

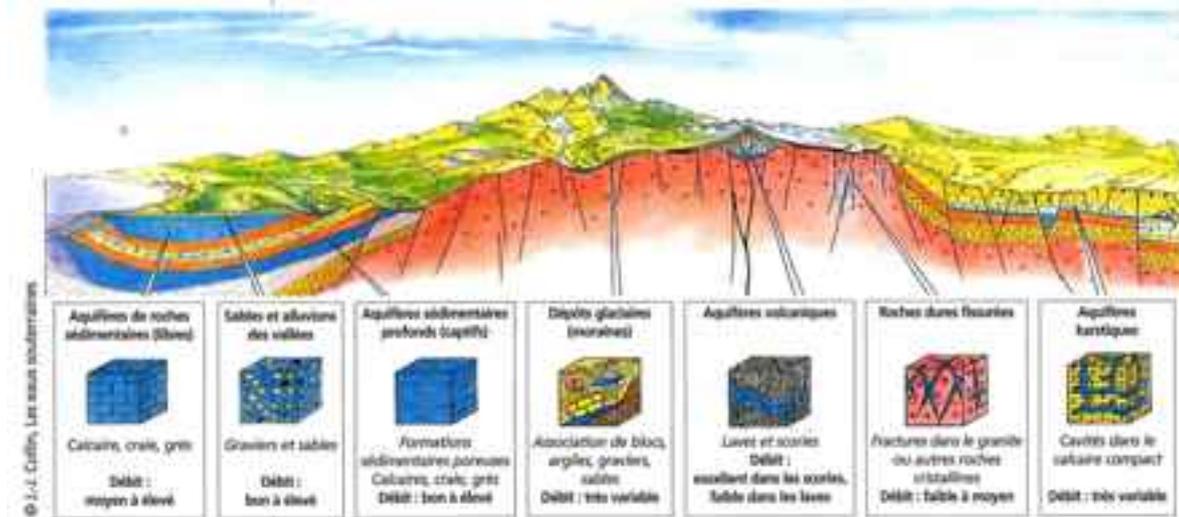
Une grande variété de réservoirs d'eau souterraine

Les aquifères présentent des particularités liées à la nature géologique et à la géométrie des formations rocheuses qui les constituent, mais aussi à leur caractère libre ou captif et aux autres milieux aquatiques avec lesquels ils échangent.

Trois grandes familles :

- Les aquifères de **roches sédimentaires** sont composés de calcaires, sables, grès, craie. Ils caractérisent les dépôts en couches dans les grands bassins actuels : bassins parisien, aquitain... ou ceux morcelés, voire déformés dans les chaînes de montagne (Alpes, Pyrénées...);
- Les **aquifères alluviaux** sont constitués de matériaux déposés par les cours d'eau dans leurs vallées : sables et graviers, intercalés dans des limons fins. Vulnérables, ces nappes en relation avec les eaux de surface servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoulent naturellement vers les points bas que sont les vallées ;
- Les aquifères de **roches cristallines** (granite, gneiss,...) et volcaniques (laves, cendres) stockent l'eau dans les fissures et les zones altérées (arènes). Ils abritent de petites nappes et sont fréquents en Bretagne, dans les Alpes, le Massif central, les Pyrénées.

Cela étant dit, il n'existe pas de classification précise et unique des différents types d'aquifères, et l'illustration suivante présente des contextes aquifères variés.



Principaux types d'aquifères (extrait de l'ouvrage « les eaux souterraines en France »)

En région Centre-Val de Loire, les aquifères sont très majoritairement de type sédimentaire.

Leurs deux propriétés, la porosité (pourcentage de vides dans la roche) et la perméabilité (capacité à laisser circuler l'eau) les répartissent en trois types :

- **poreux** : l'eau s'accumule et s'écoule dans les interstices de la roche, meuble (sables, graviers) ou consolidée (grès, craie).
- **fissuré** : les roches cristallines (granites, schistes), les laves, les calcaires non karstifiés... sont très peu poreuses. L'eau est contenue et circule dans les failles ou les fissures de la roche.
- **karstique** : les terrains calcaires (et souvent la craie), où très fréquemment les vides ont été élargis par la dissolution, et sont organisés en un réseau de

drainage souterrain dont une partie des vides peut atteindre la taille de gouffres et de cavernes.

