidement dans le sous-sol calcaire perméable et s'écoule sur l'eau salée vers la côte. Les deux types d'eau se mélangent uniquement le long de l'interface entre ces deux masses d'eau. En général, on part du principe que le calcaire se dissout préférentiellement le long de cette interface, mais ce n'est pas aussi simple comme le révèlent nos mesures. »

Evaluer les risques de fuite

L'équipe de Pierre Perrochet, professeur d'hydrodynamique souterraine, est mandatée depuis plusieurs années par l'Agence nationale française pour la gestion des déchets radioactifs (Andra). Elle participe à l'évaluation des caractéristiques hydrogéologiques du site de Bure (Meuse), pressenti pour y enfouir à 500 mètres sous terre des déchets hautement et moyennement radioactifs. Si les expertises de l'Andra donnent leur feu vert, la construction du dépôt devrait démarrer en 2020.

C'est à une entreprise titanesque que se livre le groupe d'experts neuchâtois depuis 2007 aux côtés d'autres laboratoires spécialisés triés sur le volet. Il n'en faut pas moins pour modéliser les risques qui concernent une immense région, le Bassin parisien, qui s'étend du Pas-de-Calais au Massif central. Géologiquement, cette région se présente comme une cuvette formée de couches sédimentaires qui s'y superposent, de la plus ancienne à la plus récente. Les écoulements d'eaux souterraines dans ce système multicouches se dirigent naturellement vers l'Atlantique. Et ils passent sous de nombreuses grandes villes françaises dont Paris, d'où le souci d'examiner en détail les garanties de sécurité.

Le site de Bure (Meuse), dans le nord-est de la France, a été retenu pour sa stabilité tectonique et la qualité de son sous-sol argileux. Avec des caractéristiques de résistance aux compressions et d'isolation thermique proches de celles du béton de construction, la roche présente également un degré d'imperméabilité considérable, condition indispensable pour garantir un confinement maximal des substances radioactives. L'enjeu est de taille puisqu'il s'agit de stocker dans les sous-sols pour des dizaines de milliers d'années quelque 70'000 m³ de déchets de « moyenne activité à vie longue » et dont 60% sont déjà produits. A ceux-ci s'ajouteront les déchets de « haute activité » au volume estimé à 10'000 m³, dont 30 % sont aussi en attente d'un entreposage définitif.

En savoir plus :

Sur l'Andra : www.andra.fr

Sur le site de bure : http://fr.wikipedia.org/wiki/Laboratoire_de_Bure

Prédiction jusqu'à un million d'années

« On nous demande de prévoir ce qui se passerait en cas de fuites radioactives, au niveau des écoulements régionaux, notamment souterrains qui, faute de données directes, restent peu connus », précise Pierre Perrochet, spécialiste en processus de transport en milieux géologiques poreux et fissurés. D'où le recours à des modélisations déterministe et probabiliste. Celles-ci consistent d'abord à identifier les incertitudes sur les paramètres physiques (porosité p.ex.), puis à en évaluer les effets sur les prédictions. Le défi est de taille, car ce modèle doit prédire l'évolution du système sur des temps géologiques, allant de quelques milliers jusqu'à un million d'années.

Rien d'étonnant dès lors à ce que le projet se présente comme extrêmement gourmand en ressources informatiques. Pas moins de 128 processeurs sont mobilisés, un cluster dont dispose le CHYN pour la modélisation d'aquifères à grande échelle, intégrant de grandes quantités de données hydrogéologiques, géologiques, géochimiques et géophysiques.

« Pour élaborer ce modèle de transport, nous avons cartographié la circulation des eaux jusqu'à une profondeur de trois kilomètres, ce qui nous a permis de simuler la migration de particules, ainsi que divers processus associés comme la dispersion et la diffusion de molécules, dans l'ensemble du Bassin parisien », précise Jaouher Kerrou, collaborateur principal dans cette étude.

