

L'eau

Fiche N° 1

Généralités

L'eau ? Substance chimique avec deux atomes d'hydrogène et un d'oxygène (H₂O). On parle surtout de l'eau pour sa formule en solution, or elle se manifeste sous trois états différents (liquide, gazeux, solide). L'eau est présente sur Terre et d'autres corps célestes de notre système solaire (Lune, Mars, astéroïdes, ...) et sans doute au-delà dans l'Univers. Elle a rendu possible le développement de la vie sur notre planète ; biosphère et hydrosphère sont étroitement imbriquées et interagissent constamment. Océans, mers, fleuves, rivières et lacs constituent les trois quarts de la surface terrestre mais seulement 0,023% de la masse totale de la Terre. L'Océan Pacifique est équivalent en surface à l'ensemble des terres émergées du globe. A échelle plus locale, le **Lac** Léman est le plus grand lac d'Europe de l'Ouest. Amazone, Mississipi et Yang Tse Kiang sont les fleuves les plus longs au monde. Le bilan de l'eau est neutre sur Terre, quasi sans apport ni retrait. Plus de 97% en est salée, principalement par les ions de sodium et de chlore ; seuls 2,60% sont de l'eau douce.

Mécanismes Le cycle de l'eau (hydrologique) décrit la phase où l'eau liquide est transformée depuis les océans en vapeur qui, combinée à l'atmosphère se condense en nuages (500'000 km cubes/an). Une part de vapeur d'eau retombe en précipitations dans les océans et sur le sol comme eau douce, rediluée dans les océans ou stockée sous forme de neige ou de glace. Le cycle des eaux profondes, sous la croûte terrestre, contribue quant à lui au cycle global de l'eau par les éruptions **volcaniques** qui font remonter en surface l'eau entraînée en profondeur par la subduction : la plaque plongeante de la **croûte** libère de l'eau et se déshydrate progressivement, depuis la surface et jusqu'à des profondeurs de plus de 300 kilomètres. La plus grande partie de l'eau remonte. Le circuit est ainsi bouclé.

Action en surface L'eau a une action érosive et **sédimentaire** et façonne continuellement reliefs et paysages, en bassins versants et en zone de plaine. Bien qu'en général elle les favorise, l'eau est aussi pour l'activité humaine et les écosystèmes un facteur de risque important : inondations, coulées de boues, fracturations liées au gel, fonte du permafrost...

Ressource L'eau, constitutive au niveau moléculaire pour la **biosphère** et la vie de tous les organismes leur est aussi essentielle comme ressource. L'accès à l'eau douce est ainsi un enjeu vital pour toutes les espèces et les populations. La pression sur cette ressource se renforce avec l'accroissement de la population humaine mondiale, et elle sous-tend de longue date nombre de conflits géopolitiques.

L'eau douce est aussi présente en profondeur dans le sol, stockée sous forme d'aquifères (nappes phréatiques) en quantité totale 25 fois plus importante que celle des lacs et rivières en surface, captive de roches plus ou moins imperméables et parfois qualifiée d'eau fossile. De grands aquifères existent, à diverses profondeurs, même sous le Sahara. En proche surface, les zones concernées par le permafrost conservent de grands volumes d'eau piégée par le gel et en surface, les grandes zones marécageuses constituent aussi des réservoirs importants d'eau (et aussi de CO₂) qui s'ajoutent aux lacs et retenues ainsi qu'aux glaciers. Certains réservoirs sont utilisés par l'homme pour la production énergétique, comme en surface les barrages naturels ou artificiels. Le plus grand réservoir artificiel en Suisse est la Grande Dixence en Valais et le plus grand réservoir naturel est le glacier d'Aletsch en Valais, plus grand glacier des Alpes (plus de 115 km² en 2010).