La **vitesse d'écoulement** est liée principalement à la perméabilité de l'aquifère. Un même volume d'eau peut parcourir une même distance en quelques années en alluvions et en milieu poreux, en quelques mois en milieu fissuré et en quelques jours, voire quelques heures, en milieu karstique.

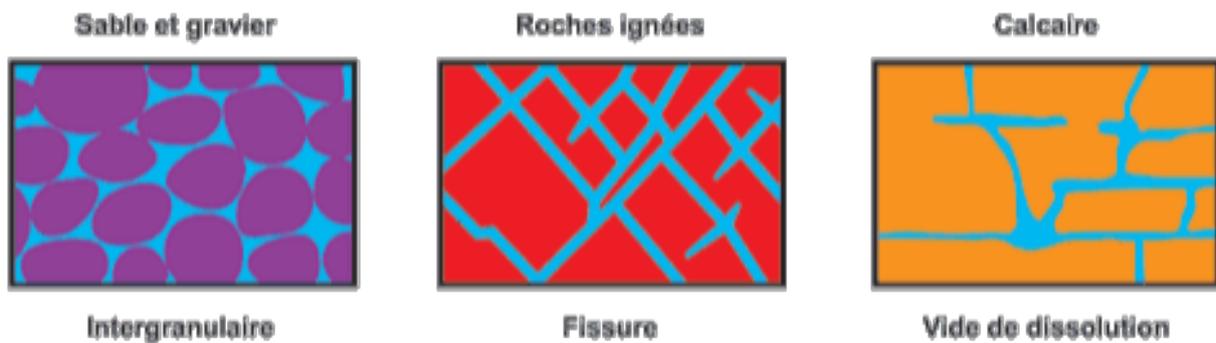
Types d'aquifères	Types de roches	Débits (indicatifs)
Aquifères de roches sédimentaires (libres)	Calcaires, craie, grés	Moyen à élevé
Sables et alluvions des vallées	Graviers et sables	Bon à élevé
Aquifères sédimentaires profonds (captifs)	Formations sédimentaires poreuses Calcaires, craie, grés	Bon à élevé
Dépôt glaciaires (moraines)	Association de blocs, argiles, graviers et sables	Très variable
Aquifères volcaniques	Laves, scories	Excellent dans les scories et faible dans les laves
Roches dures fissurées	Fractures des le granite ou autres roches cristallines	Faible à moyen
Aquifères karstiques	Cavité dans le calcaire compact	Très variable

Propriétés

Qu'est-ce que l'eau souterraine?

On croit parfois que l'eau s'écoule par des cours d'eau souterrains ou qu'elle se rassemble dans des lacs souterrains. L'eau souterraine n'est pas seulement confinée à quelques canaux ou dépressions de la même façon que l'eau de surface se concentre dans des cours d'eau et des lacs. Au contraire, elle est presque omniprésente dans le sous-sol. On la trouve dans les interstices des particules de roches et de sol, ou dans les crevasses et fissures des roches.

