Les eaux souterraines en France

les enjeux des Géosciences

brgméditions

Les eaux souterraines en France

Collection
"Les enjeux des Géosciences"

Sommaire

Avant-propos 4

PARTIE I À LA DÉCOUVERTE DES EAUX SOUTERRAINES 5

Chapitre I.1 De l'eau sous nos pieds 6

Un patrimoine essentiel 6
De l'eau du ciel à l'eau sous la terre 7
Des nappes libres et captives 7
La roche contient la nappe 8
Encadré : L'âge des eaux souterraines 8
Encadré : Les inondations de la Somme 9

Chapitre I.2 Du fontainier à l'hydrogéologue 10

De l'eau magique 10
Naissance d'une discipline 10
Premières mesures de protection 11
Encadré : La loi de Darcy 11
Encadré : Le puits de Grenelle 12
Un métier d'avenir 12
Les hydrogéologues agréés 12

Chapitre I.3 La richesse cachée de la France 13

Des eaux de caractère 13
Des eaux sans frontière 14

Chapitre I.4 Mieux connaître : capter, mesurer, modéliser, comprendre 16

Modéliser pour prévoir 17
Encadré : Le suivi quantitatif de la ressource 17

PARTIE II UNE EAU DE QUALITÉ ET EN QUANTITÉ SUFFISANTE POUR DE MULTIPLES USAGES 19

Chapitre II.1 Des eaux précieuses 20

Les usages de l'eau 20
Les eaux minérales naturelles 21
Les eaux géothermales 22

Chapitre II.2 Les eaux souterraines sont-elles bien exploitées ? 24

Des pluies abondantes 24
Quand la pluie fait défaut 24
Encadré : Réalimentation artificielle 25
Encadré : Gestion active 26

© BLC

© Atals patrimoine 93

© J.-C. Roux

Chapitre II.3 Les qualités des eaux souterraines en France 27
La santé au fil de l'eau 27
Des défauts naturels 28
Des pollutions diffuses 29
Encadré : *La faune des eaux souterraines* 29
Des pollutions ponctuelles 31
De nouveaux polluants 32

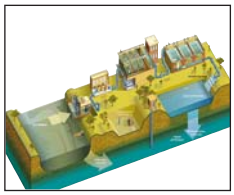
PARTIE III LA GESTION DES EAUX SOUTERRAINES EN FRANCE 33

Chapitre III.1 Des enjeux nationaux mais également européens 34
La surveillance des eaux souterraines 34
De la mesure à la conservation en banques de données 35
Les périmètres de protection des captages 36
Les Agences de l'eau font école 37
Une gestion à l'échelle européenne 39
À la reconquête du bon état des masses d'eau souterraine 40
Prélèvement durable ou surexploitation ? 41
Évaluer la qualité de l'eau souterraine 42

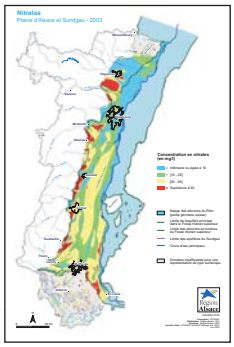
Chapitre III.2 Les acteurs de l'eau 43
Savoir pour prévoir 43
Une organisation en poupées russes 43
Encadré : *Le Grenelle de l'environnement* 44
Tout est lié 46
L'avenir des eaux souterraines 46
Encadré : *La reconquête de la qualité de la nappe d'Alsace* 47
Encadré : *Les eaux souterraines et le changement climatique* 48

Présentation des organismes participant à l'ouvrage 49
Glossaire 52
Pour en savoir plus 55

© SEMHACH


© Lyonnaise des Eaux

© BRGM Im@gé



© Aprona

Avant-propos

Les eaux souterraines tiennent une place essentielle dans le cycle de l'eau. Elles assurent en effet l'essentiel de l'écoulement superficiel et par là-même la pérennité des écosystèmes aquatiques, des sources aux fleuves, en passant par les zones humides. Elles sont indispensables aux besoins de l'industrie, de l'irrigation et de l'alimentation en eau potable dont elles assurent, en France, les deux tiers des volumes produits.

Mais, en raison de leur renouvellement souvent très lent, les eaux souterraines sont particulièrement vulnérables. Les pollutions chimiques ou les effets de la surexploitation de la ressource peuvent mettre beaucoup de temps à se manifester, au risque d'être léguées aux générations futures en engendrant des déséquilibres écologiques parfois irréversibles.

Pour gérer les eaux souterraines de manière durable, il est nécessaire d'améliorer leur connaissance et leur suivi afin de comprendre les processus déterminant leur qualité et leur régime. D'importants progrès dans ce domaine ont été réalisés ces dernières années comme, par exemple, la création de la banque nationale des données sur les eaux souterraines (ADES). Il est important aussi de disposer d'instruments adaptés, tant au niveau juridique, technique et économique qu'au niveau de l'aménagement du territoire.

C'est tout le sens de la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 qui impose d'atteindre un bon état général des masses d'eau d'ici 2015, notamment en établissant des plans de gestion des bassins hydrographiques. En 2006, une directive "fille" consacrée aux eaux souterraines est venue la compléter. Ces textes introduisent des obligations de résultats et des calendriers, pour réduire progressivement la pollution des eaux souterraines et inverser toute tendance à la hausse significative et durable de la concentration des polluants.

La loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) est venue appuyer ces mesures européennes en donnant les outils adéquats pour reconquérir la qualité des eaux, en garantir la bonne gestion et assurer une meilleure adéquation entre ressources en eau et besoins. Pour ce faire, la loi donne plus de moyens aux schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE) et crée l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) chargé, entre autres, de coordonner le système d'information sur l'eau. Le Grenelle de l'environnement a précisé que l'objectif de la DCE devrait être atteint pour deux tiers des masses d'eau en 2015.

Enfin, pour préserver ce patrimoine commun et atteindre les objectifs de bon état, la mobilisation de tous les acteurs de l'eau est indispensable qu'il s'agisse d'améliorer la connaissance, de regrouper l'information disponible, de lutter efficacement contre les pollutions ponctuelles et diffuses pour garantir un accès durable à l'eau potable ou de développer la planification de la gestion de l'eau pour les nappes les plus fragiles ou surexploitées.

Odile Gauthier, Directrice de l'Eau et de la Biodiversité (Ministère du Développement Durable)
Didier Houssin, Directeur général de la Santé (Ministère chargé de la Santé)
Patrick Lavarde, Directeur général de l'ONEMA
Philippe Vesseron, Président du BRGM

Partie I

À la découverte des eaux souterraines

© Fotolia/J. Reitz

La résurgence de la Fosse Dionne, à Tonnerre, dans l'Yonne.

Première ressource minérale de la Terre prélevée par l'Homme, l'eau souterraine est la seule aussi qui se renouvelle, grâce au cycle de l'eau. La France, pays riche en eaux souterraines, est le berceau de l'hydrogéologie. Depuis deux siècles, l'état des connaissances n'a cessé de s'enrichir pour mieux connaître et comprendre ce patrimoine, quantitativement et qualitativement.

De l'eau sous nos pieds

Du fontainier à l'hydrogéologue

La richesse cachée de la France

Mieux connaître : capter, mesurer, modéliser, comprendre

De l'eau sous nos pieds

Chapitre I.1

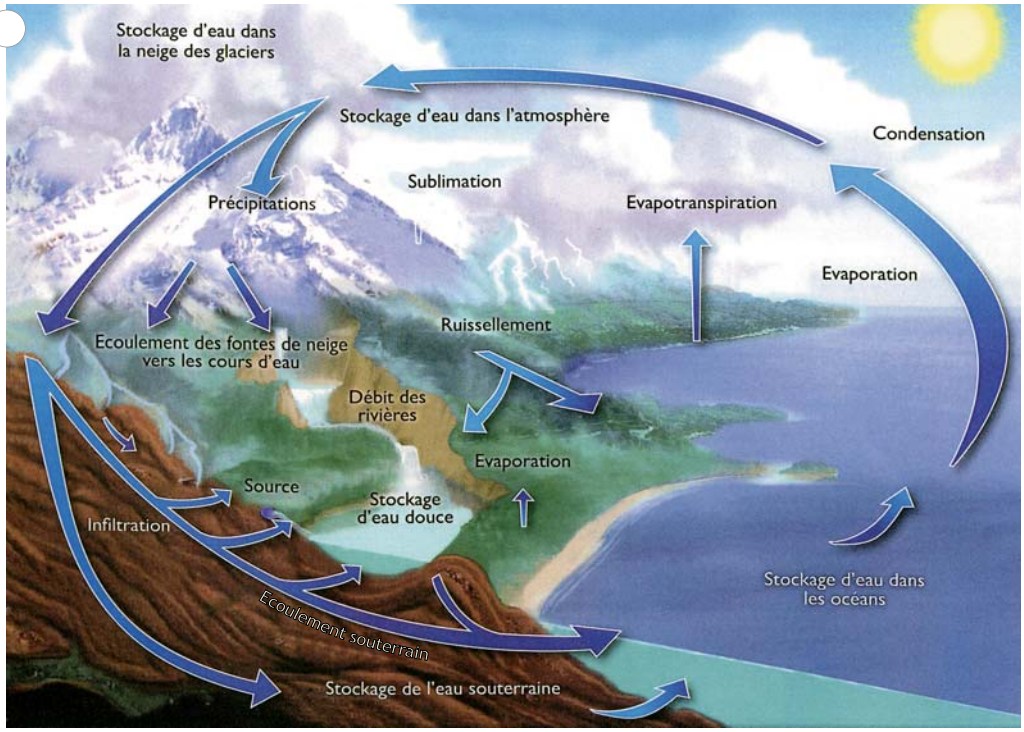
L'eau souterraine est la première ressource minérale prélevée par l'homme, la seule aussi qui se renouvelle grâce à l'éternel cycle de l'eau. Ce patrimoine vivant a besoin d'être protégé et préservé pour les générations futures.

Un patrimoine essentiel

La circulation des eaux terrestres emprunte des voies rapides, les fleuves et rivières, ou des voies lentes, les nappes souterraines, qui sont très intercommunicantes. Sur les 43 000 milliards de m³ entretenus par le cycle de l'eau planétaire, qui circulent bon an mal an sur l'ensemble des continents, environ 12 000 milliards de m³ annuels d'eau souterraine circulent d'abord dans les aquifères* ; les 9/10 aboutissent aux cours d'eau dont ils entretiennent les écoulements* réguliers et 1/10 seulement rejoint directement la mer.

Les aquifères sont aussi des réservoirs souterrains, qui contiennent des volumes d'eau douce ou salée considérables, se chiffrant en millions de milliards de m³. Ces stocks ont une fonction régulatrice utile, mais ils ne constituent pas en tant que tels des ressources : à la différence des autres matières premières minérales, l'eau est une ressource renouvelable, pour l'essentiel. C'est la part des écoulements superficiels ou souterrains qu'il est possible, techniquement et économiquement, de prélever sans porter préjudice au milieu naturel, qui forme des ressources réelles pour l'humanité.

En France, l'écoulement total d'eau souterraine est estimé à environ 100 milliards de m³ annuels, dont quelques dixièmes doivent former des ressources* exploitables.



© USGS

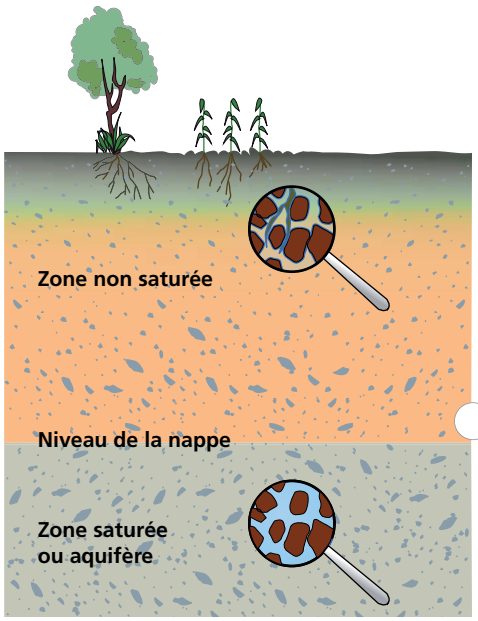
Le cycle de l'eau

Les phases du cycle ont des durées très variables : elles atteignent quelques jours entre l'océan et la pluie, quelques heures à quelques mois entre la pluie et les nappes (recharge), plusieurs années ou millénaires entre les nappes et les sources ou les puits (écoulement* souterrain).

L'eau du sous-sol, relativement accessible et moins vulnérable à la pollution que les eaux de surface, a toujours été considérée comme une matière première essentielle, principalement depuis le milieu du XXe siècle. Quelque 2 milliards de personnes et jusqu'à 40 % de l'agriculture mondiale dépendent, au moins en partie, de ces réservoirs cachés. Les nappes d'eau souterraine sont également nécessaires à l'équilibre écologique de la planète. Elles alimentent les sources, les cours d'eau, les zones humides indispensables à la survie des communautés rurales et urbaines, de la faune et de la flore sauvage.

De l'eau du ciel à l'eau sous la terre

Ce sont principalement les précipitations, qui alimentent les eaux souterraines. Mais toute la quantité d'eau qu'offrent les pluies n'est pas disponible pour la recharge des nappes. Une part des précipitations, plus ou moins importante suivant la saison, regagne l'atmosphère par évapotranspiration*. Une autre partie alimente par ruissellement* les eaux de surface (lacs et rivières) et le reste, enfin, s'infiltre lentement dans le sol et le sous-sol. L'eau de pluie circule dans les pores et les microfissures de certaines roches. On parle alors de "roches aquifères", littéralement : des roches qui contiennent de l'eau. Ces aquifères sont généralement composés de deux parties : une zone non saturée, qui comprend le sol et la partie supérieure de la roche aquifère. Dans cette zone, l'eau ne remplit pas l'intégralité des pores de la roche. Soumise aux forces de capillarité, qui tentent de faire remonter l'eau vers la terre végétale agissant comme un buvard, et à la pesanteur qui l'attire vers les profondeurs, l'eau de la zone non saturée est en mouvement constant. Une partie finit pourtant par descendre (percolation) et par humidifier des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable.
Au-dessus de ce niveau imperméable (le mur de la nappe) commence la zone dite saturée* où l'eau pénètre dans tous les interstices de la roche et dans tous les vides disponibles. C'est cette deuxième zone, qui renferme la nappe :



© BRGM Im@gé

Les nappes ne sont pas des lacs souterrains

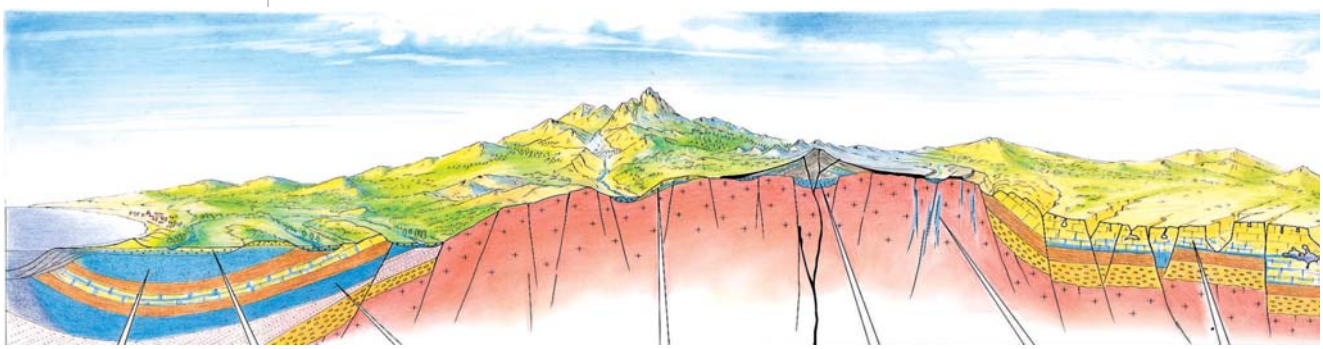
Dans la zone non saturée, l'eau n'est présente que sous forme d'humidité.
Dans la zone saturée*, l'eau occupe tous les vides disponibles (pores et fissures).

l'eau s'écoule en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant le plus souvent la topographie, parfois pendant des dizaines, voire des centaines de kilomètres. Une nappe est ainsi toujours en mouvement vertical et latéral.
L'eau souterraine peut resurgir à l'air libre, à la surface du sol, en formant une source à l'origine en général d'un cours d'eau, dans des secteurs topographiquement plus bas que leur zone d'alimentation.

Des nappes libres et captives

Comme on le voit, qu'elles soient phréatiques (du grec *phreas* : puits), nappes à faible ou forte profondeur, les nappes souterraines ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains, mais simplement de l'eau des roches poreuses saturées par les eaux de pluie infiltrées.
Les nappes libres communiquent avec la surface car, au-dessus de la nappe, le terrain est perméable, les pores de la roche ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser en fonction des précipitations (fluctuations* saisonnières et annuelles).

* Cf. glossaire p. 52



© J.-J. Collin, Les eaux souterraines

Aquifères de roches sédimentaires (libres)	Sables et alluvions des vallées	Aquifères sédimentaires profonds (captifs)	Dépôts glaciaires (moraines)	Aquifères volcaniques	Roches dures fissurées	Aquifères karstiques
Calcaire, craie, grès **Débit : moyen à élevé**	*Graviers et sables* **Débit : bon à élevé**	*Formations sédimentaires poreuses Calcaires, craie, grès* **Débit : bon à élevé**	*Association de blocs, argiles, graviers, sables* **Débit : très variable**	*Laves et scories* **Débit : excellent dans les scories, faible dans les laves**	*Fractures dans le granite ou autres roches cristallines* **Débit : faible à moyen**	*Cavités dans le calcaire compact* **Débit : très variable**

Les nappes captives, elles, sont prisonnières entre deux couches géologiques imperméables. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus. L'eau peut se retrouver sous pression. Elle est même parfois suffisante pour que le creusement d'un forage permette à l'eau de jaillir en surface naturellement : une telle nappe est alors dite artésienne*.