Modéliser les eaux cachées

Parallèlement au mandat de l'Andra, le CHYN travaille sur la modélisation de la circulation des eaux souterraines autour de Neuchâtel. La région explorée s'étend de la rivière du Doubs au Lac de Neuchâtel et de Delémont (JU) à Orbe (VD). Elle intègre l'ensemble des formations géologiques jusqu'à une profondeur dépassant 3,5 km. « Les propriétés physiques de ces couches géologiques, telles que la conductivité hydraulique et la porosité, sont très différentes et variables dans l'espace », indiquent Jaouher Kerrou et François Negro, les chercheurs en charge de ce projet. Ces paramètres hydrauliques contrôlent les écoulements souterrains qui deviennent à leur tour très difficiles à caractériser à grande échelle. Le modèle numérique en développement permettra d'évaluer la quantité des ressources souterraines en eau et en énergie géothermique, de même que leur disponibilité, ainsi que leur vulnérabilité à diverses pollutions potentielles, avec pour objectif final de parvenir à leur gestion durable. Les premiers résultats sont attendus d'ici deux ans.

**Pierre Perrochet
et Jaouher Kerrou**



De la chaleur à profusion

Au-delà d'une profondeur de 100 km et jusqu'en son centre, soit plus de 99% de sa masse, notre planète affiche une température supérieure à 1000°C. Un chiffre qui contraste avec le 0,1% de la matière qui, dans les trois premiers kilomètres, ne dépasse pas les 100°C. Pour Stephen A. Miller, titulaire de la chaire de géothermie à l'Université de Neuchâtel, ce constat justifie pleinement la nécessité d'exploiter la chaleur du sous-sol. A cette fin, le spécialiste en modélisation numérique des processus géologiques développe au CHYN un modèle unique en son genre rassemblant tous les paramètres physiques et chimiques nécessaires à la maîtrise de la géothermie profonde.

« Dans l'Antiquité déjà, les cités romaines se construisaient à proximité de sources thermales alimentées par de l'eau chaude naturelle », rappelle Stephen A. Miller, professeur à l'Université de Neuchâtel depuis avril 2014. La technologie d'aujourd'hui permet de transformer l'énergie géothermique en chaleur destinée aux bâtiments, pour autant que la température de la ressource se situe entre 10 et 100°C. La production d'électricité, elle, est possible à partir d'une température de 120°C, ce qui implique en Suisse des forages d'au moins 3,5 km de profondeur.

Les projets de géothermie stimulée qui sont à l'étude dans notre pays nécessitent des compétences en simulation numérique, afin de prédire la circulation des fluides dans la roche. Or, c'est justement la spécialité de ce géodynamicien américain, expert en sismique et en volcanologie. Stephen A. Miller est d'ailleurs à l'origine d'un modèle de simulation THMC, qui intègre la température, ainsi que les perturbations hydrauliques, mécaniques et chimiques consécutives à des phénomènes sismiques.

Son modèle a ainsi été utilisé pour étudier le volcan Lusi, à proximité de la ville de Sidoarjo sur l'île de Java. En 2006, un geyser de boue est apparu brusquement, répandant des quantités énormes de boue sur des distances de plusieurs kilomètres autour du point d'éruption. Les premiers temps, le

volume expulsé pouvait atteindre 180'000 m³ par jour, soit l'équivalent de soixante piscines olympiques.

Chercher la cause de cette éruption étonnante s'inscrivait dans un contexte politique et économique tendu, puisqu'une société gazière était soupçonnée d'avoir provoqué la catastrophe avec l'un de ses forages. En août 2013, cependant, coup de tonnerre dans la revue *Nature Geoscience**. Stephen A. Miller et son équipe démontrent que Lusi est un phénomène d'origine naturelle. Le regain d'activité pendant la même période de deux volcans de la région - le Mont Merapi et le Mont Semeru - provoqué par un séisme distant respectivement de 50 et 300 km a mis la puce à l'oreille des chercheurs. Et si Lusi était aussi provoqué par les effets distants induits par ce séisme ?