Principaux types de porosité



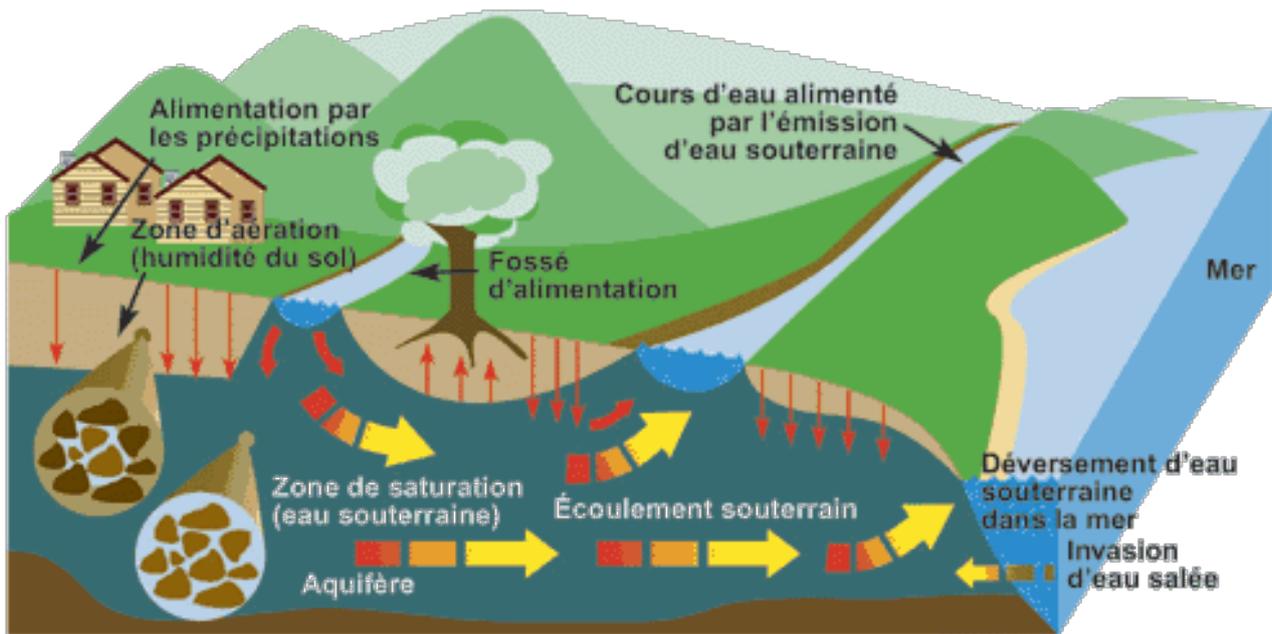
Où peut-on trouver de l'eau souterraine? L'eau occupe les interstices des grains de sable, les fissures des roches et les vides de dissolution.

La figure montre où peut-on trouver de l'eau souterraine. L'eau occupe les interstices des grains de sable (intergranulaire), fissure (roches ignées), et vide de dissolution (calcaire). L'eau qui remplit ces cavités se situe généralement dans les 100 mètres de la surface. C'est là que réside une grande partie de l'eau douce de la terre. À de plus grandes profondeurs, ces cavités sont beaucoup plus petites en raison du poids de la roche de recouvrement et, par conséquent, elles contiennent des quantités d'eau beaucoup moindres.

L'eau souterraine coule lentement à travers des formations aquifères (aquifères) à différents débits. À certains endroits, où elle a dissous le calcaire pour former des cavernes et de grandes ouvertures, son débit peut être relativement rapide, mais ceci est toutefois exceptionnel.

De nombreux termes sont utilisés pour décrire la nature et l'étendue des ressources en eau souterraine. Le niveau au-dessous duquel tous les interstices sont remplis d'eau s'appelle la **surface de saturation**. Au-dessus de cette surface se trouve la **zone d'aération**. Ici, les espaces dans la roche et le sol contiennent à la fois de l'air et de l'eau. L'eau dans cette zone s'appelle l'**humidité du sol**. Toute la région au-dessous de la surface de saturation est dénommée **zone de saturation**, et l'eau de cette zone est l'**eau souterraine**.

Écoulement de l'eau souterraine



La figure montre comment l'eau, à partir de sources comme les précipitations et les fossés d'alimentation, entre dans la zone d'aération (humidité du sol) et la zone de saturation (eau souterraine). Elle illustre aussi l'écoulement souterrain, l'invasion d'eau salée et l'émission d'eau souterraine dans les cours d'eau et la mer.

Qu'est ce qu'un aquifère?