La roche contient la nappe

Les roches aquifères diffèrent selon la nature géologique des terrains mais trois grandes familles se dégagent :

- Les aquifères sédimentaires sont composés – comme leur nom l'indique – de roches sédimentaires (calcaire, sable, grès, craie). Ces nappes sont caractéristiques des

L'âge des eaux souterraines

Eau sur la Terre	Temps de séjour (ordres de grandeur)
Océans et mers	4 000 ans
Lacs et réservoirs	10 ans
Rivières, canaux	2 semaines
Humidité du sol	2 semaines à 1 an
Eaux souterraines	**2 semaines à 10 000 ans**
Calottes glaciaires et glaciers	10 à 10 000 ans
Eau atmosphérique	10 jours
Eau biosphérique	1 semaine

Les eaux souterraines ont un âge. Il correspond au temps passé sous la terre à partir du moment où elles se sont infiltrées dans le sol après les précipitations, jusqu'à leur retour à la surface sous forme d'eau de source ou de forage. En fonction de la nature du terrain, elles peuvent mettre quelques jours, des mois ou plusieurs siècles pour parcourir 1 km dans le sous-sol. Pour calculer leur âge, les scientifiques utilisent les horloges naturelles que sont des radio-isotopes comme le tritium ou le carbone 14. Ces méthodes de datation permettent d'estimer le temps de séjour des eaux dans les entrailles de la terre, mais aussi de mieux cerner les mécanismes d'écoulement et le temps de recharge d'une nappe. Certaines eaux, comme celles des nappes d'alluvions, n'ont pas plus de 40 ans. Elles se renouvellent très vite – en quelques années, voire quelques jours – offrant l'avantage de se décontaminer plus rapidement en cas de pollution. D'autres ont plusieurs milliers d'années. Nous pouvons ainsi boire, pour certaines nappes, de l'eau tombée au temps de la Préhistoire, telle l'eau de l'ancien forage de Passy, qui coule à la fontaine du square Lamartine à Paris, et qui a plus de 40 000 ans. À cette époque, c'est sur la tête des hommes de Néanderthal que tombait la pluie, qui alimentait ces nappes !

grands bassins français, comme le Bassin parisien ou le Bassin aquitain. Elles peuvent être libres ou captives.

- Les aquifères alluviaux, formés de sables et de graviers, ont la particularité d'entretenir le plus souvent des relations avec les cours d'eau.
- Les aquifères de roches cristallines (granite, gneiss, etc.) et volcaniques (laves) gardent l'eau dans les fissures et les zones altérées (arènes). Ils donnent naissance à de petites nappes et sont fréquents en Bretagne, dans le Massif central, les Alpes et les Pyrénées.

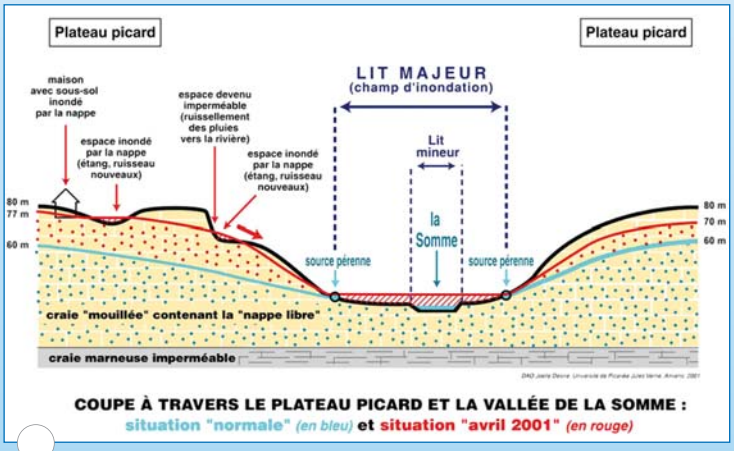
Des distinctions peuvent être faites également en fonction du pourcentage de vides occupés par l'eau dans la roche ou porosité*. Cette porosité peut être naturelle ou acquise par dissolution des roches. Les sables récents (ceux des dunes) ou déposés par les mers de l'ère secondaire et tertiaire, parfois sur des étendues considérables, sont très poreux. Ils peuvent contenir 100 à 200 litres d'eau par m³ de roche, alors que les grès, qui sont des sables cimentés, ont perdu toute leur qualité aquifère, hors des zones fissurées.

Dans la grande famille des calcaires, on retrouve aussi des roches très poreuses, comme la craie, et des roches imperméables, comme le marbre. Les roches calcaires, du fait de leur nature, ont tendance à se fissurer. Elles donnent parfois naissance à de véritables rivières souterraines et même à des lacs tels les karsts* des Causses (sud du Massif central).

Les roches cristallines, les granites au sens large, ainsi que les schistes, sont très peu poreux. L'eau ne peut que se glisser dans les fissures provoquées par la formation des chaînes montagneuses. Les roches volcaniques sont variées : elles peuvent rester compactes et stériles ou donner naissance à des terres fertiles et d'excellents aquifères comme les pouzzolanes et les scories emprisonnées sous les coulées basaltiques de la chaîne des Puys en Auvergne.

Les inondations de la Somme

Les débordements des fleuves ne sont pas provoqués par le seul ruissellement engendré par des pluies intenses : les eaux souterraines peuvent aussi jouer un rôle fondamental dans l'apparition et l'intensité de certaines crues. Les importantes inondations de la Somme, au printemps 2001, ont été l'occasion de vérifier cette hypothèse. Suite à la succession de plusieurs années très pluvieuses, la remontée des nappes a été très importante et le réservoir d'eau souterraine des affluents de ce fleuve a effectué sa vidange dans les cours d'eau, dont les forts débits se sont accumulés dans la vallée de la Somme. À partir de ces observations, des modèles de prévision des crues de la Somme ont été développés. Ils vont permettre d'annoncer les périodes à risque suffisamment tôt, pour prévenir les populations et prendre des mesures de protection.



COUPE À TRAVERS LE PLATEAU PICARD ET LA VALLÉE DE LA SOMME :
situation "normale" *(en bleu)* et situation "avril 2001" *(en rouge)*

© Ameva

Une crue de nappe

Le sous-sol du bassin versant de la Somme est constitué de craie sur 200 mètres d'épaisseur. Sa forte porosité permet de stocker une grande quantité d'eau et sa perméabilité* facilite les échanges entre roches. D'où le rôle fondamental des eaux souterraines dans cette crue...

Crue de la Somme

Ici au Pont Vert, à Amiens le 8 avril 2001, la crue a présenté un mécanisme de vidange de la nappe particulièrement lent.

© P. Delacroix

Du fontainier à l'hydrogéologue

Chapitre I.2

La connaissance des eaux souterraines est récente. Elle a pris son envol au XIXe siècle, portée par les découvertes de la recherche et par l'augmentation de la demande en eau douce.

De l'eau magique

De nombreux villages et villes furent fondés jadis, sur des sites à proximité des sources d'eaux souterraines. Ces lieux prirent un caractère sacré car l'eau douce est nécessaire à la vie. On construisit aussi très vite des puits : les premiers apparaissent au Néolithique avec l'agriculture et la sédentarisation de l'être humain. Ils sont creusés à partir des indications des sourciers. Cet art, autrefois nommé "rhabdomancie" (du grec *rhabdos*, baguette et *manteia*, divination), a été pratiqué très tôt. Des gravures du Tassili, réalisées il y a 8 000 ans, au cœur du Sahara, représentent des sourciers en action. Mais malgré le talent des sourciers et le dévouement du fontainier (il avait la charge de l'entretien des fontaines et des conduites qui les alimentaient), la vraie nature des eaux souterraines va rester longtemps un mystère. C'est ainsi qu'au Moyen-âge, certains puits étaient utilisés pour l'alimentation en eau et d'autres, pour jeter les ordures et cadavres d'animaux, sans souci des écoulements souterrains, qui les reliaient, une pratique qui favorisa l'expansion des épidémies jusqu'à la fin du XIXe siècle. La pollution des nappes ne date pas d'aujourd'hui, ni l'assèchement des puits. Mais pour en connaître les raisons scientifiques, il faudra attendre l'entrée en piste des hydrogéologues et leurs découvertes sur les eaux souterraines.

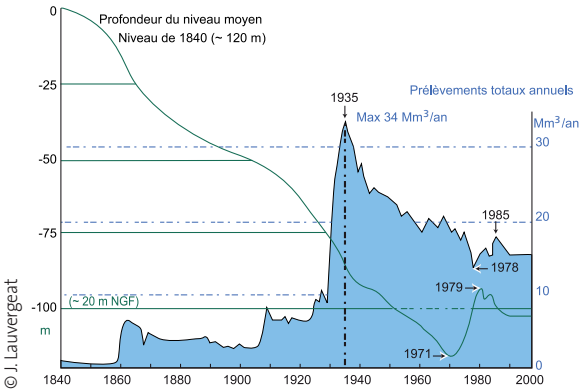
Première carte hydrogéologique (1862)

Sur la carte hydrologique du département de la Seine, levée par l'ingénieur Delesse à l'initiative du préfet Haussmann, figurent notamment les nappes et leurs courbes de niveau, la géologie et les cours d'eau.

© Atlas de l'architecture et du patrimoine de la Seine-Saint-Denis

Naissance d'une discipline

Le premier à utiliser le terme d'hydrogéologie* fut le biologiste et paléontologue français Jean-Baptiste Lamarck. Dans un recueil publié en 1802, il lui donnait le sens de "recherches sur l'influence qu'ont les eaux sur la surface du globe terrestre". Le terme ne concernait pas directement les eaux souterraines, mais il anticipait cependant les fondements de cette discipline scientifique. La première carte piézométrique* (*la carte hydrologique du département de la Seine*) fut tracée par Delesse en 1862. Les connaissances se fondaient sur la mécanique du mouvement des eaux en milieu poreux. L'hydrogéologie s'enracina ainsi dans les sciences de la Terre en plein essor, bénéficiant des progrès de la cartographie géologique du territoire, sous l'impulsion notamment du corps des Mines. Les premiers théoriciens et praticiens de



© J. Lauvergeat

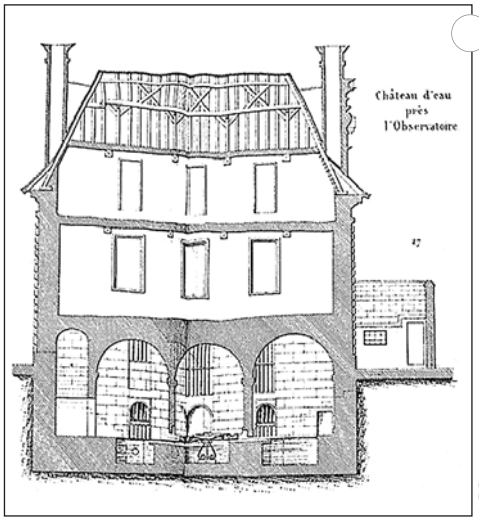
Évolution du niveau de la nappe de l'Albien à Paris en fonction des débits prélevés

Dès l'application du décret-loi de 1935, les prélèvements baissent.

l'hydrogéologie en France furent donc des ingénieurs et polytechniciens qui visaient des objectifs pratiques d'alimentation urbaine en eau potable : Héricart de Thury, Arago, Belgrand, Dupuit, Dausse et Darcy font partie de ces pionniers. Le dernier restera célèbre dans l'histoire grâce à la loi qui porte son nom : la loi de Darcy, devenue l'un des piliers de l'hydrogéologie. Portées par cet élan, il ne faudra qu'un siècle pour comprendre, dans leurs grandes lignes, les conditions hydrogéologiques du territoire français.

Premières mesures de protection

Au XXe siècle, de nouvelles découvertes perfectionnent la connaissance en hydrogéologie. Les investigations s'étendent à l'Afrique du Nord. Le travail que réaliseront les pionniers de l'hydrogéologie en Afrique enrichira grandement cette discipline. Dans les années 30, Henri Schoeller jette les bases de la géochimie et de la thermique de l'eau souterraine en Aquitaine et au Maghreb. Poussée par le développement économique et des besoins nouveaux, l'exploitation des eaux souterraines prend de l'ampleur, tout particulièrement celle des nappes artésiennes profondes découvertes au XIXe siècle dans les bassins de Paris, d'Aquitaine, dans le Nord et, plus tard, au Sahara. Et les forages se multiplient. En France, les prélèvements dans les aquifères augmentent au cours de la première moitié du XXe siècle. L'aquifère des sables verts de l'Albien, au cœur du Bassin de Paris, est particulièrement sollicité. C'est le constat de baisse de pression alarmante qui motive les premières réglementations publiques conservatoires relatives aux eaux souterraines : le décret-loi de 1935 instaure un "permis de forage". L'idée de protéger la qualité de la ressource au droit des captages d'eau potable naît également au début du siècle. La notion de périmètre de protection autour des points de prélèvement d'eau apparaît pour la première fois dans la première loi de santé publique en 1902, suite aux interventions d'Edouard-Alfred Martel, père de la spéléologie.



© DR

© DR

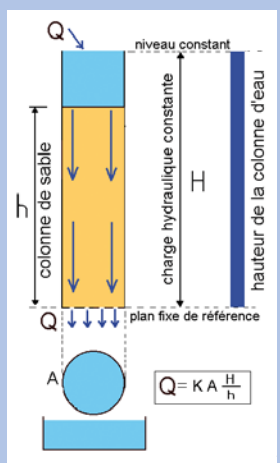
La Maison du fontainier

Au XVIIe siècle, l'eau captée sur le plateau argileux de Rungis, arrivait à la maison du Fontainier (Château d'eau de l'Observatoire, Paris) par l'aqueduc Médicis. Elle était répartie dans trois bassins : celui destiné au roi (photo) servait à alimenter les jeux d'eau du palais du Luxembourg et le Palais-Royal ; le bassin pour la ville alimentait des fontaines publiques sur la rive gauche et celui de l'entrepreneur servait au couvent des carmélites.

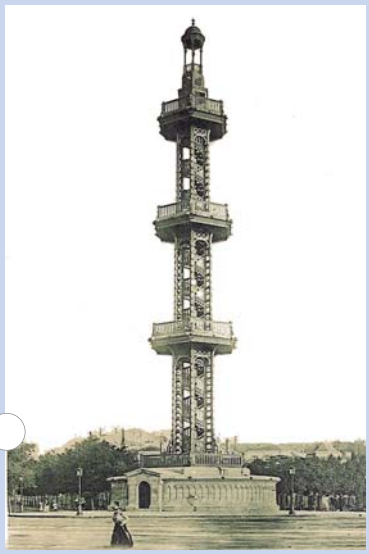
La loi de Darcy

Henry Darcy, polytechnicien, ingénieur des Ponts et Chaussées, est né à Dijon en 1803. Chargé de moderniser l'approvisionnement en eau de sa ville natale, il découvrit en 1856 la loi de l'écoulement de l'eau à travers un milieu poreux : "le volume débité est proportionnel à la charge et en raison inverse de l'épaisseur de la couche traversée", écrit-il. Autrement dit : plus la couche d'eau est importante, plus celle-ci percole rapidement dans le milieu vers le bas. Depuis sa formulation, la loi a évolué pour s'appliquer à d'autres milieux et d'autres fluides (huile, gaz).

Dans le schéma ci-contre, Q : valeur du débit ;
K : coefficient de perméabilité du milieu poreux ;
A : surface.



Le Puits de Grenelle



© Bibliothèque de l'Observatoire de Paris

À la fin du XIXe siècle, Paris connaît des problèmes d'eau : les sources locales sont largement insuffisantes et les eaux des rivières déjà fortement polluées. Le sous-sol profond de Paris est alors exploré par forage profond mécanique et l'on découvre un immense aquifère dans les calcaires du Mésozoïque. Un premier puits est foré au carrefour de Reuilly, sans succès. L'eau ne jaillit pas mais stagne à quelques mètres de l'embouchure. Sous l'impulsion de son maire, le géologue Arago, la ville de Paris confie la réalisation d'un forage à Louis-Georges Mulot (1792-1872) connu pour ses succès lors de précédents forages autour de Paris, en Normandie et en Touraine. Les travaux commencent le 24 décembre 1833, le lieu retenu pour le forage étant la cour de l'abattoir de Grenelle. Le matériel est rudimentaire, la force motrice vient d'un manège de chevaux, les outils se brisent régulièrement et il faut attendre huit ans pour voir enfin l'eau jaillir, le 26 février 1841. Louis-Georges Mulot a atteint une profondeur de 548 mètres, une réelle prouesse pour l'époque.

Le doyen des grands forages

En 1841, le puits de Grenelle produit 4 000 m³ par jour jaillissant du sol à 33 m de haut, avec une température de 27 °C. Au fur et à mesure de l'exploitation de la nappe, la production ne cesse de diminuer, en 1861 elle baisse à 775 m³ par jour et en 1903, le puits de Grenelle finit par être comblé.

Un métier d'avenir

Au milieu du siècle, la prise de conscience de l'importance des problèmes d'eau est faite. Elle entraîne la naissance d'un enseignement universitaire dédié à ce sujet. Les premiers hydrogéologues professionnels sont formés par l'Ecole nationale supérieure de géologie appliquée à Nancy, créée en 1945, ou par les 3e cycles universitaires : les premiers diplômes sont délivrés en 1959. En 1963, l'inventaire des ressources en eaux souterraines entre officiellement dans les compétences du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), jusqu'alors limitées à la recherche minière. Le métier d'hydrogéologue évolue : il ne se contente plus d'être un chercheur d'eau, il en est le gardien. L'hydrogéologue devient un spécialiste de la prospection, de l'évaluation et de la conservation des ressources ; il guide des projets d'exploitation et de gestion durable des eaux souterraines. Il étudie donc les nappes et l'influence des activités humaines sur celles-ci.