La diversité des disciplines concernées se retrouve en FGSE: **climat**, **météorologie**, **pollution**, **milieux arides**, **glaciers**, **limnologie**, **océans**, **permafrost**, **gestion de l'eau**, **développement**, **aquifères**, **risque**

Gestion de l'eau : nécessité d'une approche systémique

L'eau est une ressource particulière : vitale, elle peut être source de maladies ou de catastrophes. De tout temps chargée symboliquement, elle constitue depuis une trentaine d'années un enjeu crucial pour l'humanité avec la pauvreté, le **climat** ou la dégradation de la **biodiversité**, à l'échelle globale comme locale. Gérer l'eau nécessite des compétences multiples et non uniquement techniques ou matérielles. Il faut d'abord bien connaître la **ressource** : eaux souterraines, eaux de surface (**lacs** et rivières), zones humides ou eau de la cryosphère (neige, glace, **permafrost**) et dans l'atmosphère (vapeur d'eau, pluie). A chaque état (gazeux, liquide, solide), les processus sont multiples et complexes et se réalisent dans des cycles étroitement imbriqués. Les eaux courantes transportent aussi de nombreuses substances (minéraux, toxiques, **polluants**) et de grandes masses de **sédiments**. Cela nécessite ainsi de multiples compétences disciplinaires, de la géophysique à la glaciologie, en passant par l'hydrologie, la géochimie ou l'**écotoxicologie**. Il faut ensuite caractériser les **usages** de l'eau : production et distribution d'eau potable, production agricole, énergétique ou de biens manufacturés, ou mise à disposition des sociétés de biens et services **écosystémiques** (poissons, granulats, dilution des polluants) et de services immatériels (paysage). Chaque usage implique une certaine **demande** en eau (variant selon lieux, époques et personnes), à quantifier et mettre en relation avec la ressource afin d'identifier d'éventuelles situations de **stress hydrique** ou de manque de **sécurité hydrique**. Il s'agit donc de réguler et gérer demandes et usages pour les adapter aux ressources disponibles, en mobilisant des compétences dans des disciplines aussi variées que la géographie, l'anthropologie, le droit ou les sciences politiques.

Sciences aquatiques - lacs et montagne

En Suisse, il y a en moyenne un **lac** tous les 17 km de rivières. Les lacs sont une composante typique du paysage et ils fournissent près de 60% de l'eau potable en Suisse. Les recherches menées par le groupe sciences aquatiques portent sur l'évolution des lacs alpins sous l'effet des activités humaines, qu'elles soient locales, comme la **pollution** par les phosphates, ou globale, comme le **changement climatique**. Que ce soient les grands lacs de piémont, tels que le Léman, ou les petits lacs de montagne, ils constituent toujours un point bas dans le paysage, dans lequel l'eau est stockée de façon temporaire. La quantité et la qualité de l'eau qu'ils hébergent dépendent par conséquent des processus qui agissent sur le bassin versant, auxquels se surimposent les processus qui se produisent à l'intérieur même du lac. Comprendre comment l'écologie de ces lacs répond à une perturbation humaine, comme le changement climatique, exige donc d'en évaluer les effets directs, tels que ceux du réchauffement des eaux sur les processus écologiques dans le lac, ou indirects (effets du changement climatique sur les précipitations par exemple). Comme les lacs suisses appartiennent à un environnement souvent urbanisé, ils subissent quasi en permanence de multiples pressions humaines. L'enjeu est donc de comprendre comment ces perturbations interagissent pour modifier le fonctionnement et la trajectoire écologiques des lacs. Pour ce faire, l'équipe s'appuie autant sur des mesures faites *in situ* grâce à la plateforme Lexplore entre autres, à des échelles de temps proches de la minute, que sur des reconstructions des évolutions séculaires par l'étude des archives **sédimentaires**.