Bien que l'eau souterraine existe partout dans le sous-sol, certaines parties de la zone de saturation contiennent plus d'eau que d'autres. Un **aquifère** est une formation souterraine de roche perméable ou de matériau meuble qui peut produire des quantités utiles d'eau lorsqu'elles sont captées par un puits. Les aquifères existent dans toutes les dimensions et varient d'après leur composition et leur origine. Ils peuvent être petits, ne couvrant que quelques hectares de superficie, ou très grands, sous-jacents à des milliers de kilomètres carrés de surface terrestre. Ils peuvent avoir seulement quelques mètres d'épaisseur ou mesurer des centaines de mètres du haut vers le bas.

Beaucoup de grands aquifères du Canada sont d'épais dépôts de sable et de gravier laissés jadis par des cours d'eau glaciaires. Ce genre d'aquifère approvisionne principalement les régions de Kitchener-Waterloo, en Ontario, et de Fredericton, au Nouveau-Brunswick. L'aquifère Carberry, au Manitoba, est un ancien delta qui repose sur ce qui constituait autrefois le lac glaciaire Agassiz. Cet aquifère sert particulièrement à l'irrigation. L'Île-du-Prince-Édouard tire entièrement son eau d'aquifères de grès. Il existe un grand aquifère de sable et de gravier provenant d'alluvions glaciaires dans la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique. On s'en sert d'ailleurs abondamment comme source d'eau à des fins municipales, domestiques et industrielles. À Winnipeg et à Montréal, les industries sont approvisionnées par des aquifères composés de roches fracturées.

Se concentrer seulement sur les principaux aquifères (les gros aquifères) serait toutefois une erreur. En effet, beaucoup d'exploitations agricoles et de maisons de campagne tirent leur eau d'aquifères relativement petits, par exemple, de minces dépôts de sable et de gravier, d'origine glaciaire ou autre. Pris séparément, ces aquifères n'ont guère d'importance, mais réunis ils constituent une très importante source d'eau souterraine.

L'eau souterraine - en mouvement perpétuel

Les matériaux **perméables** contiennent des fissures ou des espaces interreliés qui sont suffisamment nombreux et grands pour laisser l'eau circuler librement. Dans certains matériaux perméables, l'eau souterraine peut se déplacer sur plusieurs mètres en une journée; en d'autres endroits, elle ne se déplace que de quelques centimètres en un siècle. L'eau souterraine ne circule que très lentement dans des matériaux relativement **imperméables** comme l'argile et les schistes.

Les spécialistes des eaux souterraines distinguent généralement deux types d'aquifères en fonction des attributs physiques de ces derniers : les milieux poreux et les aquifères fissurés.

Les **milieux poreux** sont des aquifères composés d'agrégats de particules distinctes comme le sable et le gravier. L'eau souterraine occupe les vides interstitiels des grains à travers lesquels elle circule. Les milieux poreux où les grains ne sont pas reliés l'un à l'autre sont considérés comme **meubles**. Si les grains sont cimentés les uns aux autres, ces aquifères sont dits **consolidés**. Les grès sont des exemples de milieux poreux consolidés.