La connaissance des ressources conduit à une approche pluridisciplinaire : hydrogéochimie*, écologie des eaux souterraines, socio-économie, implantation de forages, gestion active, connaissance des liens avec les eaux de surface et les écosystèmes terrestres associés. Le plus souvent, l'hydrogéologue se spécialise dans un champ spécifique : géophysique, forage, géochimie, hydraulique. Il peut intervenir dans divers domaines : modélisation des nappes, géophysique, dépollution des eaux, système de pompage ou encore protection des travaux souterrains réalisés dans des aquifères.

Les hydrogéologues agréés

Le préfet désigne un “hydrogéologue agréé” chaque fois qu'il est nécessaire d'émettre un avis concernant la protection des eaux utilisées pour la production d'eaux destinées à la consommation humaine. Ces experts interviennent ainsi dans les procédures d'instruction des projets de captages des eaux d'alimentation publique, pour lesquels ils émettent un avis obligatoire portant sur la disponibilité en eau, la définition des périmètres de protection des captages, des servitudes et des actions d'accompagnement. La consultation d'un hydrogéologue agréé revêt également un caractère obligatoire dans d'autres cas tels que, par exemple, le rejet dans le sol d'effluents d'assainissement, l'inhumation en dehors des cimetières ou l'enfouissement de cadavres d'animaux.

La richesse cachée de la France

Si la France est très riche en eaux souterraines, leur qualité et leur quantité doivent faire l'objet de mesures de surveillance.

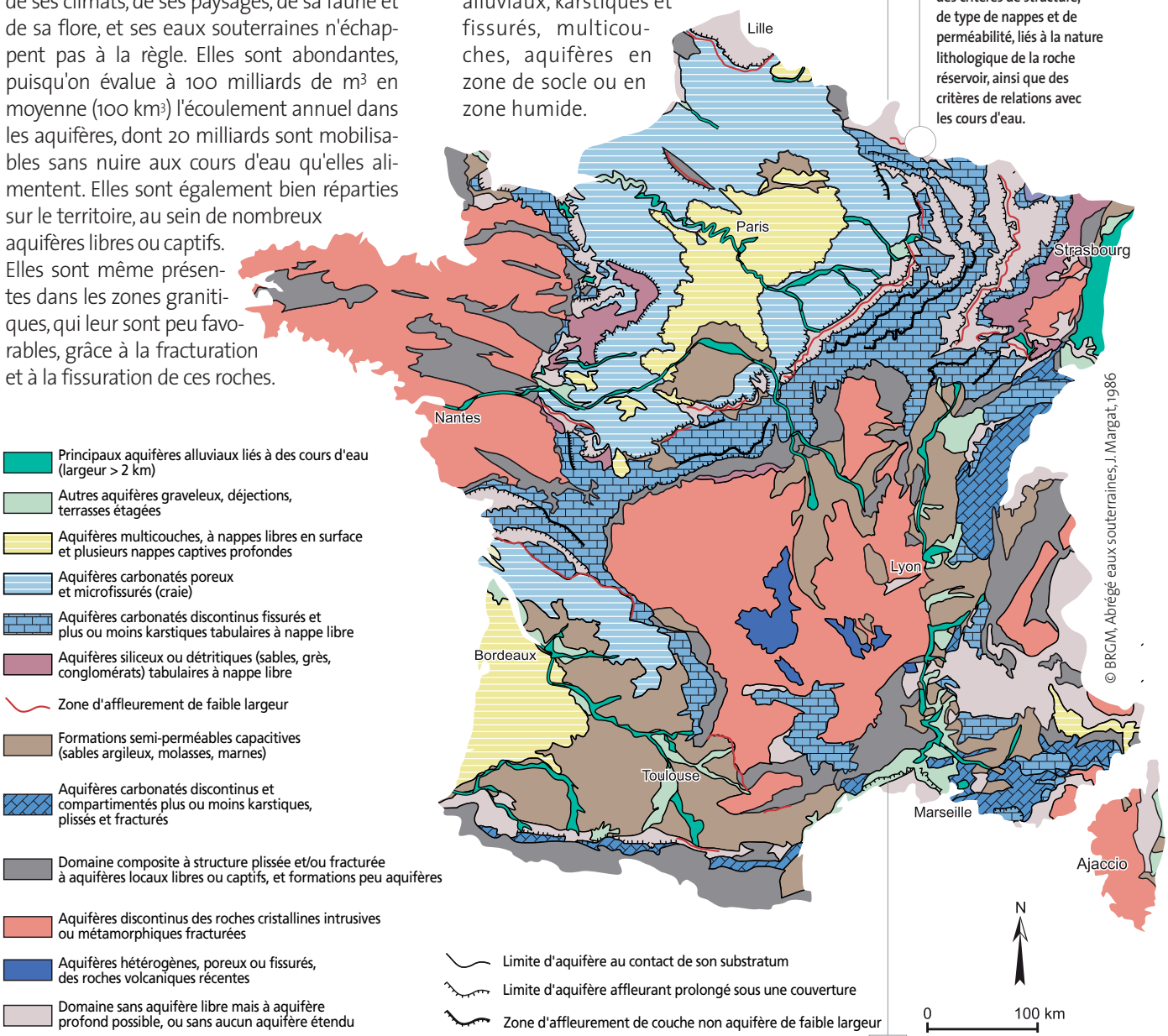
Des eaux de caractère

La France est une terre bénie pour la diversité de ses climats, de ses paysages, de sa faune et de sa flore, et ses eaux souterraines n'échappent pas à la règle. Elles sont abondantes, puisqu'on évalue à 100 milliards de m^3 en moyenne (100 km^3) l'écoulement annuel dans les aquifères, dont 20 milliards sont mobilisables sans nuire aux cours d'eau qu'elles alimentent. Elles sont également bien réparties sur le territoire, au sein de nombreux aquifères libres ou captifs. Elles sont même présentes dans les zones granitiques, qui leur sont peu favorables, grâce à la fracturation et à la fissuration de ces roches.

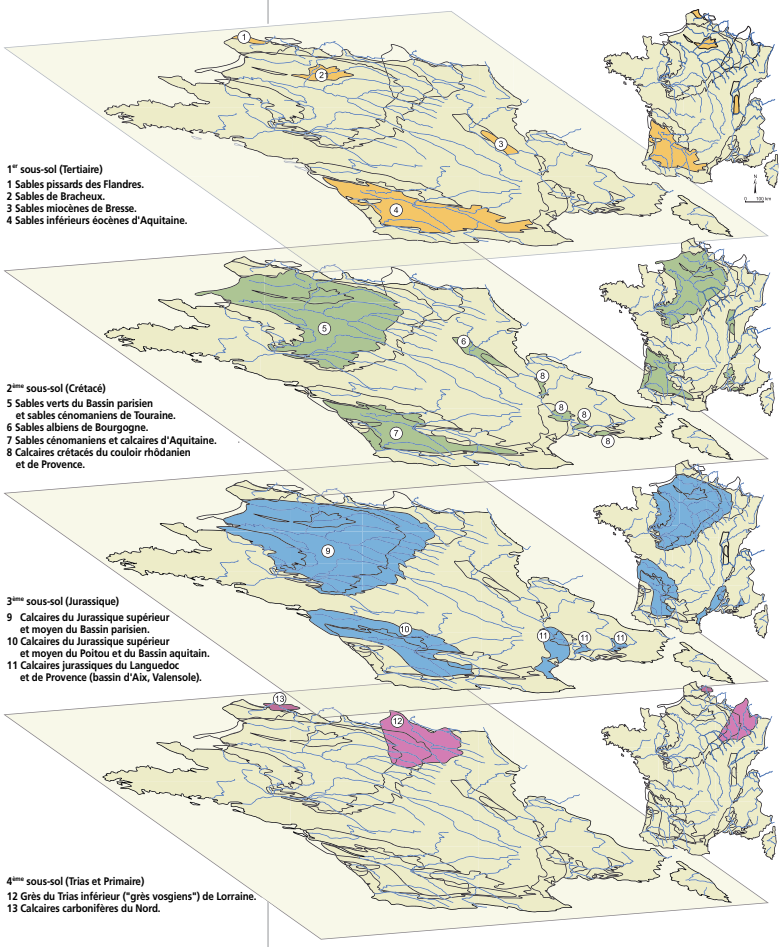
On a répertorié environ 6 500 aquifères distincts en France, qui peuvent être classés en aquifères libres ou captifs, aquifères alluviaux, karstiques et fissurés, multicouches, aquifères en zone de socle ou en zone humide.

CARTE HYDROGÉOLOGIQUE STRUCTURALE

Cette carte est basée sur des critères de structure, de type de nappes et de perméabilité, liés à la nature lithologique de la roche réservoir, ainsi que des critères de relations avec les cours d'eau.



© BRGM, Abrégé eaux souterraines, J. Margat, 1986



© BRGM, Abrégé sur les eaux souterraines, Jean Margat, 1986

Les grands aquifères captifs

Les grands bassins sédimentaires (Bassins parisien et aquitain) et, dans une moindre mesure, le couloir rhodanien, recèlent des couches d'une grande importance hydrogéologique et bénéficient d'une bonne protection contre les pollutions.

Environ 1 500 aquifères s'étendent sur plus de 10 km² de superficie, dont 200 aquifères d'importance régionale, offrant une taille allant de 100 km² à 100 000 km². Sur les 200, 25 nappes sont captives et 175 sont libres. La nappe des sables verts du Bassin parisien est l'une des plus importantes. Elle couvre 75 000 km² et contient 400 milliards de m³ d'eau. Elle s'écoule depuis les affleurements à la vitesse de 2 mètres par an (fuites par son toit et phénomène de drainance*).

Le concept de systèmes aquifères* est né de la rencontre entre le savoir naturaliste de l'hydrogéologue et la connaissance des lois physiques, qui régissent le comportement des eaux souterraines, formulées par l'hydraulicien. Un système aquifère* est circonscrit soit par des limites étanches, d'où il n'arrive aucun flux, soit par des limites ouvertes, qui lui permettent de communiquer avec le domaine des eaux de surface. À l'intérieur de cette entité, tout est potentiellement en relation, des prélèvements concentrés sur une aire géographique limitée peuvent parfois avoir des répercussions sur tout le système.

On classe les systèmes aquifères en cinq catégories :

- Aquifères monocouche à nappe libre prédominante (aquifères de la craie et quelques aquifères alluviaux étendus Alsace, Crau).
- Aquifères monocouche à nappe captive prédominante (aquifère des sables verts du Bassin de Paris, aquifère des grès du Trias de Lorraine).
- Aquifères multicouches avec ou sans nappe libre supérieure et flux de drainance* internes significatifs (Aquitaine occidentale, Beauce, Ile-de-France).
- Aquifères discontinus karstiques (aquifères perchés du Vercors, du Vaucluse ou du Larzac, ou à prolongement captif du Quercy).
- Aquifères alluviaux en liaison avec un cours d'eau (aquifère de la vallée du Rhône).

La base de données sur le référentiel hydrogéologique français (BDRHF®) rassemble les systèmes aquifères et les domaines hydrogéologiques comme entités hydrogéologiques, unités de fonctionnement du milieu souterrain.

Pour répondre à la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE), le territoire métropolitain a été divisé en huit districts et 503 masses d'eau* un concept fondé sur la structure des milieux naturels et sur des critères de gestion. 87 % des masses d'eau sont libres et 13 % captives.

Des eaux sans frontière

Au sein de l'Europe, la France a une place privilégiée grâce à la richesse et la diversité de ses eaux souterraines. Cependant, les nappes ne connaissent pas les frontières ; comme celles du Rhin et du Nord de la France, leur gestion fait l'objet de collaborations avec les pays frontaliers. Cela s'accompagne parfois de difficultés. Ainsi, la nappe des calcaires carbonifères, qui s'étend du

Hainaut occidental belge à l'agglomération de Lille-Roubaix-Tourcoing, est très sollicitée par les deux pays. La baisse de niveau en France est directement liée à la politique de prélèvement en Belgique. Elle pose le problème d'une alimentation à long terme à partir d'une nappe captive transfrontalière à la recharge très longue, les eaux souterraines de cette région ayant 15 000 ans.

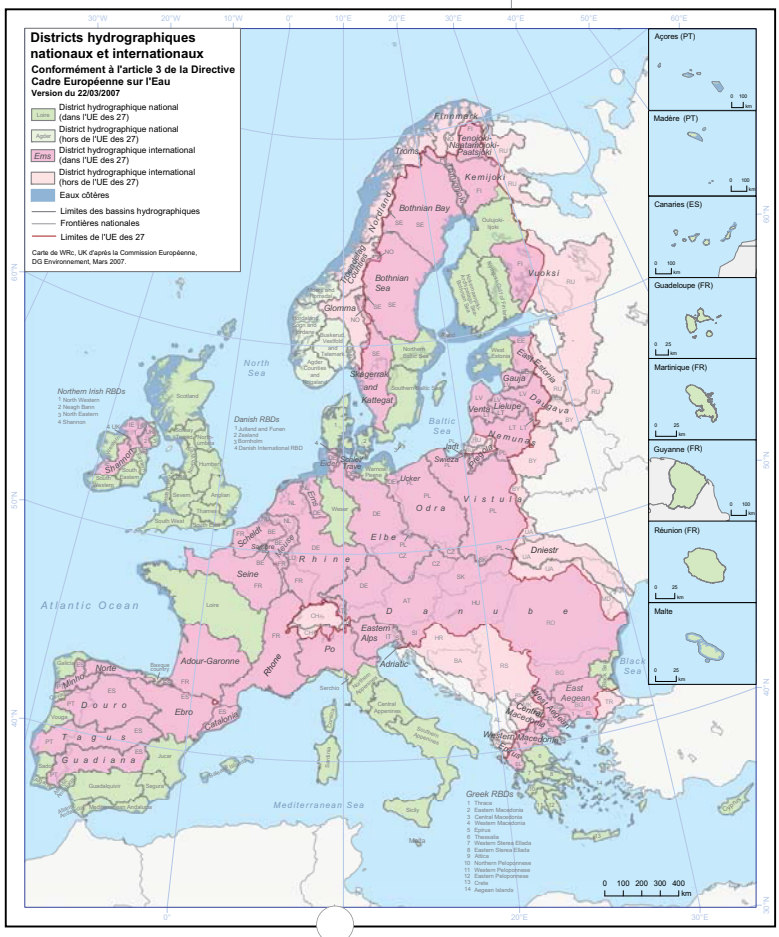
L'écoulement annuel des eaux souterraines dans quelques pays d'Europe

France :	100 km³	Gde-Bretagne :	9,3 km³
Norvège :	96 km³	Autriche :	6 km³
Allemagne :	47,7 km³	Portugal :	5,9 km³
Italie :	43 km³	Pays-Bas :	4,5 km³
Espagne :	30 km³	Danemark :	4,3 km³
Suède :	20 km³	Suisse :	2,5 km³
Irlande :	10,8 km³	Finlande :	2,2 km³
Grèce :	10,3 km³	1 km³ = 1 milliard de m³	

L'écoulement annuel des eaux souterraines dans les 10 pays les plus dotés

Brésil :	1 874 km³	Indonésie :	455 km³
États-Unis :	1 300 km³	Congo RD :	421 km³
Chine :	829 km³	Inde :	418 km³
Russie :	728 km³	Canada :	370 km³
Colombie :	510 km³	Pérou :	303 km³

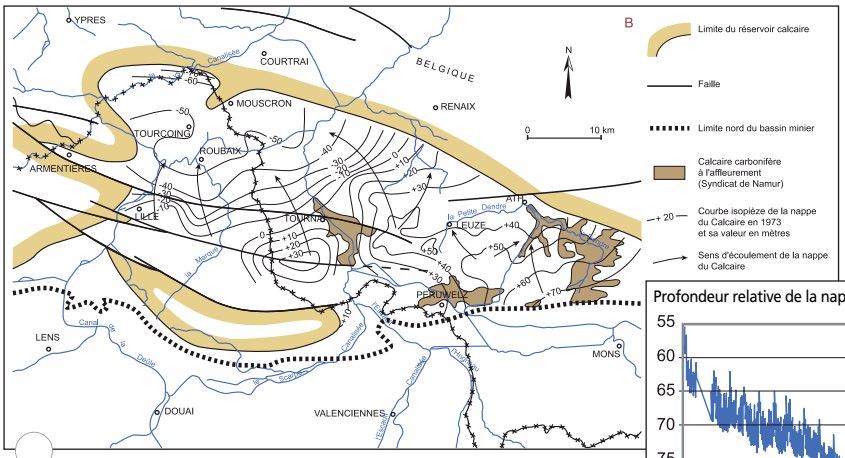
Chiffres Aquastat FAO, 2007



© UE

-Les districts hydrographiques de l'Europe

La directive-cadre européenne sur l'eau organise la gestion des ressources en eau dans le cadre de districts hydrographiques : "un district est composé d'un ou plusieurs bassins hydrographiques ainsi que des eaux souterraines et eaux côtières associées ; il est identifié comme principale unité aux fins de la gestion des bassins hydrographiques".