L'eau

Fiche N° 1

Eau et géophysique

En raison de sa nature invisible, [l'eau souterraine](#) est souvent exploitée avec des mesures réglementaires et une surveillance insuffisantes, ce qui implique que ces [ressources](#) cruciales connaissent épuisement et contamination dans le monde entier. Cela affecte négativement la société humaine pour laquelle l'accès à l'eau potable est essentiel tout comme la résilience des [écosystèmes](#) et conduit à d'autres effets associés tels l'affaissement des terres et la salinisation des sols. La [géophysique](#) offre des moyens de caractériser les ressources en eau souterraines, d'évaluer leur vulnérabilité et de surveiller des processus-clés (infiltration, mouvement des eaux, transport de contaminants, biorestauration, ...). Notre recherche vise à développer des méthodologies permettant une utilisation efficace de la géophysique pour relever les défis liés à l'eau, avec un accent mis sur la compréhension conceptuelle des systèmes souterrains et la quantification de l'incertitude. Les méthodologies développées sont démontrées avec des études de cas dans des conditions saturées et insaturées en milieux poreux et fracturés.

Eau et permafrost

Les recherches menées portent essentiellement sur l'eau solide, à savoir la glace. Non pas celle visible qui constitue les glaciers, mais celle le plus souvent invisible, cachée dans le sous-sol de nos montagnes, à savoir la glace de [permafrost](#). En effet, dans les environnements froids, les eaux de surface qui s'infiltrent dans le terrain peuvent geler, et donc passer à l'état solide. Cette [glace](#) va alors lier les blocs entre eux, raison pour laquelle le permafrost est généralement considéré comme le ciment des montagnes. Un réchauffement et une fonte de cette glace peut dès lors modifier les conditions d'équilibre des versants et provoquer une augmentation de l'activité de chutes de blocs et une accélération des [glaciers](#) rocheux, ces masses de sédiments constitués de roche et de glace. Avec le [changement climatique](#) actuel, la dégradation du permafrost de montagne est de plus en plus marquée. Dans ce contexte, les recherches menées visent à mieux cerner comment se distribue le permafrost dans les versants de montagne et à mieux comprendre les mécanismes de transferts [sédimentaires](#), en particulier la façon selon laquelle se déplacent les glaciers rocheux.

Eau – la base des besoins énergétiques

La force hydraulique est responsable de près de 56% de l'électricité produite en Suisse. D'ici à 2050, la production doit augmenter de 5 à 8%, surtout suite à la sortie prévue du nucléaire. La Suisse est un pays bien placé pour bénéficier de la force hydraulique grâce à ses régions [alpines](#) qui jouissent d'intensités de [précipitations](#) très élevées. Depuis les années 1980, la Suisse a aussi profité d'une « subvention glaciaire », avec le réchauffement climatique qui entraîne la fonte des [glaciers](#) et donc la libération de l'eau pour remplir les barrages. En parallèle, nous sommes devenus cependant plus conscients des conséquences du prélèvement et du stockage de l'eau pour les rivières en aval des installations hydrauliques. Le groupe AlpWISE (Alps : Water, Ice, Sediment, Ecology) de la Faculté mène ses recherches sur l'avenir de la force hydraulique en Suisse suite au [recul des glaciers](#) et sur la manière d'atteindre un bilan plus optimal entre les besoins énergétiques d'un côté et la protection de l'environnement de l'autre. Les bases de notre travail sont à la fois la recherche fondamentale (par ex. les effets du recul des glaciers sur la livraison des sédiments dans les installations ; la réponse des insectes aquatiques à la gestion des installations) et la recherche appliquée (par ex. la modélisation des impacts des débits de dotation sur l'habitat aquatique).