Propagation d'énergie sismique

En simulant la propagation des ondes sismiques via leur modèle THMC, les chercheurs ont expliqué comment cette énergie a pu être propagée par la roche, puis amplifiée jusqu'au point d'éruption de Lusi. Sous l'effet de cette énergie mécanique, les sédiments profondément enfouis à la source de l'éruption de Lusi se sont fluidifiés, et donc transformés en boue. Ces secousses auraient aussi réactivé une faille reliée à un réservoir hydrothermal profond qui continue d'alimenter le geyser boueux.

Sachant que Lusi est un système hydrothermal nouveau-né, une rareté géologique, il peut maintenant être étudié en vue d'une éventuelle exploitation de son énergie géothermique. Encouragé par ces résultats, Stephen A. Miller compte appliquer son modèle THMC au potentiel énergétique du sous-sol helvétique, en y intégrant les paramètres tirés des expériences de géothermie profonde de Bâle et de Saint-Gall, toutes deux riches en enseignements géologiques. Ces connaissances permettront de mieux jauger le potentiel de tout site géothermique susceptible de contribuer à notre approvisionnement en chaleur et électricité.

En savoir plus :

*M. Lupi, E. H. Saenger, F. Fuchs, S. A. Miller Lusi mud eruption triggered by geometric focusing of seismic waves *Nature Geoscience* 07/2013; 6(8):642-646.
www.nature.com/ngео/journal/v6/n8/full/ngео1884.html



Stephen A. Miller

...

2012

Philip Brunner est nommé professeur d'hydrogéologie générale et opérationnelle, spécialiste des interactions entre eaux souterraines, cours d'eau et écosystèmes. Le CHYN plonge dans les eaux souterraines de Suisse en participant au programme national de recherche « Gestion durable des ressources en eau ».

2014

Stephen A. Miller est nommé professeur de géothermie. Il est spécialiste du rôle des fluides dans les processus géodynamiques. Avec sa chaire de géothermie, le CHYN figure parmi les membres fondateurs d'un nouveau centre de recherche sur l'énergie en Suisse (SCCER).

2015

Le CHYN fête ses cinquante ans. Fort de cinquante collaborateurs, il est devenu une institution à la renommée internationale solide, dont les activités complémentaires recouvrent pratiquement tous les champs d'activité de l'hydrogéologie et de la géothermie modernes.



**François-David Vuataz
et Benoît Valley**

Une énergie d'avenir

La chaleur de la terre reste une source d'énergie plus prometteuse que jamais. Selon l'Office fédéral de l'énergie, la géothermie aurait un potentiel de production de 4'400 GWh électrique d'ici 40 ans, soit l'équivalent de la consommation électrique additionnée des villes de Genève et Lausanne. Impliqué dans la quasi-totalité des projets de géothermie moyenne et grande profondeur en Suisse romande, le CHYN apporte un savoir-faire majeur à cet effort. Il est également à l'origine du premier Master en hydrogéologie et géothermie de Suisse, ainsi que d'un certificat de formation continue en géothermie profonde unique en Europe continentale¹.

Utiliser la chaleur de la terre est déjà une réalité dans notre pays. En 2012, rien de moins que l'équivalent de la fourniture en eau chaude et en chauffage de 165'000 logements a été produit grâce à la géothermie. L'idéal toutefois serait d'en tirer à la fois de la chaleur et de l'électricité, en puisant dans les ressources géothermiques à grande profondeur et donc à température élevée. Ce type d'exploitation s'inscrit d'ailleurs dans la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral. Mais pour y parvenir, il est nécessaire d'explorer davantage notre sous-sol à plusieurs milliers de mètres de profondeur.

Pour atteindre cet objectif, des SCCER² ont été mis en place et ont commencé leurs activités en 2014. Derrière cet acronyme se cache une initiative fédérale d'incitation à la recherche sur l'énergie, comprenant un volet consacré à la production d'électricité³. Professeur assistant en géothermie profonde, Benoît Valley en bénéficie directement, puisque son poste est financé par ce fonds. Ses travaux s'intéressent aux techniques de mesures dans les puits, à la distribution de la porosité et de la perméabilité en profondeur, à l'état des contraintes, aux conditions de stabilité des failles et à la réponse des masses rocheuses lors des opérations de développement de réservoirs. Autant de problèmes qu'il faut résoudre à moyen terme, si l'on veut exploiter la ressource géothermique en Suisse de manière large.