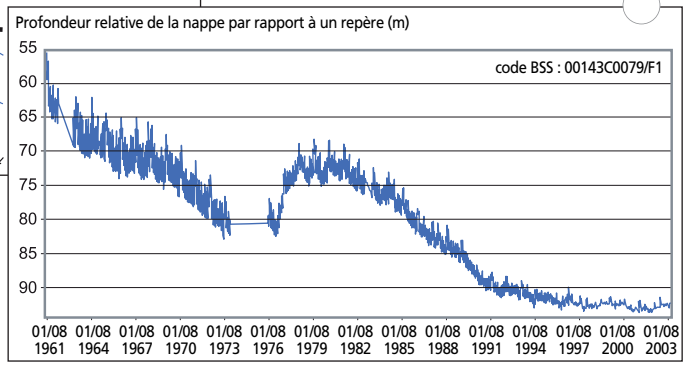


© J. Beckelynck et al, 1983

Nappe franco-belge

Le système aquifère des calcaires carbonifères s'étend du Hainaut occidental belge à l'agglomération de Lille-Roubaix-Tourcoing. Son utilisation par les deux pays, débutée à la fin du XIXe siècle, pose aujourd'hui un problème de gestion de l'exploitation à long terme.

Variations piézométriques des Calcaires carbonifères à Bondues (près de Tourcoing)



Mieux connaître : capter, mesurer, modéliser, comprendre

Chapitre I.4

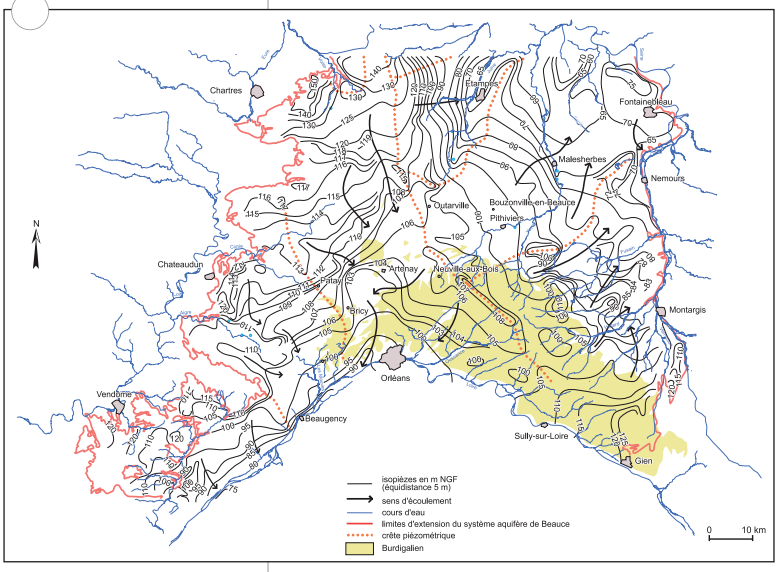
Plusieurs moyens permettent d'observer les eaux souterraines sur le plan quantitatif et qualitatif, et de nombreux aquifères sont aujourd'hui dotés d'un modèle de gestion.

L'exploitation d'un aquifère nécessite une bonne connaissance hydrogéologique du terrain, avec l'appui de cartes piézométriques, de cartes donnant les épaisseurs et profondeurs de la nappe, et les paramètres hydrauliques et hydrochimiques. Ces données permettent d'évaluer la ressource en fonction des critères d'exploitabilité, de la qualité du flux et du stock disponible. Suivant les besoins, il peut alors être décidé d'utiliser les eaux souterraines, soit par captage à leur source d'émergence, soit par forages ou puits répartis sur la surface du territoire couvert par l'aquifère.

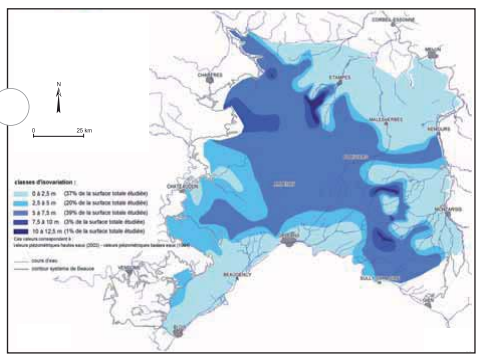
La gestion d'un aquifère requiert les mêmes informations que l'évaluation de la ressource, mais d'autres données, socio-économiques par exemple, sont nécessaires pour permettre une gestion durable. Un suivi géologique s'impose, avec des coupes de forage, car la géologie du sous-sol peut évoluer et un terrain poreux peut être suivi d'une couche imperméable. Il faut également surveiller l'évolution des niveaux et des flux. Les informations sont obtenues grâce à des piézomètres, qui donnent le niveau de l'eau, et à des stations de jaugeage* où des compteurs de débit mesurent son flux. Le suivi de la qualité des eaux souterraines est plus exigeant. Certaines mesures doivent être réalisées sur place car les substances dosées sont fugaces et sont représentées à

Carte piézométrique de la Beauce

Le système aquifère de Beauce, qui s'écoule vers le bassin de la Seine ou vers celui de la Loire, est suivi très attentivement depuis le début des années 70 par un réseau de mesures* de plus de 50 points.



© BRGM,1995



© DIREN Centre et DIREN Île-de-France, 2003

Évolution de l'aquifère

L'étude des isovariations de la piézométrie de la nappe de Beauce, ici entre les basses eaux de 1994 et les hautes eaux de 2002, permet de suivre l'évolution du niveau et les effets d'inertie.

© BRGM Im@gé

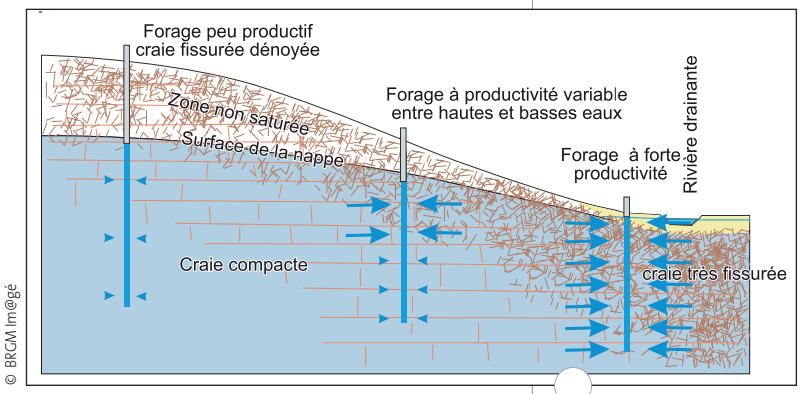
Mesure de débit

Le micro-moulinet permet de mesurer le débit d'une source.

de très faibles concentrations. Ce suivi est aussi plus coûteux pour analyser les nombreux paramètres préconisés par les textes réglementaires. Le contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine relève de la compétence de l'État et comprend, notamment, des prélèvements et des analyses d'eau réalisés par les services déconcentrés en charge de la santé. Les agences de l'eau se chargent de développer des réseaux spécifiques de contrôle, afin de détecter les pollutions dès leur origine.

Le suivi quantitatif de la ressource

Le suivi piézométrique sur de longues périodes permet de connaître l'évolution du niveau des nappes et facilite leur modélisation dans des scénarios prospectifs. Les premières mesures piézométriques en France ont été le fait d'industriels – la sucrerie de Toury (Eure-et-Loir) en 1870 ou les Chemins de fer du Nord en 1904. Le premier réseau de surveillance d'État date, lui, de 1956. Il a été mis en place par le BRGM dans le Nord-Pas-de-Calais. Depuis, ces réseaux piézométriques se sont étendus. Il existe actuellement en France métropolitaine près de 2 500 piézomètres. Les hydrogéologues participent depuis longtemps au lever des cartes piézométriques*.



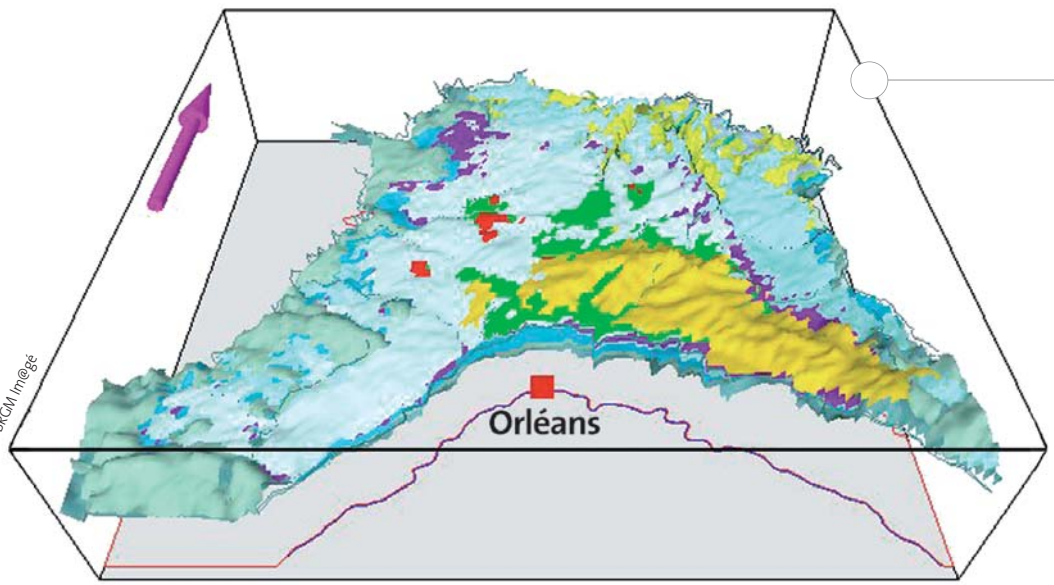
© BRGM Im@gé

Aquifère dans la craie

La productivité d'un ouvrage est liée à la topographie : les forages sont dénoyés sous les plateaux et saturés dans les vallées avec cours d'eau.

Modéliser pour prévoir

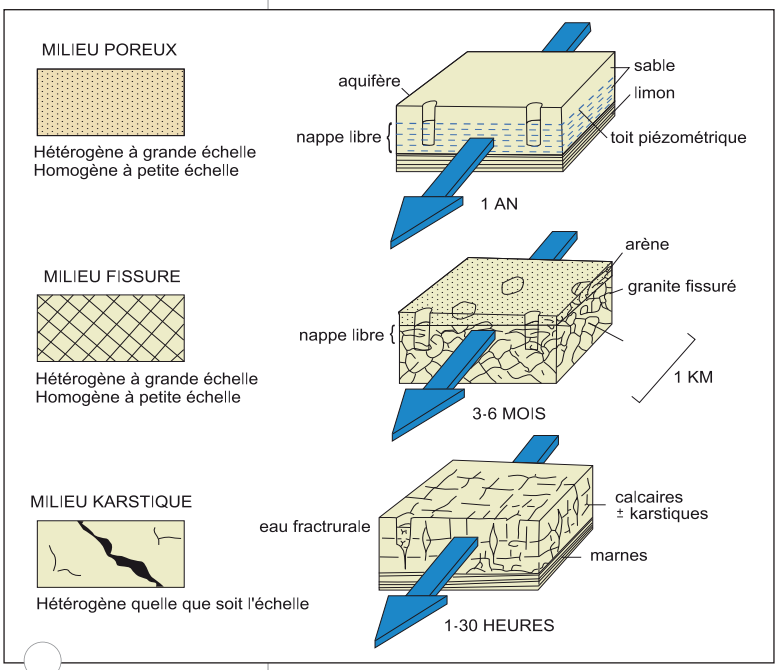
En hydrogéologie, les décisions doivent être prises en anticipant les comportements de la nappe. Mais, bien que son suivi à long terme permette de discerner les tendances lourdes de surexploitation* ou de dégradation des eaux, aucune formule simple n'est capable de définir précisément son état futur, du fait de la complexité des réservoirs aquifères et du régime des eaux souterraines. Les modèles mathématiques permettent de réaliser des prédictions en fonction d'un ou de plusieurs paramètres – par exemple, en fonction des précipitations, on pourra prédire le niveau d'une nappe en un point, ou sa teneur en nitrate, en supposant que la nappe réagira toujours de la même manière.



© BRGM Im@gé

Modélisation 3D de la nappe de Beauce

La nappe de Beauce est un système aquifère complexe de nappes superposées et reliées entre elles. Les modèles 3D permettent d'en optimiser l'exploitation à long terme.



© adapté de C.Drogue,1971

La vitesse d'écoulement est liée à la perméabilité* de l'aquifère

Le transfert d'un même volume d'eau sur une même distance (de l'ordre du kilomètre) peut nécessiter quelques années en alluvions et en milieu poreux, quelques mois en milieu fissuré* et quelques jours, voire quelques heures, en milieu karstique.

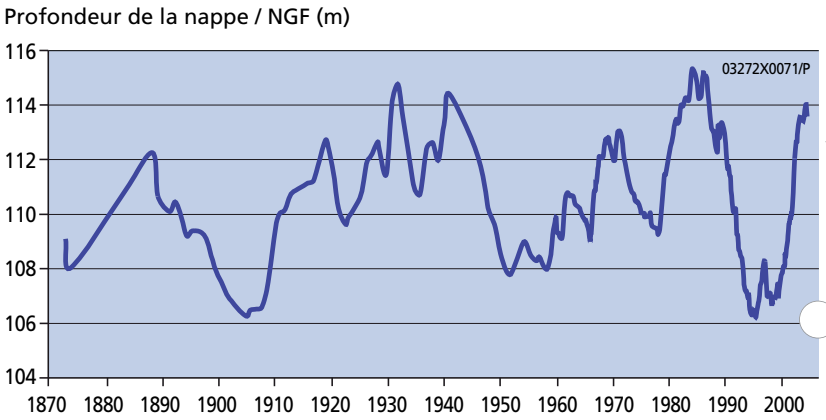
C'est la technique de la "boîte noire", dont la portée reste limitée. Les simulateurs d'écoulements souterrains donnent des prévisions plus fiables. Dans un premier temps, les hydrogéologues ont travaillé avec des maquettes hydrauliques (modèles dits "physiques"), reconstituant à une échelle réduite les phénomènes à étudier. Ces installations sont aujourd'hui remplacées par des logiciels de simulation (ils sont soit déterministes, dès lors que l'on connaît les modalités de percolation ou les écoulements, soit stochastiques ou probabilistes, en l'absence de connaissances réelles des phénomènes). Les caractéristiques de l'aquifère sont informatisées et traitées au sein d'un système de maillage serré. Actuellement, les méthodes de modélisation permettent de prédire l'influence de prélèvements ou d'aménagements sur l'état d'une nappe souterraine, le cheminement et la vitesse de propagation d'un polluant, ainsi que la concentration en sel de la nappe. Le couplage avec des données économiques permet également de réaliser des modèles d'aide à la décision.

Les modèles de gestion, quant à eux, sont des modèles de simulation hydrodynamique* assez représentatifs, qui précisent les contraintes à respecter par les scénarios d'exploitation.

© J.-C. Roux

Piézomètre

Ce dispositif sert à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un système aquifère. Il indique la pression en ce point, en permettant l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression.



© DIREN Centre et Île-de-France

Fluctuations piézométriques de la nappe de Beauce à la Sucrerie de Toury (28)

Les deux plus fortes baisses de niveau de la nappe connues ont été enregistrées en 1906 et en 1993 suite à plusieurs années sèches consécutives. On note que les niveaux sont équivalents, alors qu'au début du XXe siècle, les prélèvements en nappe étaient quasiment nuls.

Partie II

Une eau de qualité et en quantité suffisante pour de multiples usages

© BRGM Im@gé

Les eaux souterraines, très abondantes sur le territoire national, offrent généralement une eau de meilleure qualité que les eaux de surface. Toutefois, en raison de leur processus de renouvellement très lent, elles sont particulièrement vulnérables.

Des eaux précieuses

Les eaux souterraines sont-elles bien exploitées ?

Les qualités des eaux souterraines en France

Des eaux précieuses

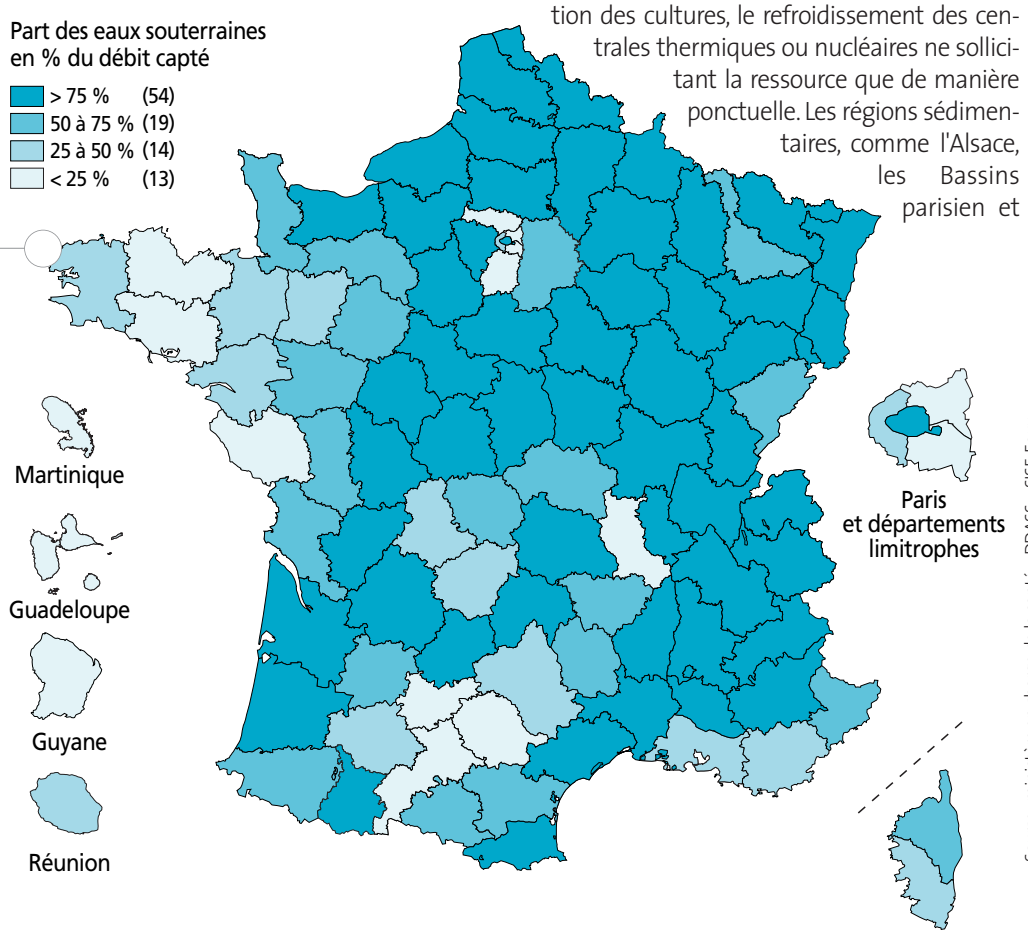
Chapitre II.1

Les eaux souterraines prélevées servent à de nombreux usages, depuis l'approvisionnement en eau potable domestique, jusqu'au chauffage des habitations.