Le cycle de l'eau et sa composition isotopique

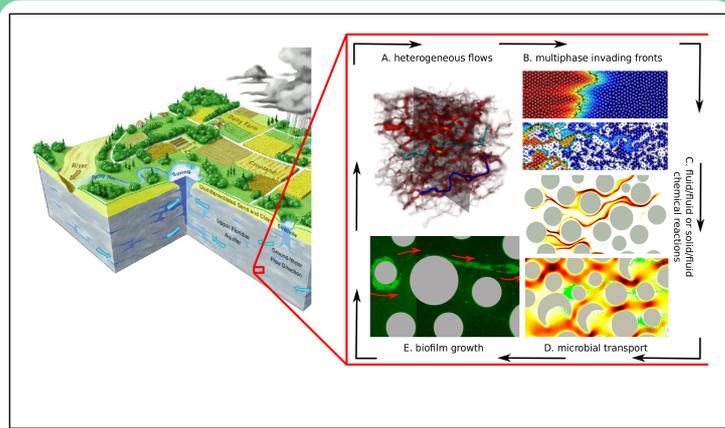
Savez-vous que les molécules d'eau ne sont pas juste de l' H_2O , mais que les deux atomes liés dans cette molécule sont constitués d'isotopes stables différents (variantes atomiques de l'H et de l'O avec nombre de neutrons et masse atomique différents: 1H , 2H , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) ? Ainsi, l'eau est constituée de molécules avec des poids différents. Sa composition isotopique est très liée au processus d'évaporation et de condensation dans le cycle naturel de l'eau : la pluie à des altitudes différentes, la neige, la vapeur d'eau, les rivières, les [lacs](#) et les [eaux souterraines](#) ont toutes, dans un bassin versant donné, une composition isotopique différente en fonction de leur origine et des mélanges. Les préoccupations des chercheurs du laboratoire des isotopes stables sont ainsi : Quelle est l'[origine](#) de la mauvaise qualité de l'eau dans une nappe phréatique ? Quelles sont les variations saisonnières de la qualité de l'eau ? Quel est le mélange des eaux dans le lac Léman et comment les eaux du Rhône se jettent-elles dans le Léman ? Quelle est la contribution des [eaux glaciaires](#) dans nos cours d'eau ainsi que la vitesse à laquelle la masse glaciaire est en train de fondre ?

Eau et problèmes d'inondations

Au niveau mondial, les inondations sont responsables de 40% des dégâts liés aux [catastrophes](#) depuis 1980 et de pertes économiques de l'ordre de mille milliards de dollars. La Suisse est particulièrement sensible aux [inondations](#) à cause de la forte densité de population dans les zones inondables, mais aussi à cause de sa géographie physique, et des effets des reliefs sur l'ampleur des précipitations. Il y a aussi des particularités liées à la région [alpine](#), surtout : les crues liées aux « pluie sur neige » qui peuvent fortement et rapidement augmenter les débits des rivières ; et les transport et dépôt des [sédiments](#) dans le lit des rivières pendant les crues qui entraîne le rehaussement du lit et des inondations potentiellement catastrophiques. Le groupe AlpWISE (Alps : Water, Ice, Sediment, Ecology) effectue des recherches sur ces problématiques via la quantification et la modélisation des transferts de sédiments dans les cours d'eau alpins.

Biochimie de l'eau, eau en subsurface, microfluidique

L'image ci-dessous représente l'environnement proche de la surface où le sol, les roches, les fluides, les gaz et les organismes vivants sont en interaction étroite et couplée pour déterminer le comportement global d'un système [hydrologique](#). La complexité de la dynamique des flux (et des processus contrôlés par les flux) augmente fortement lorsqu'y intègre des fluides non miscibles, tels eau et air dans des sols non saturés. A petite échelle, ces processus sont essentiels dans nombre d'applications sociétales et industrielles (recharge et dépollution des aquifères, séquestration du CO_2 , propagation des ondes sismiques et bio-remédiation in situ). A grande échelle, la complexité de ces systèmes veut que les prévisions basées sur des taux bio-chimiques mesurés dans des réacteurs bien mélangés peuvent significativement différer des observations sur le terrain. Une compréhension mécaniciste de ces processus, comme celle obtenue par une analyse à petite échelle, est une étape obligatoire. L'étude de tels systèmes suppose : i) des expériences impliquant microfluidique, microscopie optique, acquisition et traitement d'images, microbiologie fondamentale et ii) modélisation théorique et numérique d'écoulements des fluides, des phénomènes de transports et de la dynamique des populations. Cette recherche interdisciplinaire est basée sur des expériences et des simulations numériques qui ne sont pas uniquement conçues pour observer et mesurer, mais également pour tester et stimuler un système donné hors de son équilibre afin de déduire i) règles fondamentales d'interaction entre les différentes parties qui le composent, ii) cadre théorique capable de capturer leur couplage et iii) construction de [modèles](#) physiques prédictifs.