« Les projets de Bâle et St-Gall – s'ils sont peut-être perçus comme des échecs quant aux objectifs de produire chaleur et électricité – ont été en revanche des succès majeurs pour la connaissance du sous-sol, la compréhension des mécanismes en jeu durant les étapes de développement des réservoirs, et l'acquisition du savoir-faire permettant de mener à bien des projets de ce type en Suisse », souligne François-David Vuataz, ancien directeur du groupe de géothermie du CHYN.

Ainsi, en dépit des microséismes ressentis, un réservoir dans le granite fracturé a pu être créé à Bâle vers 5000 mètres de profondeur, relève Benoît Valley. Ceci constitue une étape majeure pour l'exploitation d'une ressource géothermique profonde. « Mais un seul puits ne suffit pas, indique le jeune géologue. Si l'on veut maîtriser la technologie de développement des réservoirs profonds et améliorer notre connaissance de la ressource géothermique exploitable, il faudra augmenter notre compréhension des processus en jeu grâce à des expériences en laboratoire sous-terrain et de nouveaux forages profonds. Ensuite c'est une vingtaine de projets qu'il faudrait entreprendre sur tous les sites prometteurs de notre territoire pour assurer l'objectif de 5% d'énergie électrique d'origine géothermique. »

En savoir plus :

¹ CAS DEEGEOSYS: Certificate in Advanced Studies on Deep Geothermal Systems: www2.unine.ch/foco/CAS-DEEGEOSYS

² Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER) de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) : <http://bit.ly/1OTK5gf>

³ SCCER - Supply of Electricity : www.sccer-soe.ch

Une présidente à la tête de 550 employés

Hydrogéologue de formation, Olga Darazs est entrée voici 25 ans dans le groupe CSD, une société d'ingénieurs conseils qui compte aujourd'hui plus 550 collaborateurs. Elle en dirige désormais le Conseil d'administration, tout en assumant la présidence de l'association professionnelle Swiss Water Partnership. Une belle réussite à laquelle a contribué un master de deux ans réalisé au CHYN.

Olga Darazs, pourquoi avoir choisi l'hydrogéologie comme métier ?

Contrairement à l'hydrologie qui concerne principalement la gestion des eaux de surface, l'hydrogéologie s'intéresse aux eaux souterraines, à la façon dont elles circulent dans la roche. Les 80% de l'eau consommée en Suisse se situent sous terre. Or on ne la voit pas donc on s'y intéresse moins. On sait mieux où se trouvent les nappes de pétrole dans le monde, c'est tout dire ! L'eau souterraine présente des caractéristiques différentes des rivières où des crues sont observables de manière saisonnière. Sous terre, les dynamiques s'étendent parfois sur des décennies. J'ai toujours eu un intérêt pour ce sujet.

Quels souvenirs gardez-vous du CHYN de l'époque de votre master (1989-1990) ?

J'ai fait partie de la première volée d'une formation commune au CHYN et à l'EPFL, regroupant des hydrologues et des hydrogéologues. Le CHYN était l'un des rares instituts à proposer une formation en hydrogéologie, une branche que je considère comme fondamentale.

A Neuchâtel, sous la direction de François Zwahlen, l'atmosphère était très multiculturelle. Il y avait des gens de tous les continents, notamment d'Afrique et du Brésil. J'ai beaucoup apprécié cette diversité qui favorisait le travail en groupe. A relever que malgré une fréquentation très internationale, les cours

étaient donnés en français. Il y avait un bel équilibre entre les enseignements académiques et les travaux pratiques. Dans les camps de terrain, qui duraient une dizaine de jours dans la vallée de l'Areuse, les participants préparaient à tour de rôle des repas typiques de leur pays d'origine. Cela contribuait à créer une ambiance agréable.

Et aujourd'hui, quelles sont vos principales responsabilités professionnelles ?