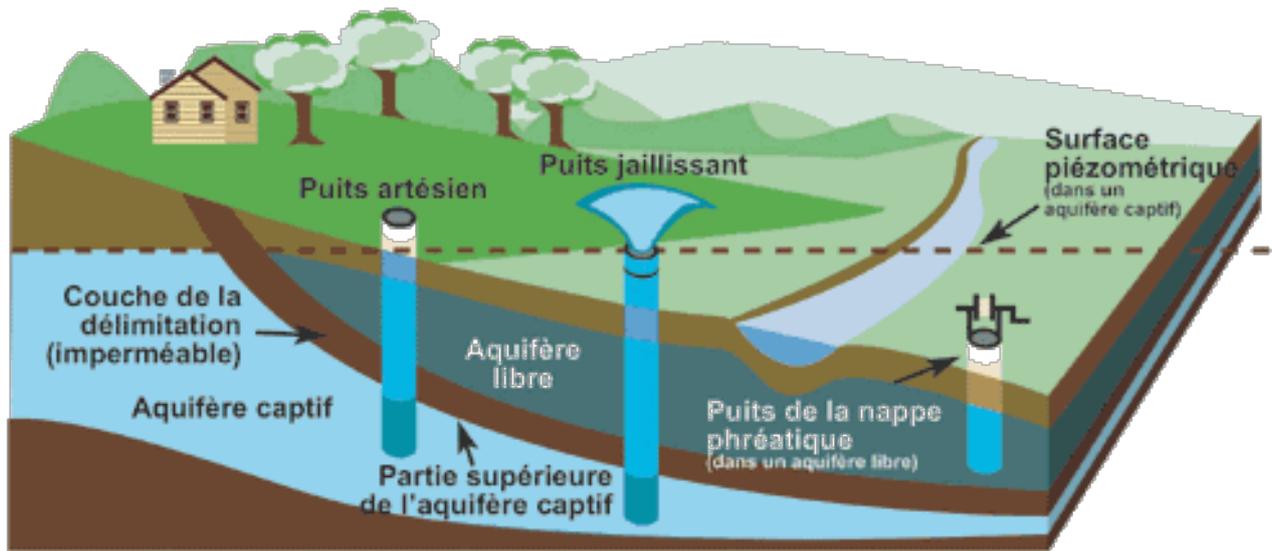
Les **aquifères fissurés** sont des roches dans lesquelles l'eau souterraine circule à travers des fissures, des joints ou des fractures dans une roche par ailleurs solide. Le granite et le basalte en constituent des exemples. Les calcaires sont souvent des aquifères fissurés, mais, ici, les fissures et les fractures peuvent être agrandies par dissolution, formant de grands chenaux ou même des cavernes. Un terrain calcaire où la dissolution a été très active s'appelle le **karst**. Les milieux poreux comme le grès peuvent présenter un degré si élevé de cimentation ou de recristallisation que tous les espaces originaux sont remplis. Dans ce cas, la roche n'est plus un milieu poreux. Toutefois, si elle contient des fissures, elle peut encore assurer la fonction d'un aquifère fissuré.

La plupart des aquifères qui revêtent un intérêt pour nous sont des milieux poreux meubles comme le sable et le gravier. Certains matériaux très poreux ne sont pas perméables. L'argile, par exemple, comporte de nombreux interstices entre ses grains, mais ces vides interstitiels ne sont pas assez grands pour permettre le libre passage de l'eau.

L'eau souterraine coule généralement vers le bas, dans le sens de la pente de la surface de saturation. Comme l'eau de surface, l'eau souterraine s'écoule vers les cours d'eau, les lacs et les océans pour éventuellement les rejoindre. L'écoulement de l'eau souterraine dans les aquifères sous-jacents aux bassins versants de surface ne reflète pas toujours l'écoulement de l'eau à la surface. En conséquence, l'eau souterraine peut se déplacer dans des directions différentes de celles de l'écoulement de surface.

Les **aquifères libres** sont des nappes à surface libre limitées par la surface de saturation. Toutefois, certains aquifères se situent au-dessous de couches de matériaux imperméables; ce sont des **aquifères captifs**, ou parfois des **nappes artésiennes**. Un puits dans un aquifère de ce type est un **puits artésien**.

Aquifères et puits



La figure montre un puits artésien et un puits jaillissant forés dans un aquifère captif ainsi qu'un puits de la nappe phréatique (puits de surface) foré dans un aquifère libre. Elle montre aussi la surface piézométrique dans un aquifère captif et la couche imperméable de délimitation située entre l'aquifère captif et l'aquifère libre.

L'eau dans ces puits s'élève à un niveau plus haut que la partie supérieure de l'aquifère en raison de la pression sous laquelle elle est retenue. Si le niveau d'eau monte au-dessus de la surface du sol, il se forme un **puits jaillissant**. La **surface piézométrique** est le niveau auquel s'élèvera l'eau d'un aquifère artésien.

L'eau souterraine - un maillon essentiel dans le cycle hydrologique

La circulation de l'eau souterraine fait partie du cycle hydrologique. Les précipitations et d'autres sources d'eau de surface alimentent l'eau souterraine qui se draine constamment, et parfois très lentement, vers ses points de déversement.