Les usages de l'eau

Chaque année, en moyenne environ 34 milliards de m³ d'eau sont prélevés en France pour satisfaire les activités humaines (production d'eau potable, industrie, irrigation, refroidissement des centrales de production d'électricité, etc.). Les eaux souterraines représentent 19 % de ce volume, soit 6 milliards de m³. Comparé aux 100 milliards de m³, qui alimentent en année moyenne les aquifères, ce chiffre semble dérisoire. Mais cette répartition est variable d'un secteur, ou d'une région à l'autre ; ainsi certaines nappes (Éocène bordelais, Calcaire carbonifère du Nord) sont très sollicitées et leur niveau baisse régulièrement. Un prélèvement dans une nappe n'a en effet pas les mêmes conséquences qu'un prélèvement en rivière. Les eaux usées sont rejetées en rivière, et non dans les nappes, même si celles-ci récupèrent les eaux de fuites de réseau et une partie des eaux d'irrigation.

Sur les 6 milliards de m³ puisés chaque année, plus de la moitié est destinée à la production d'eau potable. Cette prédominance est liée à la qualité des eaux souterraines en général beaucoup moins polluées que les eaux de surface, et qui sont surtout de qualité constante. Le volume restant sert à l'industrie et à l'irrigation des cultures, le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires ne sollicitant la ressource que de manière ponctuelle. Les régions sédimentaires, comme l'Alsace, les Bassins parisien et



Origine des eaux utilisées pour la production d'eau potable par département

Plus de 95 % des captages pour la production d'eau potable prélèvent de l'eau dans les nappes. Au total, la part des eaux souterraines représente 67 % du volume total prélevé pour cet usage ; elle est majoritaire (plus de 50 % des volumes captés) dans 73 départements.

Source : ministère en charge de la santé – DDASS – SISE-Eaux.

Usages	Volumes prélevés	
	En millions de m³	% par rapport au total
Production d'eau potable	3 713	59
Industrie	1 480	23
Irrigation	1 110	18
Production d'énergie	19	< 0,5
Total	6 322	

Source : agences de l'Eau - SIE

aquitain ou encore la vallée du Rhône, qui disposent d'importantes réserves, font largement appel aux eaux souterraines, contrairement aux régions de socle (Alpes, Bretagne, Corse, Massif Central) qui puisent davantage dans leurs cours d'eau.

Les eaux minérales naturelles

Chaudes, salées, pétillantes ou ferrugineuses, les eaux minérales naturelles* (définies aux articles R. 1322-2 et 3 du code de la santé publique), constituent une richesse que se partagent 104 stations thermales en France. C'est au cours de son long cheminement dans le sous-sol, que l'eau acquiert, peu à peu, par échange avec les roches, sa température et sa minéralisation, pour devenir un produit tout à fait original, qui émerge en une source ou un forage. Parmi les eaux minérales courantes, certaines sont toutes jeunes, de quelques mois à plusieurs dizaines d'années. Dans la région d'Evian (Haute-Savoie) par exemple, l'eau ne met qu'entre 15 et 40 ans pour accomplir son voyage souterrain, alors qu'elle chemine pendant plus de 50 ans dans le pays de Contrexéville (Vosges). Certaines sont très âgées : près de 20 000 ans pour les sources de

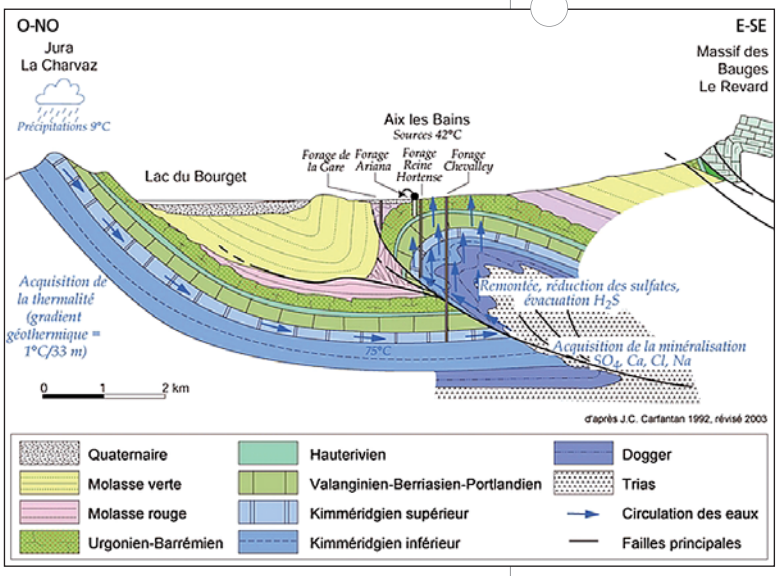
© Villes-et-villages-fleuris.com

Station thermale en Auvergne

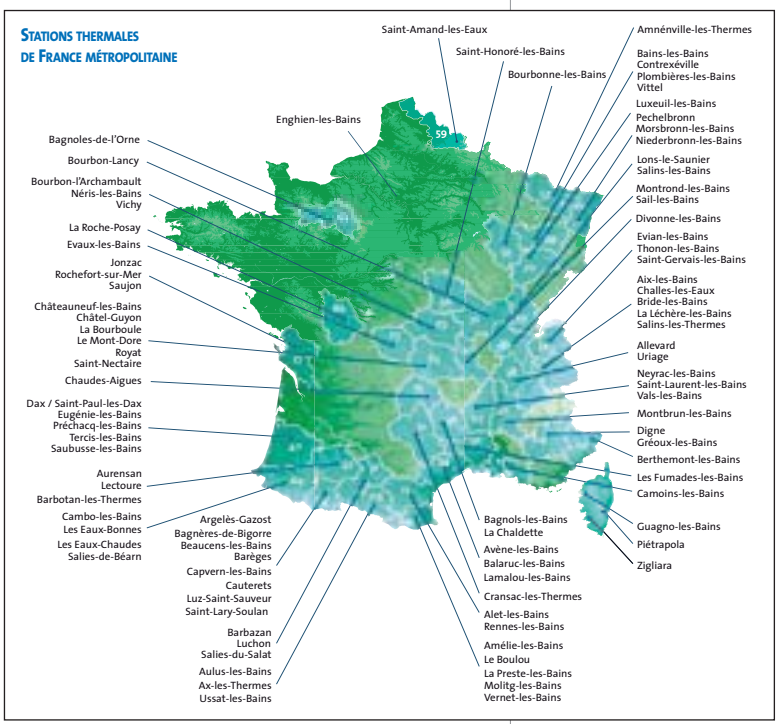
Chaque année, plus de 500 000 curistes séjournent en moyenne 18 jours dans les stations thermales. Avec plus de 700 sources émergentes connues, dont 400 sont exploitées, la France représente 20 % du capital thermal européen.

Circulation des eaux thermales

Les eaux thermales d'Aix-les-Bains passent sous le lac du Bourget. Elles sont alimentées par les précipitations sur les montagnes.



© G. Nicoud, A. Paillet, laboratoire Edytem, d'après J.-C. Carfatan



© CNETH

© Musée du Pays de Retz

On a longtemps attribué aux eaux ferrugineuses "le mérite de prévenir l'alcoolisme" car on disait qu'elles "remplaçaient le fer que contenait l'alcool".

Source de Vic-sur-Cère (Cantal)

En 2007, la France est le 5e consommateur d'eau embouteillée en Europe avec 122 litres/an/habitant, derrière l'Italie (198), l'Allemagne (156), l'Espagne (136) et la Belgique (129).

Luchon (Haute-Garonne) ou d'Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales), qui jaillissent à 75 °C. Les eaux minérales font parfois un circuit jusqu'à 5 km de profondeur, ce qui les protège de la pollution, mais elles ne sont pas exemptes de tout problème. Le danger se trouve à l'émergence de la source car les sources exploitées sont souvent insérées dans un tissu urbain. Pour éviter le risque de pollution, on définit des périmètres de protection en surface, dits "périmètres sanitaires d'émergence", et il est nécessaire de capter ces eaux par forage à une profondeur telle que la chute de pression qui se produit près de la surface n'ait pas encore permis aux eaux superficielles polluées de pénétrer dans les conduits thermaux. Les eaux dites "de source" font partie d'une autre catégorie. Malgré leur dénomination, elles sont souvent captées par forage. Elles ne sont pas reconnues sur la base de propriétés thérapeutiques, mais sur des critères de potabilité. La vente d'eau embouteillée a connu une forte croissance jusqu'au début du XXIe siècle, même si les eaux de source conditionnées (article R. 1321-84 du code de la santé publique), ne possèdent aucune qualité supérieure à la plupart des eaux du robinet en France et que certaines eaux minérales dépassent certains critères de potabilité définis par le code de santé publique.

© DR

Chaîne d'embouteillage d'eau minérale

Il existe en France 110 marques d'eaux plates, gazeuses ou aromatisées. L'eau plate représente environ 84 % du marché en volume et seulement 50 % en valeur.

© Volvic

PAC sur eaux souterraines

Actuellement, des études sont en cours sur les éventuels impacts des forages des pompes à chaleur sur aquifères, ainsi que sur la surexploitation thermique des nappes alluviales en milieu urbain.

© EnBW Energie Baden-Württemberg AG

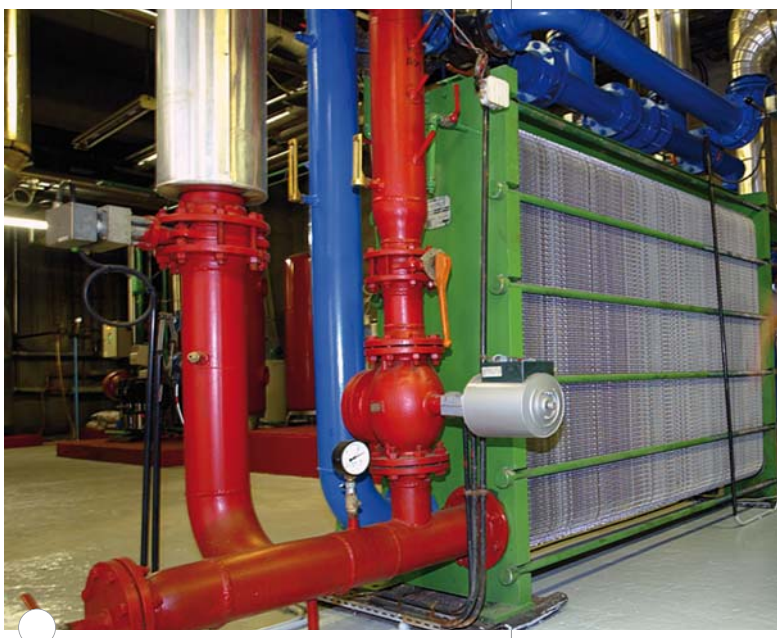
Les eaux géothermales

La géothermie constitue une autre application des eaux souterraines. La température augmentant en moyenne de 3,3 °C par 100 mètres de profondeur, il s'agit d'utiliser l'eau chauffée par la chaleur du sous-sol. L'eau chaude captée est utilisée pour le chauffage

et la vapeur pour fabriquer de l'électricité. Les ressources géothermales haute température permettant la production d'électricité existent en France, dans les départements d'outre-mer, associées à l'activité volcanique actuelle ou récente de ces régions. C'est d'ailleurs en Guadeloupe que se trouve la centrale électrique géothermique de Bouillante ; d'une puissance installée de 15 MW, elle produit 7 % des besoins en électricité de l'île.
En métropole, on expérimente une nouvelle technique : l'injection d'eau en profondeur dans des roches chaudes et sèches fracturées. Un programme de recherche a démarré en 1987, à Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin), dans le cadre d'une collaboration européenne, avec la perspective de piéger de la vapeur pour fabriquer de l'électricité. Une centrale expérimentale d'une puissance installée de 1,5 MW a été mise en service en 2008.

Mais, en attendant, plus près de la surface, le sous-sol de notre pays est riche d'une chaleur diffuse aujourd'hui exploitée, par 65 installations géothermales à puits unique, à doublet ou triplet. Destinées pour l'essentiel aux réseaux de chaleur urbains, elles assurent la couverture des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire d'environ 200 000 logements. Dans ces centrales géothermiques, l'eau chaude est prélevée dans les couches profondes de la nappe et doit être aujourd'hui obligatoirement réinjectée dans le sous-sol après extraction d'une partie de ses calories. Cette règle est destinée à permettre le renouvellement de la nappe.

Les nappes d'eau souterraine jusqu'à 100 m de profondeur, associées à des pompes à chaleur géothermiques, sont de plus en plus utilisées à des fins de chauffage ou de refroidissement des bâtiments. L'installation comporte en général deux puits : l'un, dit de production, sert à prélever l'eau, l'autre, dit de réinjection et situé à plus de 10 m du précédent, évite le rejet en surface de l'eau prélevée dans l'aquifère. L'installation de pompes à chaleur géothermiques sur aquifères est soumise à déclaration, pour éviter qu'un système mal contrôlé dégrade les eaux souterraines.



© SEMHACH

Centrale géothermique

Dans cet échangeur de chaleur à plaques, le fluide géothermal cède sa chaleur à un circuit d'eau, qui distribue la chaleur aux utilisateurs.

© BRGM Im@gé

Centrale géothermique de Bouillante (Guadeloupe)

Avec une production de 15 MW, la centrale assure aujourd'hui 7 % des besoins en électricité de la Guadeloupe, part qui devrait s'accroître avec les potentialités qu'offre le réservoir géothermique de Bouillante.

Les eaux souterraines sont-elles bien exploitées ?

D'un point de vue quantitatif, le risque de pénurie d'eau est relativement inexistant à l'échelle nationale, mais les besoins sont variables selon les saisons et les régions.

Des pluies abondantes

En France et, plus généralement, en Europe, les besoins en eau sont normalement couverts par la ressource. Ainsi, chaque année, le volume prélevé dans les nappes pour satisfaire les besoins des activités humaines sur le territoire est inférieur aux réserves exploitables. La recharge des nappes est essentiellement tributaire des eaux de pluie. Les précipitations totales ont tendance à augmenter depuis 1946, avec une alternance d'années pluvieuses et sèches. L'augmentation – mesurée principalement en hiver et en automne – a lieu dans les parties ouest et nord du pays, les parties sud et sud-est affichant plutôt une baisse.

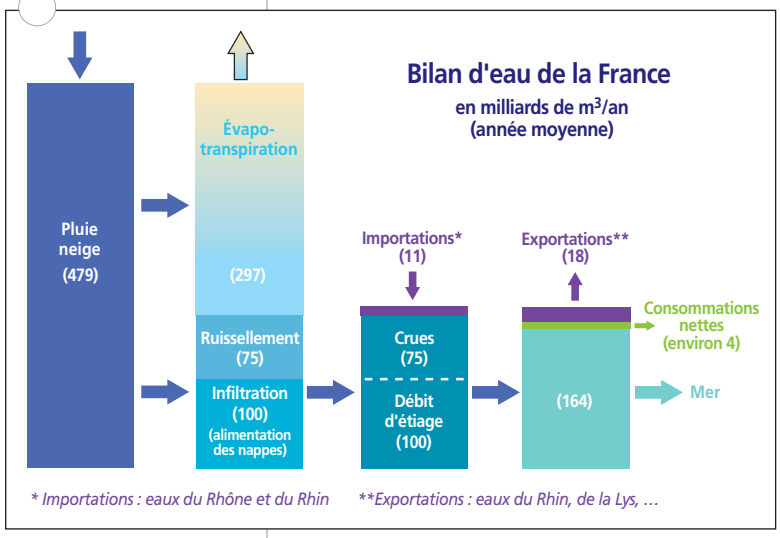
La nouvelle moyenne annuelle des précipitations en France métropolitaine s'élève à 479 milliards de m³. Alors que les deux tiers de la pluie repartent dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau, les pluies efficaces*, celles qui rechargent les nappes, ne représentent que le tiers restant. Le devenir d'une eau de pluie diffère en fonction de nombreux facteurs : le volume et la durée de la précipitation, la saison (température, ensoleillement), la pente du terrain et sa nature.

Les eaux de ruissellement contribuent à l'alimentation des cours d'eau et au déclenchement des crues. Mais seule la partie de l'eau qui n'a pas ruisselé pénètre de plus en plus profondément dans le sous-sol. Son degré d'infiltration* dépendra de la perméabilité*, des fissures de la roche et de l'état de la végétation. Le rôle de cette dernière est déterminant. Au printemps et en été, les radicelles des végétaux, par leur succion très puissante, extraient l'eau, qui est ensuite évaporée par les feuilles. La grande majorité de l'apport pluvial est ainsi repris pendant ces saisons, où la végétation est très active : 297 milliards de m³ d'eau de pluie regagnent ainsi l'atmosphère par évapotranspiration, sauf dans les massifs karstiques.