Fluves et droits de la nature

En mars 2017, le gouvernement de Nouvelle-Zélande adopte une loi très particulière nommée Te Awa Tupua. Celle-ci attribue à la rivière Whanganui, longue de 290 km et vénérée par le peuple Māori, une personnalité juridique dotée de droits qu'elle peut faire valoir auprès des tribunaux. En avril 2017, la Haute Cour de l'Etat d'Uttarakhand en Inde reconnaît le fleuve Gange et son affluent, la rivière Yamuna, comme des personnes vivantes. En mai 2017, c'est au tour de la Cour constitutionnelle de Colombie d'attribuer des droits au fleuve Atrato. Cela illustre une évolution du cadre juridique en [environnement](#). Dans la théorie du droit classique, il est en effet difficile d'envisager des droits de la nature : on part 1) de l'idée que les droits sont subjectifs, c'est-à-dire qu'ils appartiennent à un sujet de droit (une personne physique ou morale) capable de se prévaloir de ces droits 2) dans l'approche contractualiste, on corrèle en principe droits et devoirs ; l'environnement reste alors exclu du système juridique : tout au plus est-il pris en compte de manière indirecte, lorsque des atteintes à l'environnement naturel ont des effets négatifs sur les personnes qui y vivent ; celles-ci peuvent alors faire valoir le dommage qu'elles ont subi pour exiger des mesures en faveur de l'environnement.

Avec l'introduction des droits de la nature dans un système juridique, ce sont des [devoirs directs envers l'environnement](#) qui peuvent être envisagés. L'idée est loin d'être nouvelle ; le juriste américain Christopher Stone avait, en 1972 déjà, suggéré l'attribution de droits aux arbres pour empêcher l'implantation par l'entreprise Disney d'une station de ski et de villégiature menaçant une [forêt de sequoias](#) en Californie. Inaudible à l'époque, la proposition a depuis fait son chemin.

Une telle modification du droit permettrait une meilleure protection de l'environnement. La rivière Whanganui (NZ) est ainsi représentée par deux gardiens, l'un choisi par le gouvernement et l'autre par les tribus Māori locales, qui peuvent au nom de la rivière intenter des actions en justice visant à préserver l'intégrité de la rivière. Ce faisant, c'est [l'écosystème](#) lui-même qui est pris en compte, avec les éléments naturels qui le composent – la faune, les végétaux, le biotope, etc. –, et non seuls les humains qui y vivent. L'attribution de droits à la nature permet en outre de reconnaître les relations d'interdépendance qui unissent un lieu à une communauté et à ses habitants – relations constitutives de leur identité. Finalement, les droits de la nature ont un impact environnemental, et aussi culturel et social.

Edition et crédits

Décanat FGSE (Nicolas Bourquin, Rémy Freymond) pour la coordination des textes et concept.

Groupes de recherche contributeurs : E. Reynard, S. Lane, M-E Perga, N. Chèvre, Ch. Lambiel, P. de Anna, T. Vennemann, N. Linde, G. Hess

Crédit image : groupe P. de Anna, et partie gauche tirée d'une image modifiée de l'USGS (U.S. Geological Survey)

L'eau

Mes notes personnelles

Bibliographie