L'eau souterraine ne reste pas en permanence dans le sous-sol et elle ne constitue pas toujours des réserves exploitables à volonté par des puits. Le [cycle hydrologique](#) est la série de transformations qui se produisent dans la circulation de l'eau de l'atmosphère vers la surface et dans les régions souterraines de la terre, puis de nouveau de la surface vers l'atmosphère. Les précipitations se transforment en eau de surface, en humidité du sol et en eau souterraine. L'eau souterraine circule à nouveau vers la surface, et, de la surface, toute l'eau retourne à l'atmosphère par évaporation et transpiration.

Lorsque les précipitations tombent à la surface du sol, une partie de l'eau se déverse dans les lacs et les cours d'eau. Une certaine partie de l'eau provenant de la fonte des neiges et des précipitations s'infiltre dans le sol et percole dans la zone de saturation. Ce processus s'appelle **l'alimentation**, et les endroits où il se produit s'appellent **zones d'alimentation**.

Cette eau peut finalement réapparaître au-dessus du sol. C'est **l'émergence**. L'eau souterraine peut se déverser dans les cours d'eau, les marais, les lacs et les océans, ou bien son émission peut se présenter sous forme de **sources et de puits jaillissants**.

L'émergence de l'eau souterraine peut contribuer considérablement à l'écoulement de l'eau de surface. Durant les périodes sèches, le débit de certains cours d'eau peut être entièrement alimenté par l'eau souterraine. En tout temps de l'année, en fait, la nature des formations souterraines exerce un effet marqué sur le volume du ruissellement. Tandis que le débit d'émergence détermine le volume d'eau circulant de la zone de saturation vers les cours d'eau, le taux d'alimentation détermine le volume d'eau s'écoulant à la surface.

Lorsqu'il pleut, par exemple, le volume de l'eau se déversant dans les cours d'eau dépend de la quantité de précipitations que les matériaux souterrains peuvent absorber. Lorsque la quantité d'eau à la surface est supérieure à la capacité d'absorption des matériaux souterrains, elle se déverse dans les cours d'eau et les lacs.

Le **temps de séjour** de l'eau souterraine, c'est-à-dire la durée pendant laquelle l'eau demeure dans la portion souterraine du cycle hydrologique, varie énormément. L'eau peut demeurer seulement quelques jours ou quelques semaines dans le sous-sol, ou jusqu'à 10 000 ans ou plus. Les temps de séjour de dizaines, de centaines ou même de milliers d'années ou plus ne s'ont pas exceptionnels. À titre de comparaison, le temps de renouvellement de l'eau de rivières, ou le temps que met l'eau des rivières à se remplacer complètement, est d'environ deux semaines.

Estimation de la profondeur et du temps de séjour des réserves d'eau de la planète

Paramètre	Équivalent en profondeur (m) Calculé comme si l'emménagement était uniformément réparti sur toute la surface de la terre	Temps de séjour
Océans et mers	2500	environ 4000 ans
Lacs et réservoirs	0,25	environ 10 ans
Marais	0,007	environ 1 à 10 ans
Canaux fluviaux	0,003	environ 2 semaines
Humidité du sol	0,13	2 semaines à 1 an
Eau souterraine	120	2 semaines à 10 000 ans
Calottes glacières et glaciers	60	10 à 1000 ans
Eau atmosphérique	0,025	environ 10 jours
Eau biosphérique	0,001	environ 1 semaine