La ressource en eau concerne les flux et non les stocks. Ainsi, comme le montre le schéma du cycle de l'eau ci-contre, le volume moyen annuel total des eaux renouvelables en France est de 182 milliards de m³, en ajoutant l'écoulement entrant des cours d'eau des pays voisins (11 milliards de m³) et en enlevant l'écoulement sortant par les cours d'eau frontaliers (18 milliards de m³). Les ressources internes s'élèvent donc à 175 milliards de m³ dont 100 servent à l'alimentation des aquifères. 164 milliards de m³ rejoignent finalement les eaux marines et 4 sont évaporés par les activités anthropiques (consommations nettes).

Le cycle de l'eau en France métropolitaine

100 milliards de m³ s'infiltrent et renouvellent les eaux souterraines avant de rejoindre les eaux superficielles en alimentant les sources et en contribuant aux débits d'étiage des rivières et aux crues des nappes.



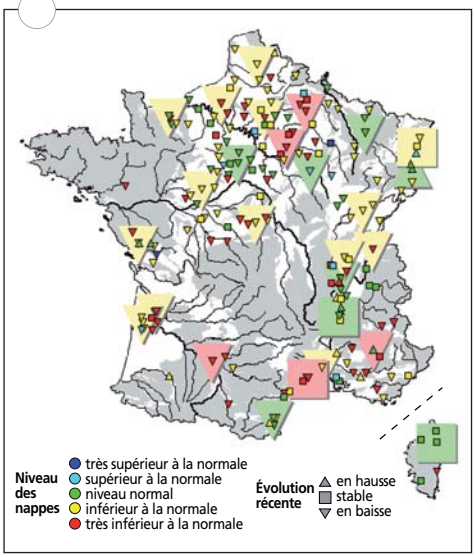
Source : MEEDDM - SIE - IFEN, 2006

Quand la pluie fait défaut

C'est essentiellement entre l'automne et le début du printemps que les nappes se rechargent. Au cours de l'été, même en cas de fortes pluies, aucune infiltration ne se produit.

Situation des nappes

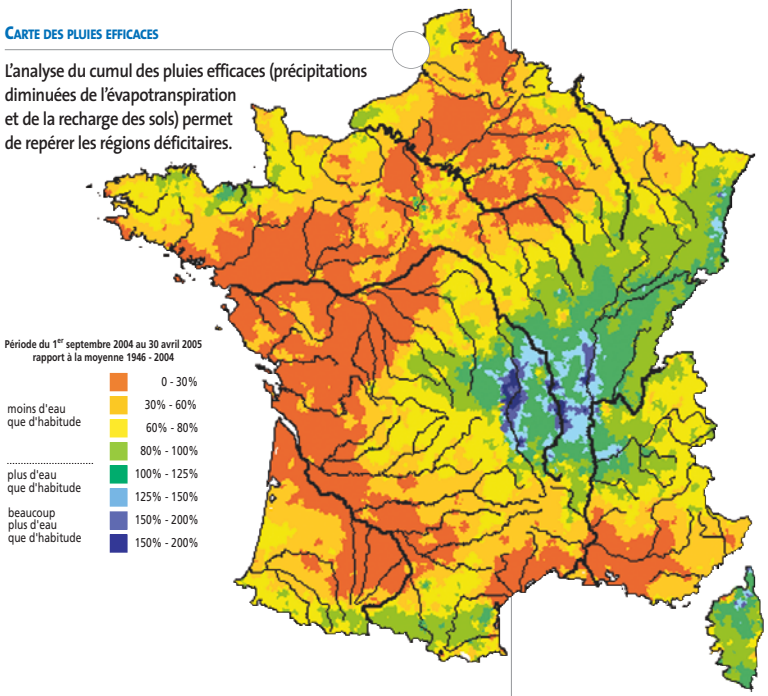
Ce type de carte actualisée chaque mois (*www.eaufrance.fr*) permet de suivre l'évolution du niveau des nappes.



© BRGM / ADES

Carte des pluies efficaces

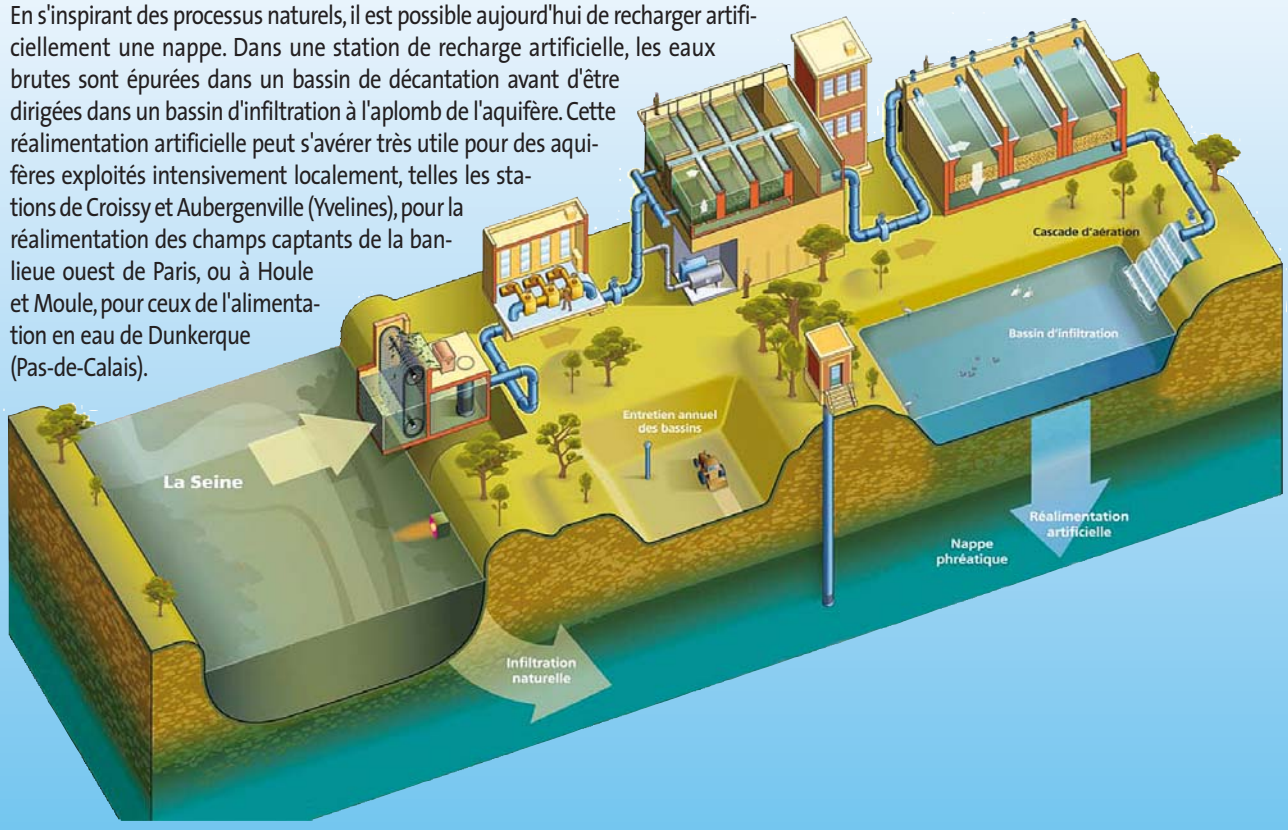
L'analyse du cumul des pluies efficaces (précipitations diminuées de l'évapotranspiration et de la recharge des sols) permet de repérer les régions déficitaires.



© Météo France

Réalimentation artificielle

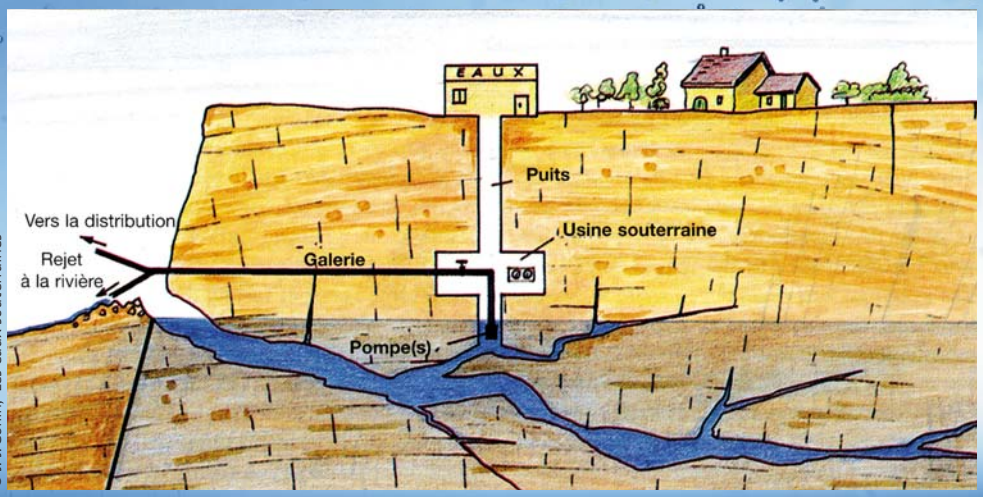
En s'inspirant des processus naturels, il est possible aujourd'hui de recharger artificiellement une nappe. Dans une station de recharge artificielle, les eaux brutes sont épurées dans un bassin de décantation avant d'être dirigées dans un bassin d'infiltration à l'aplomb de l'aquifère. Cette réalimentation artificielle peut s'avérer très utile pour des aquifères exploités intensivement localement, telles les stations de Croissy et Aubergenville (Yvelines), pour la réalimentation des champs captants de la banlieue ouest de Paris, ou à Houle et Moule, pour ceux de l'alimentation en eau de Dunkerque (Pas-de-Calais).



© Lyonnaise des Eaux

Gestion active

La gestion active des eaux souterraines consiste à amplifier le rôle régulateur de la réserve d'un aquifère en modulant le régime d'exploitation : prélèvements accrus en saison ou année sèche, compensés par des réductions d'émergence en hiver ou en année humide. L'aquifère est ainsi "manœuvré" à l'instar d'un réservoir de barrage. Les cas d'exploitation par gestion active restent aujourd'hui des exceptions. Cette méthode de mise en valeur est cependant réalisée en France depuis 20 ans, sur l'aquifère karstique de la source du Lez, qui alimente Montpellier en eau potable. Elle est également en voie de mise en œuvre dans la Drôme et la région de Millau (Aveyron).



© J.-J. Collin, "Les eaux souterraines"

Captage profond de la source du Lez pour la ville de Montpellier.

Les sécheresses graves des années 1976, 1989, 1992, 2003 et 2005 ont été essentiellement dues à la succession de précipitations hivernales insuffisantes pour recharger les nappes, lesquelles n'ont pas pu assurer à leur tour l'alimentation des eaux superficielles. Quand la recharge des nappes ne peut avoir lieu, c'est tout le système des eaux de surface qui est perturbé, la plupart des systèmes aquifères étant interconnectés avec ce réseau, sur lequel s'opèrent des échanges d'alimentation ou de drainage.

En période de sécheresse, le prélèvement dans les nappes doit donc faire l'objet d'une gestion raisonnable car il a des répercussions sur le débit des sources, des rivières et sur les étangs littoraux, déjà affaiblis. Ces perturbations peuvent aller de la baisse de niveau des cours d'eau jusqu'à leur assèchement, provoquant de graves préjudices aux écosystèmes qui en dépendent.

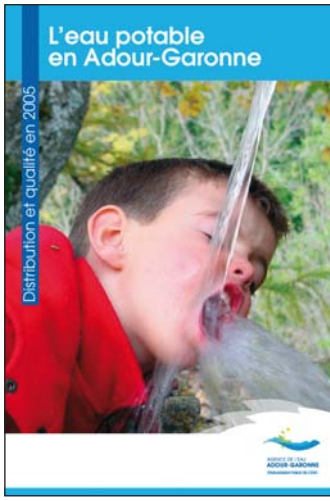
En année déficitaire, dans certaines régions, la ressource se trouve donc temporairement limitée et ne peut couvrir tous les besoins. Des choix doivent être faits. Les besoins essentiels sont assurés mais certains prélèvements estivaux (arrosage des jardins, remplissage des piscines, lavage des voitures) font l'objet de restrictions réglementaires.

La qualité des eaux souterraines en France

L'eau nécessite presque partout en France un traitement pour être adaptée à la consommation humaine.

La santé au fil de l'eau

La qualité d'une eau se définit le plus souvent par rapport à l'usage qu'on en fait. Les exigences de qualité sont différentes si l'eau est destinée à la production d'eau potable ou à un usage industriel. On peut également évaluer la qualité de l'eau par rapport à son état d'origine (état patrimonial). Il n'existe donc pas une qualité mais des qualités de l'eau, selon l'usage et les exigences qui lui correspondent. Cependant, dès lors que 62 % des volumes prélevés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, en France, sont issus des eaux souterraines, la qualité de référence d'une nappe est généralement calculée en fonction de son aptitude à produire de l'eau potable et sa qualité est directement liée à la santé humaine. L'accès à une eau de boisson saine et sûre est un droit fondamental, dont sont encore privés plus d'un milliard d'êtres humains sur Terre. Chaque année, près de 3,5 millions de décès dans le monde sont imputables à l'insuffisance d'eau et d'assainissement. Dans les sociétés occidentales, le traitement des eaux d'alimentation et la protection des captages ont permis, en même temps que la collecte et le traitement des eaux usées, l'éradication progressive des grandes épidémies (choléra, dysenterie, typhoïde, ...). Mais cette conquête de l'eau saine ne s'est pas faite en un jour. En France, il a fallu un siècle (1850-1950) pour que le message de Pasteur soit entendu : "Nous buvons 90 % de nos maladies", disait-il. En outre, en ce domaine rien n'est définitivement acquis. Des cas épidémiques de gastro-entérites d'origine bactérienne et virale, dus à des pollutions accidentelles par des matières fécales, rappellent que le moindre relâchement dans les contrôles peut conduire rapidement au développement de troubles pour la santé. Cependant, en règle générale, les eaux souterraines sont plus saines que les eaux de surface.

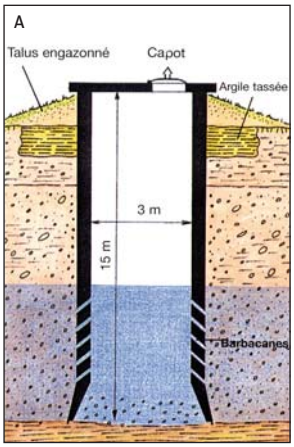


Document d'information sur la qualité de l'eau potable

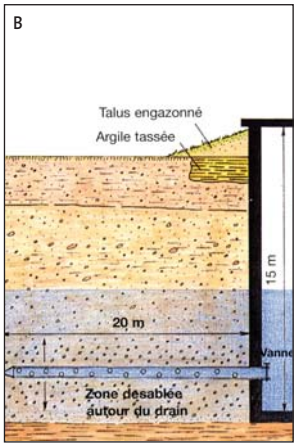
La directive-cadre européenne sur l'eau met l'accent sur l'accès à l'information, la consultation, la concertation et la participation effective du public au processus décisionnel.

Principaux types d'ouvrages de captage.

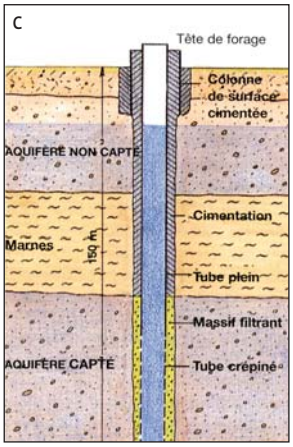
A : puits classique en nappe alluviale



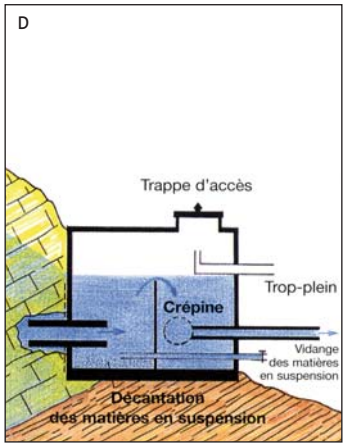
B : puits à drains rayonnants (demi coupe)



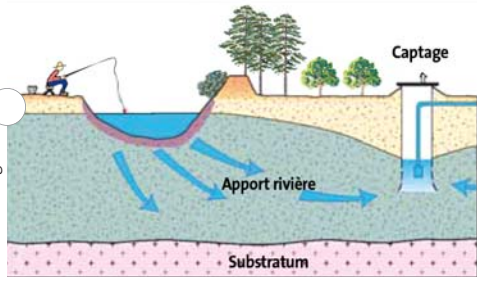
C : forage de type courant



D : captage de source au pied d'un talus rocheux.



© J.-J. Collin, Les eaux souterraines



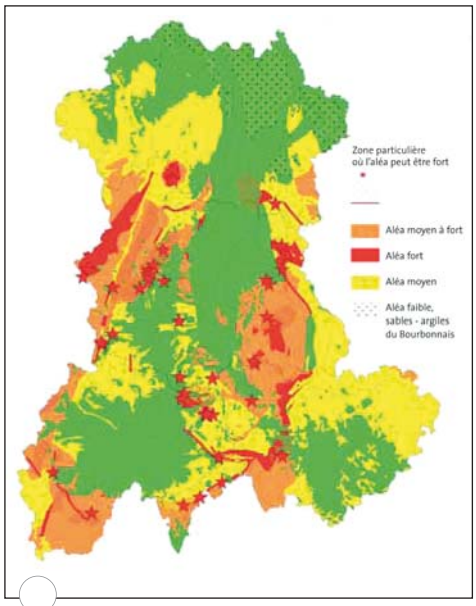
© BRGM Im@gé

L'effet filtre des berges colmatées

Les argiles, qui colmatent les premiers décimètres de cailloutis dans le lit des rivières, peuvent jouer un rôle de filtre et contribuer ainsi à la protection des nappes captées.