Je préside le Conseil d'administration du groupe CSD, un bureau d'ingénieurs conseils basé en Suisse (19 sites) avec des représentations en Europe (7 sites). CSD s'intéresse à tous les domaines en rapport avec l'eau, sur des thèmes souvent similaires à ceux du CHYN, comme la modélisation des aquifères ou l'étude de sites pollués. Nous avons par exemple élaboré les projets d'assainissement des décharges industrielles de Bonfol (JU) et de Kölliken (AG).

Je suis également présidente du Swiss Water Partnership (SWP), une plateforme visant à promouvoir les compétences suisses en matière de gestion de l'eau créée en 2012 par la DDC. Elle regroupe les ONG, des multinationales, différents acteurs du secteur privé (bureaux d'ingénieurs, entreprises) ainsi que les principaux instituts de recherche actifs dans ce secteur. Cette mobilisation a été motivée par le fait que les 80% de l'eau nécessaires à la production des biens que nous consommons en Suisse sont puisés à l'étranger, dans des pays qui ont souvent des difficultés à disposer d'eau en suffisance. Or nous avons les moyens d'être écoutés au plus haut niveau pour trouver des solutions à ces problèmes, à l'image de cette délégation du SWP qui a été invitée au siège de la Banque mondiale à Washington.

En savoir plus :

Site du groupe CSD : www.csd.ch

Swiss Water Partnership : www.swisswaterpartnership.ch

Vous êtes une femme dirigeante dans un environnement essentiellement masculin. Comment l'avez-vous vécu ?

La CSD est mon premier employeur, cela fait 25 ans que j'y travaille. J'ai pu y progresser régulièrement et cela s'est fait tout naturellement. Vis-à-vis de l'extérieur, c'était parfois un peu différent. A mes débuts, je me souviens d'une anecdote. J'ai dû remplacer à la dernière minute le directeur du bureau d'ingénieurs sur un chantier. « Le patron a envoyé sa secrétaire », s'était alors exclamé le contremaître sur place. Il ne pouvait pas s'imaginer la présence d'une femme géologue. Mais il est vrai que j'étais la seule femme géologue lors de mon diplôme à l'Université de Fribourg et durant le Master du CHYN, nous étions à peine trois sur la vingtaine d'étudiants à suivre cette formation.

Comment avez-vous concilié vos responsabilités professionnelles avec votre vie familiale ?

A la naissance de ma fille, j'ai pu réduire mon occupation professionnelle à 80%. A l'époque, j'étais directrice d'un bureau régional de CSD. Mon compagnon a pu lui aussi réduire son taux de travail. Avec en plus l'aide des grands-parents et des placements en garderie, nous avons réussi à nous organiser.

Trop souvent cependant, seules les femmes exercent un temps partiel pour pouvoir s'occuper de la famille. Il faut que les mentalités changent et que les hommes s'y mettent aussi. Dire qu'un homme qui désire travailler à 80% signifie qu'il ne veut pas faire carrière est un non-sens. Chez CSD, nous comptons 42% de personnes travaillant à temps partiel, avec une parité exacte entre hommes et femmes.



Le Centre d'hydrogéologie et de géothermie de l'Université de Neuchâtel fête ses 50 ans en 2015

Principaux événements

Journées de printemps de la Société suisse d'hydrogéologie (SSH)

Eaux souterraines et gestion intégrée par bassin versant

29 et 30 mai 2015

www.hydrogeo.ch

Célébration officielle des 50 ans du CHYN

En présence des acteurs clés du domaine de l'eau et de l'énergie géothermique, ainsi que de représentants des milieux politiques.

Témoignages et rencontre avec d'anciens étudiants.

4 septembre 2015

Micropolluants au robinet : à votre santé !

Café scientifique

Mercredi 9 septembre 2015 – de 18h à 19h30

Aula du bâtiment principal de l'UniNE, av. du Premier-Mars 26

Entrée libre !

www2.unine.ch/cafescientifique/page-11246.html

Assemblée annuelle du SCCER – SOE

Le Swiss Competence Center for Energy Research - Supply of Electricity se réunit à l'UniNE

10 - 11 septembre 2015

www.sccer-soe.ch

En savoir plus sur tous les événements prévus : www.unine.ch/chyn