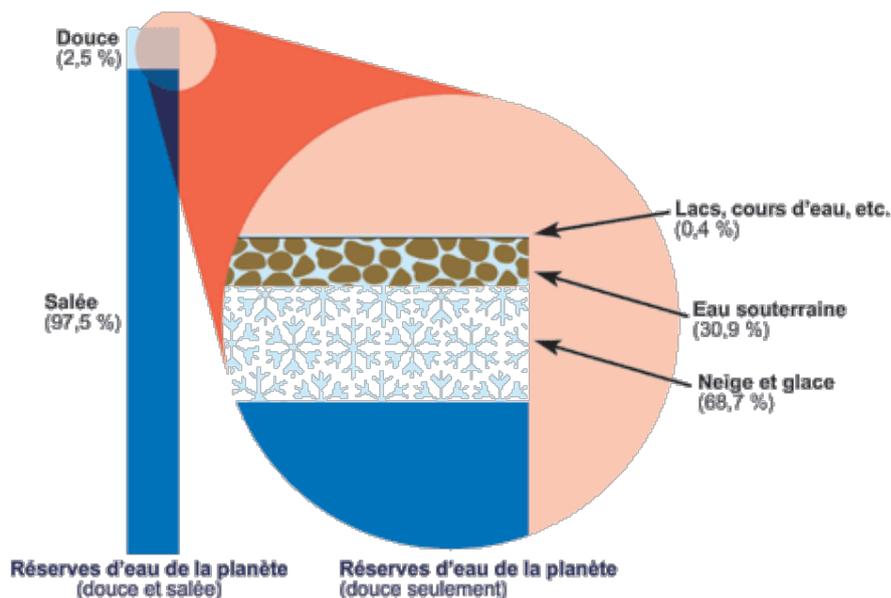
Source : adaptée de R. Allen Freeze et John A. Cherry, Groundwater. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey, 1979: p.5.

Quelle quantité d'eau souterraine avons-nous?

Selon certaines estimations, l'eau souterraine terrestre pourrait couvrir toute la surface du globe sur une profondeur de 120 mètres. À titre de comparaison, le volume des eaux de surface des lacs, cours d'eau, réservoirs et marais pourrait être contenu sur une profondeur d'environ un quart de mètre.

Il est extrêmement difficile d'estimer le volume de l'eau souterraine sur toute la planète. Par exemple, une analyse documentaire récente révélait des chiffres allant de 7 000 000 à 330 000 000 de kilomètres cubes. Toutefois, toutes les estimations impliquent que, si nous ne comptons pas l'eau gelée des calottes glaciaires, des glaciers et des neiges persistantes, l'eau souterraine constitue presque le volume total de l'eau douce utilisable de la terre.

L'eau souterraine et les réserves d'eau douce de la planète



Source : Adaptée de la figure 2 no. A-2 de la collection Eau douce, De l'eau - ici, là bas, partout de l'eau.

La figure montre que les réserves d'eau de la planète sont formées de 2,5 % d'eau douce et de 97,5 % d'eau salée. Les réserves mondiales d'eau douce sont constituées de lacs, de cours d'eau, etc. (0,4 %); de neige et de glace (68,7 %); d'eau souterraine (30,9 %).

Pourtant, il arrive souvent que ces réserves ne sont pas facilement accessibles, et il peut se révéler difficile et coûteux de les exploiter dans certaines régions. La qualité de la source d'eau souterraine est également un facteur déterminant majeur dans l'établissement de son utilisation.

Même au Canada, il y a plus d'eau dans le sol qu'en surface. Depuis le début du siècle dernier elles ont été fréquemment étudiées, toutefois, elles n'ont pas été cartographiées de façon systématique dans l'ensemble du pays. Le programme Cartographie des eaux souterraines de [Ressources naturelles Canada](#), l'initiative fédérale actuelle sur les eaux souterraines, a pour but d'établir un cadre conceptuel des systèmes d'écoulement national, régional et des bassins hydrographiques.

Eau souterraine et géologie

L'eau souterraine est également un élément important, mise à part sa valeur comme ressource ou son lien étroit avec les réserves d'eau de surface. Les ingénieurs doivent tenir compte de l'eau souterraine dans la planification de tout ouvrage, que ce soit au-dessus ou au-dessous du sol. Ignorer l'effet de l'eau souterraine sur la stabilité de la pente peut se révéler à la fois coûteux et dangereux. Les géologues considèrent l'eau souterraine comme une force majeure dans les changements géologiques. Les pressions de fluide exercées par l'eau souterraine, par exemple, jouent un rôle important dans l'apparition des tremblements de terre. Les géologues savent également que le déplacement de l'eau à travers les formations géologiques souterraines détermine la migration et l'accumulation de pétrole ainsi que la formation de certains dépôts de minerais.