Des défauts naturels

Même si elle n'est pas polluée par l'homme, une eau souterraine ne présente pas forcément un niveau de qualité, qui la rend propre à la consommation. Chaque eau est unique et sa nature dépend de la composition chimique des roches qu'elle traverse. L'eau chimiquement pure n'existe pas. Même la pluie contient déjà quelques milligrammes par litre, de sels marins et de diverses substances issues des pollutions atmosphériques ou naturelles dans les embruns. Mais, c'est surtout durant sa phase d'infiltration dans la zone non saturée, que l'eau se charge en sels dissous, puis au fil de son parcours souterrain, en substances minérales. Les éléments majeurs tels que le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, donnent à l'eau ses qualités gustatives. Beaucoup d'autres éléments chimiques sont également présents en faible quantité, tels le fluor, l'iode, le bore, le fer, le sélénium ou le manganèse. Eléments majeurs et mineurs sont indispensables à la santé, mais en excès ils peuvent devenir nocifs. Depuis Paracelse nul n'ignore que "c'est la dose qui fait le poison". Les analyses faites au niveau national et européen montrent, que la concentration de ces substances dans les eaux souterraines ne dépasse pas les normes admises pour la production d'eau potable, sauf pour quelques éléments. Dans des contextes géologiques particuliers, l'eau s'enrichit aussi naturellement en éléments toxiques indésirables pour la santé humaine, tels que l'arsenic, l'antimoine ou le nickel. Dans plusieurs massifs granitiques, la présence d'arsenic naturel a été détectée dans les eaux souterraines. On a trouvé de l'antimoine en Ardèche, dans les Alpes, au Cap Corse ; et du nickel en excès dans certaines nappes du bassin Artois-Picardie. Il faut également citer les nappes littorales qui sont affectées par des teneurs en sel excessives du fait de l'intrusion d'eau



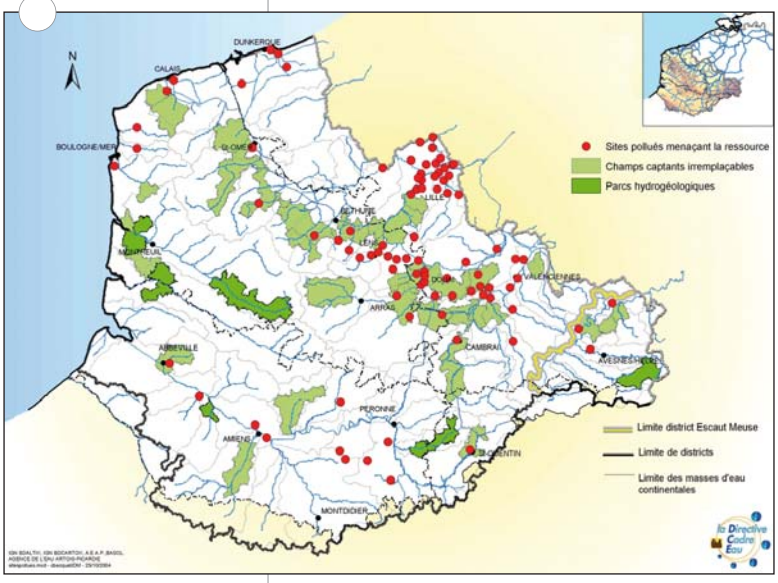
© BRGM, cartographie aléa arsenic Auvergne, Bertin et al., RP 53427, mars 2006

Carte de l'aléa arsenic dans les eaux souterraines en Auvergne

Dans cette région, des points d'eau présentent des traces d'arsenic d'origine naturelle, à un taux parfois nettement supérieur à 10 µg/litre, la norme de potabilité. Ce type de carte permet de mieux gérer l'implantation de nouveaux captages.

Sites et sols pollués en Artois-Picardie

Plusieurs sites et sols pollués du bassin Artois-Picardie représentent une menace pour la ressource en eau.

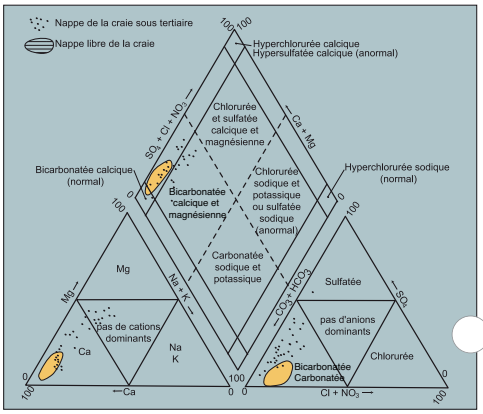


© Agence de l'eau Artois Picardie, 2004

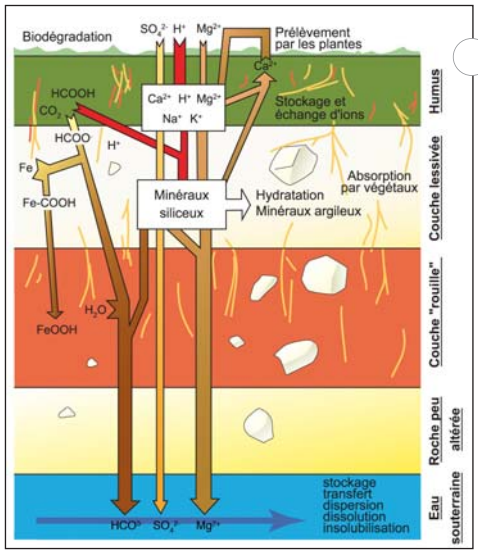
de mer, ce qui les rend impropres à la consommation, ou encore les eaux trop dures (trop calcaires) ou à l'aspect peu engageant (eaux chargées de fer ou de manganèse).

Des pollutions diffuses

Les pollutions diffuses* répétées et durables sont dues à une émission entretenue de substances polluantes résultant des activités humaines. Elles parviennent aux nappes par de vastes surfaces d'affleurement lorsque l'infiltration de l'eau de pluie entraîne en profondeur ces produits répandus sur le sol. On retrouve ici les défauts d'assainissement, les pluies acides, les aérosols, les fumées de l'industrie et les résultats des pratiques agricoles. Ces dernières sont les principales responsables



Source J.-Y.Caous, M. Caudron, 1983



© Atlas des eaux souterraines

Hydrochimisme de la nappe de la craie dans l'Aisne

Les eaux de la craie dans le département de l'Aisne sont bicarbonatées calciques avec des spécificités locales sulfatées et magnésiennes.

Mécanisme d'interaction eau-sol-plante et eau-aquifère

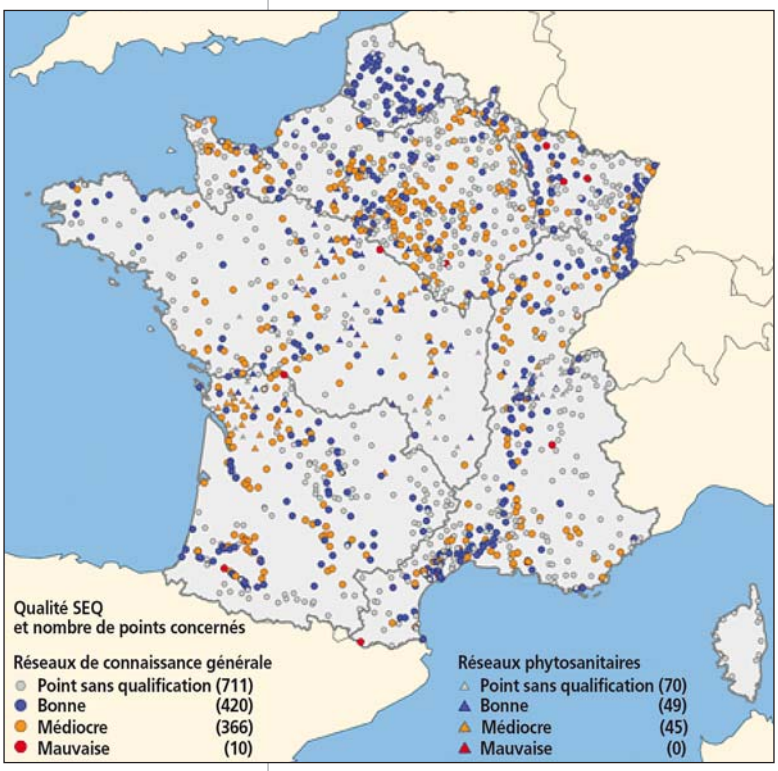
En percolant à travers le sol et le sous-sol et plus particulièrement au début de son parcours, l'eau de pluie réagit avec les solides du milieu poreux, qu'elle traverse, se charge en sels minéraux et acquiert progressivement une composition en équilibre, qui constitue ses qualités chimiques spécifiques naturelles.

La faune des eaux souterraines

C'est uniquement dans les eaux souterraines alluviales et karstiques que l'on trouve toute une faune dont l'inventaire est loin d'être achevé. En Europe, on ne connaît qu'un seul vertébré : le protée, un amphibien endémique des rivières souterraines de Slovénie, Croatie, Bosnie-Herzégovine et de la région de Trieste en Italie. Il présente un très grand intérêt patrimonial, car à côté des traits adaptatifs à la vie souterraine (dépigmentation, disparition des yeux, ralentissement du développement et retard jusqu'à l'âge de 15 ans de la maturité sexuelle), il a conservé certains traits primitifs que les Amphibiens possédaient avant de conquérir les continents et la vie aérienne. La faune aquatique souterraine compte également des crustacés dont certains sont de véritables fossiles vivants. Enfin, de nombreux mollusques se cachent dans les aquifères. On les soupçonne de jouer un rôle épurateur, par assimilation des matières organiques ou par bio-transformation ou bio-accumulation de certains polluants. D'une manière générale, ces animaux peuvent servir de bio-indicateurs car ils sont très sensibles à la qualité des eaux souterraines. Ils sont aussi par conséquent très vulnérables et certains, comme le protée, font l'objet de mesures de protection.

© Government Communication Office Slovenia

Le protée, amphibien protégé des rivières souterraines de Slovénie, Croatie, et Bosnie-Herzégovine.

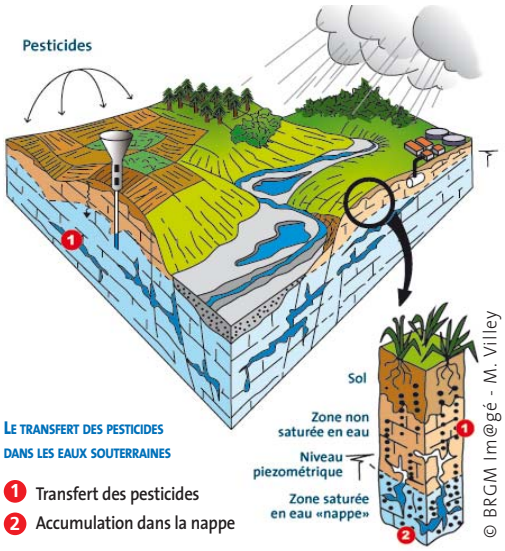


© Agences de l'eau - Conseils généraux - Diren – Draf, SRPV - Traitement SOeS, 2006

Qualité des eaux souterraines vis-à-vis des pesticides

En 2006, sur l'ensemble des analyses réalisées sur les eaux souterraines de France métropolitaine, 116 molécules différentes, sur les 443 recherchées, ont été quantifiées au moins une fois.
Les principaux pesticides (en nombre d'analyses et nombre de stations différentes) responsables des déclassements en qualité mauvaise des points de mesure (réseaux de connaissance générale et réseaux phytosanitaires) sont le glyphosate et le diuron.

de la pollution de l'eau, par l'usage intensif d'engrais chimiques et de pesticides. L'excès de nitrates dans les eaux souterraines participe à l'eutrophisation des cours d'eau et, par voie de conséquence, des estuaires et du littoral (algue verte). La quantité de nitrates est limitée dans les eaux d'alimentation domestique en raison des risques que des teneurs excessives sont susceptibles de faire courir, en particulier aux nourrissons. Cependant, leur présence dans les eaux diminue les risques d'infection biologiques. Aucun accident sanitaire grave lié à la présence de nitrates dans les eaux n'a été constaté, comme l'indique le rapport national "L' eau potable en France, 2005-2006" de la direction générale de la santé. Les régions les plus menacées par les nitrates se situent dans le quart nord-ouest, dans l'est (nappe d'Alsace) et dans la vallée du Rhône.
La pollution par les pesticides provient de l'agriculture, mais aussi de l'entretien des parcs et jardins, des routes et du jardinage. En France, plus de 500 molécules phytosanitaires sont autorisées, elles entrent dans la composition de 8 000 produits, qui sont susceptibles de se retrouver dans l'environnement, y compris avec les molécules de dégradation.



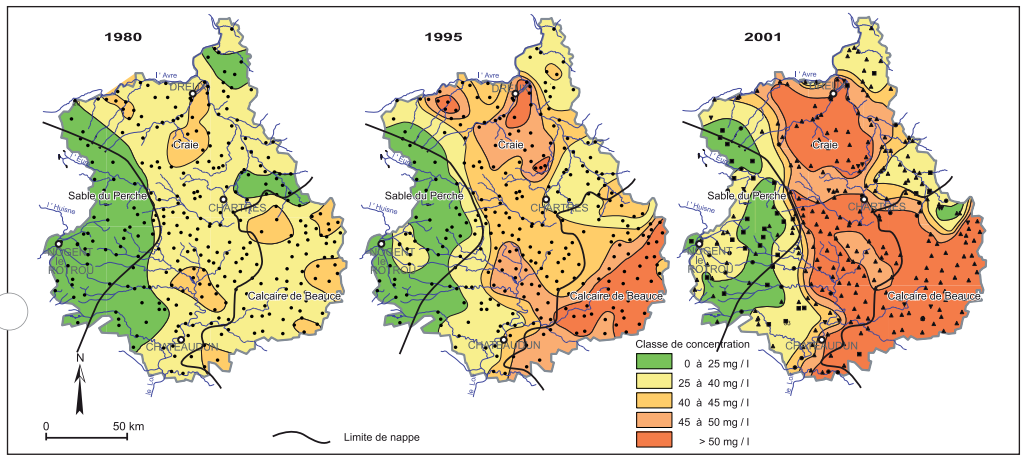
Le transfert des pesticides dans les eaux souterraines

1 Transfert des pesticides
2 Accumulation dans la nappe

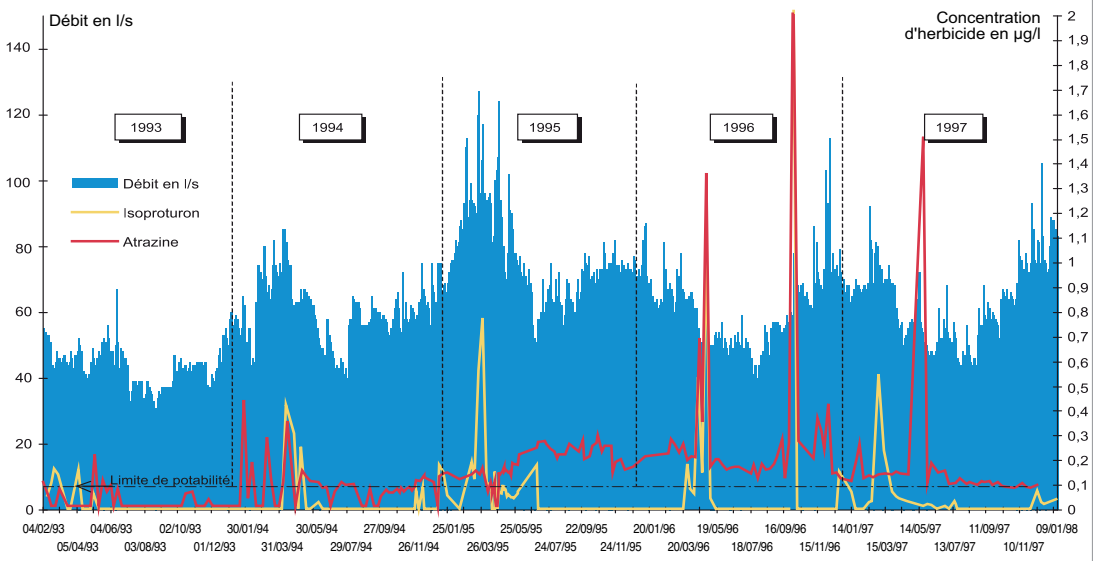
© BRGM Im@gé - M. Villey

Evolution de la concentration en nitrates en Eure-et-Loir

Ces cartes ont été établies à partir des teneurs moyennes issues du contrôle sanitaire réglementaire des eaux avant traitement (eaux brutes) en 1980, 1995 et 2001.



© SISE-Eaux - Conseil Général d'Eure-et-Loir



© Nicole Baran, 1995

Variations de la concentration d'atrazine et d'isoproturon à la source captée de la Jauronnerie (Chuelles, 45) système karstique des Trois-Fontaines

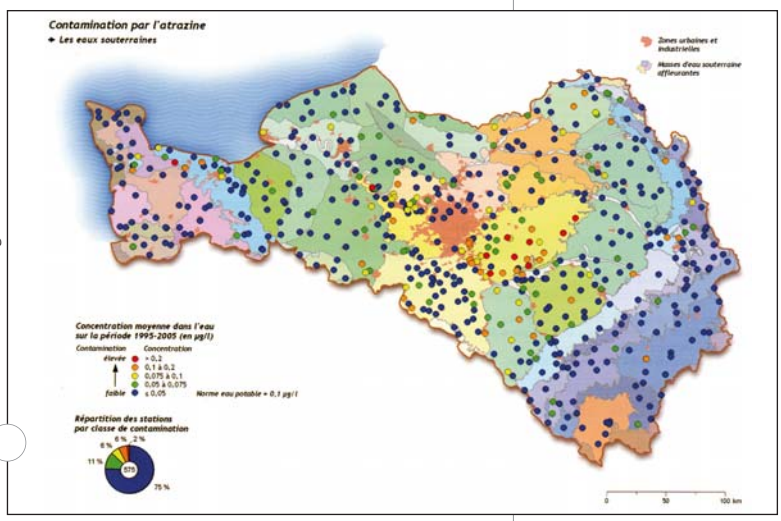
L'atrazine, herbicide du maïs difficilement dégradable et persistant dans le sol, est présent lors de chaque épisode de crue : des pics de concentration de forte amplitude et de courte durée s'observent. L'isoproturon, herbicide du blé facilement dégradable, n'apparaît à l'exutoire, que lors d'épisodes de crues succédant rapidement à une application.

L'amélioration des techniques d'analyse a conduit à la mise en évidence de la contamination de nombreux aquifères par ces substances. Les régions les plus touchées sont, comme pour les nitrates, les zones de culture intensive : le Bassin de Paris, le quart nord-ouest de la France, les terres agricoles du sud-ouest et la vallée du Rhône. L'exposition chronique, même à faible dose, constitue le principal facteur de risque pour la santé (cancers).

Des pollutions ponctuelles

Les nappes sont également victimes de pollutions accidentelles : camion de fioul qui se renverse, rejet d'une station d'épuration, déversement de produits toxiques dans une rivière, rupture d'oléoduc ou encore décharge sauvage ou vidange dans la nature. Les pollutions par les hydrocarbures sont les plus fréquentes. Elles rendent l'eau imbuvable pendant des dizaines d'années car quelques gouttes sont suffisantes pour polluer un m^3 d'eau. Les périmètres de protection prévus par l'article L. 1321-2 du code la santé publique, permettent de limiter la dégradation de la ressource par les pollutions ponctuelles, et de nombreux sites font l'objet de travaux de dépollution. À ces pollutions accidentelles viennent s'ajouter des rejets industriels anciens qui, compte tenu de l'inertie des nappes, sont encore présents dans le sous-sol, même si aujourd'hui les installations ont fermé ou ont adopté des normes environnementales. Dans cette catégorie des "pollutions historiques", on

Réseaux de surveillance des eaux souterraines	
Paramètres à mesurer	
In situ	T°, pH, conductivité, Eh
Eléments majeurs	HCO_3, CO_3, Cl, SO_4, Ca, Mg, Na, K
	Oxydabilité, mat. en suspension, COD, F, Fe, Mn, SiO_2, NO_2, NO_3, NH_4
Micropolluants minéraux	Sb, As, Al, B, Cd, Cr, Cu, CN, Hg, Ni, Pb, Se, Zn
Micropolluants organiques/rural	Autres pesticides (organochlorés, ...)
Agricole ou industriel/urbain	Pesticides (triazines, urées, ...)
Industriel/urbain	COV, HAP, phénols

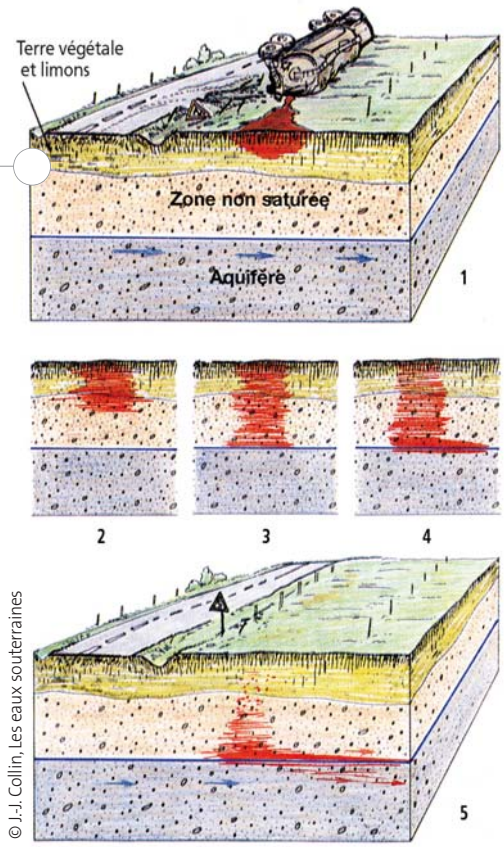


© Agence de l'eau Seine-Normandie

1 ou 2 fois / an
1 fois / 6 ans

L'atrazine dans les eaux souterraines en Seine-Normandie

Bien que cette substance ait été retirée du marché en 2003, des concentrations en atrazine et ses produits de dégradation s'observent touojurs dans les nappes du Bassin Seine-Normandie.



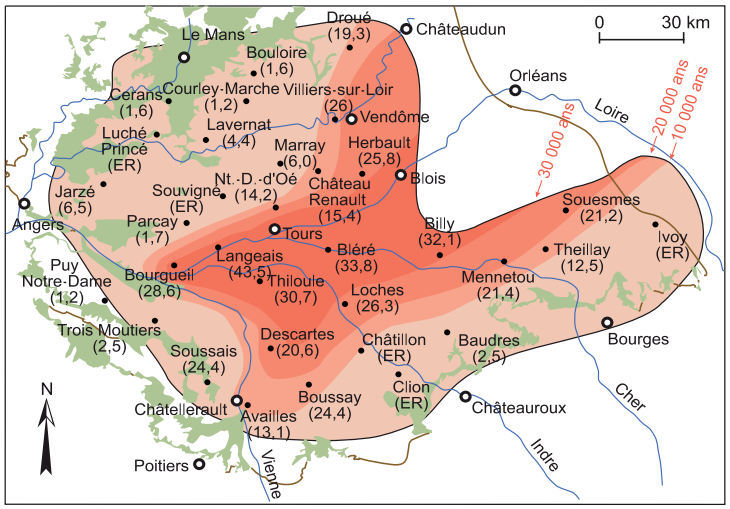
© J.-J. Collin, Les eaux souterraines

Mécanisme de pollution par les hydrocarbures

Lors du déversement, il se crée un volume imprégné du produit pétrolier, qui peut être bloqué sur place dans la zone non saturée ou descendre jusqu'à la nappe.

Âge des eaux de la nappe du Cénomanien de Touraine

Des études isotopiques réalisées en 1991-93, par dosage du Carbone 14 sur 34 forages, ont permis de constater une augmentation de l'âge des eaux,depuis les zones d'affleurement où la nappe est libre, jusqu'à la région de Tours, où elle est captive et distante d'au moins 65 km des affleurements, avec une vitesse de l'ordre de 2 m par an.



© Ph.Olive pour AELB, 2002

retrouve les solvants toxiques d'anciens sites industriels, les sels de sodium des mines de potasse, les terrils miniers ou les métaux lourds des industries minières et métallurgiques. Du fait de leur toxicité, leur présence dans les eaux souterraines est très préoccupante.

De "nouveaux" polluants

La liste des polluants à surveiller ne cesse de s'agrandir. Il devient nécessaire de mettre au point de nouveaux outils de détection et de mesure pour analyser la présence dans les eaux souterraines de polluants émergents tels que les nanoparticules, dont les effets sur la santé sont inconnus ou les produits pharmaceutiques. Ces derniers, lorsqu'ils sont consommés, sont éliminés par voie fécale ou urinaire, parfois sous une forme active. Leur présence dans l'eau souterraine, sous forme de résidus, a été mise en évidence dans diverses études.

D'autres polluants, comme les pesticides, les dioxines, les phtalates, les métaux lourds, etc., sont surveillés de plus longue date et sont d'ores et déjà classés comme prioritaires. Une attention particulière doit être portée aux produits susceptibles d'affecter le système endocrinien, en raison de leur impact sanitaire potentiel. La nécessité de surveiller ces nouveaux polluants implique également le développement d'outils de détection et de mesure.

© AE Seine-Normandie

Le guide des substances toxiques dans les eaux douces

Édité par l'Agence de l'eau Seine-Normandie (2009), ce guide passe en revue les produits chimiques, d'origine naturelle (sels minéraux, hydrocarbures, métaux lourds) ou synthétique (solvants, plastifiants, cosmétiques, détergents, médicaments, phytosanitaires, ...), qui peuvent entraîner des menaces pour la santé et la biodiversité.

Partie III

La gestion des eaux souterraines en France

© B. Dubearnès / Hydro-Invest

Sources de la Touvre (Charente). La directive-cadre européenne sur l'eau, qui rappelle dans son préambule que "l'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel", est venue renforcer les principes de gestion du modèle français.

Des enjeux nationaux mais également européens

Les acteurs de l'eau

Des enjeux nationaux mais également européens

Chapitre III.1

La directive-cadre européenne sur l'eau renforce les principes de gestion du modèle français tout en mettant en place une politique de développement durable de la ressource à l'échelle européenne.

La surveillance des eaux souterraines

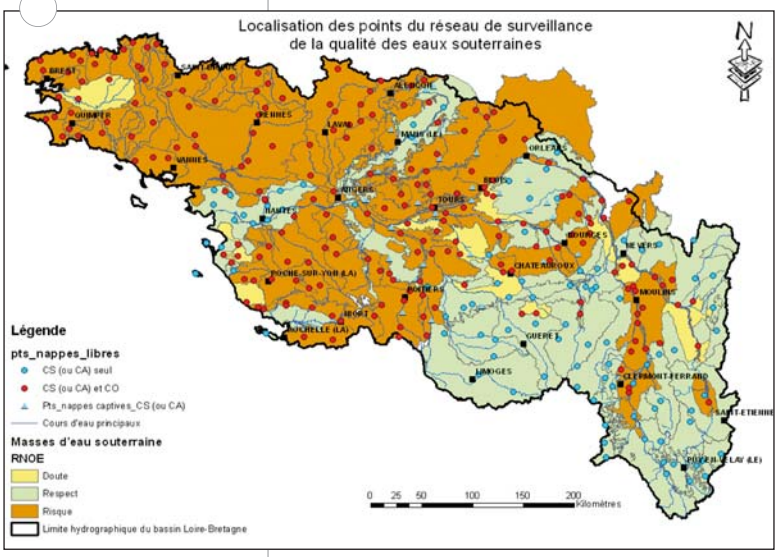
La France possède de nombreux réseaux de surveillance des eaux souterraines dont les objectifs et les dimensions sont différents. On peut cependant les regrouper en trois grands secteurs d'activité : les réseaux de connaissance générale, les réseaux d'usage et les réseaux d'impact.

- **Les réseaux de connaissance générale** donnent une image de l'état qualitatif et quantitatif des eaux souterraines. En application de la législation, il existe un réseau national de surveillance globale des eaux souterraines. On trouve également des réseaux plus locaux de connaissance générale, comme le réseau de surveillance de la nappe d'Alsace, qui est composé d'un maillage très serré d'appareils de mesure pour la surveillance d'une nappe très sensible et très exploitée (1 point tous les 4 km).
- **Les réseaux d'usage** sont mis en place pour répondre à un problème précis : police de l'eau, contrôle sanitaire, surveillance d'un paramètre spécifique, réseaux d'alerte destinés à la prévention des pollutions, etc. Leurs dimensions sont très variables (échelle locale, départementale, de bassin). Parmi les principaux réseaux à usage spécifique, on peut citer celui du contrôle sanitaire de captages destinés à la consommation humaine. Il vérifie, grâce à ses 34 000 points d'observation, que les captages utilisés pour l'alimentation en eau potable ont une qualité conforme aux exigences sanitaires fixées dans le code de la santé publique. Tous les résultats de ces contrôles sont intégrés au sein d'une base de données nationale dénommée "SISE-Eaux" (Système d'information en santé environnementale sur les eaux) et gérée par le ministère en charge de la santé ; des bilans nationaux sur la qualité de l'eau potable sont également disponibles sur le site internet de ce ministère.
- **Les réseaux d'impact** ont pour objectif d'évaluer l'impact d'une pollution identifiée sur la ressource. Le réseau des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) est un exemple de ce type, tout comme le réseau de surveillance des nitrates ou des pesticides, constitué par une sélection de captages d'eau potable.

En application de la directive-cadre européenne sur l'eau, la plupart de ces réseaux servent au contrôle de surveillance de l'état général des eaux, aux contrôles opérationnels destinés à assurer le suivi des masses d'eau risquant de ne pas atteindre l'objectif de bon état*, ainsi qu'aux contrôles d'enquête en cas de non atteinte de cet objectif.

Réseau de surveillance de la qualité, exemple du bassin Loire-Bretagne

En janvier 2009, le réseau national de surveillance des eaux souterraines en France comporte environ 1 800 sites dont 70 dans les DOM. Pour sa part, le Bassin Loire-Bretagne en compte 337.



© Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2007

De la mesure à la conservation en banque de données

En 2002, la mise en place d'un système d'information sur l'eau (SIE) a permis de regrouper dans une banque de données, les connaissances sur l'eau provenant de plusieurs sources, pour les organiser, afin de les diffuser aux usagers. Outre l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), qui en assure aujourd'hui le pilotage fonctionnel, les services de l'État, les agences et les offices de l'eau, et plusieurs organismes techniques (BRGM, Ifremer, Ineris, etc.) participent au SIE ; les collectivités territoriales peuvent être associées à sa constitution. Au sein de ce système, le portail national d'Accès aux données sur les eaux souterraines (ADES) récolte les données de tous les réseaux qui en font la demande ou qui sont co-financés par l'État.

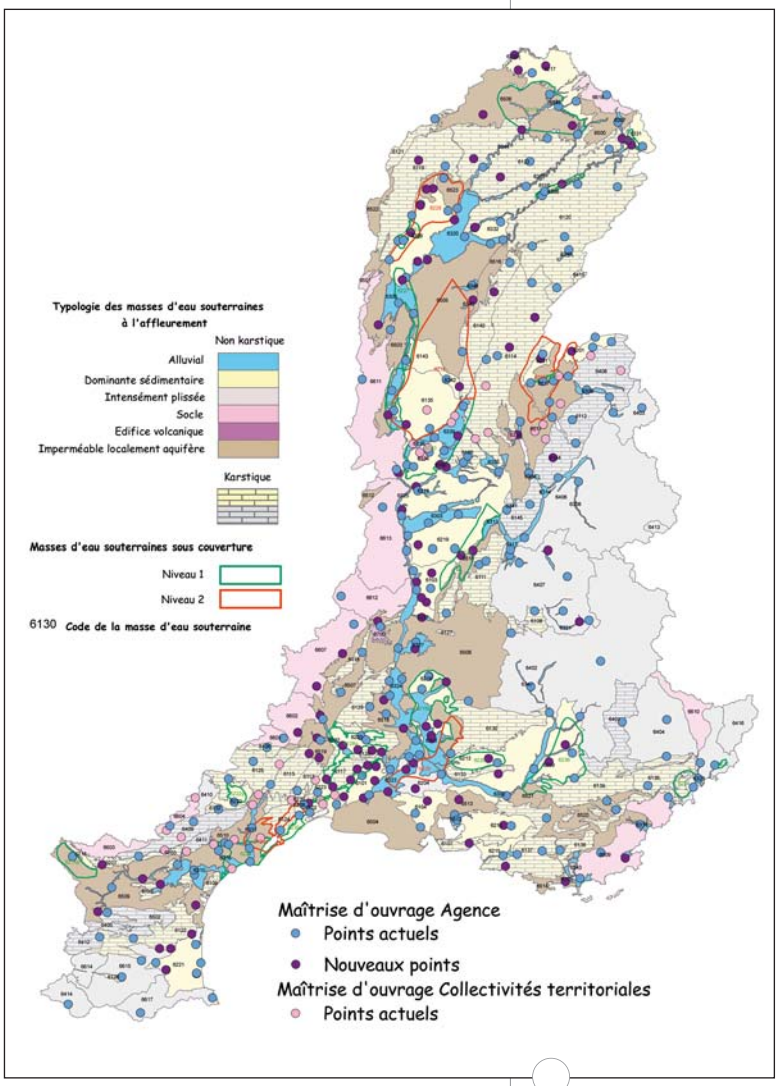
© ADES

Banque nationale ADES

Cette banque de données fournit des informations sur la quantité et la qualité des eaux souterraines.

© BRGM Im@gé

Le contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines comporte plusieurs familles d'analyses : mesures in situ (température de l'eau, pH, Eh, oxygène dissous, conductivité), éléments physicochimiques majeurs, micropolluants minéraux, micropolluants organiques.



© Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, 2007

Unique en Europe, ADES est un outil privilégié pour répondre aux enjeux locaux de la gestion des eaux souterraines et à ceux de la DCE : surveillance des masses d'eau souterraine, mise en œuvre et évaluation des politiques et des plans de gestion. Elle permet de connaître, de localiser les réseaux et les stations de mesures et d'accéder aux résultats de mesures quantitatives (piézomètres) et qualitatives (qualitomètres).
Les informations régulièrement actualisées sont disponibles par point et réseau de mesure*, par bassin hydrographique, région et département, par aquifère. La traçabilité des données du producteur à l'utilisateur,

Réseau de surveillance qualité des eaux souterraines du district Rhône-Méditerranée

La qualité des eaux souterraines se stabilise dans les zones contaminées par les nitrates et les pesticides mais la situation s'améliore dans de nombreuses zones en aval de sites industriels, qui sont désormais moins contaminées, par exemple par les solvants chlorés.

ADES en chiffres (janvier 2009)	
	169 réseaux déclarés
	27 839 points d'eau
	3 147 piézomètres
	24 752 qualitomètres, soit **6 380 146** niveaux d'eau et **14 471 974** analyses d'eau consultables en ligne.

conformément aux préconisations du Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (SANDRE), garantit un bon niveau d'information pour une meilleure utilisation et interprétation des données consultées : origine des données, indication du niveau de validité des données, etc.

Les périmètres de protection des captages

Les points de captage des eaux destinées à l'alimentation en eau potable sont entourés par un à trois périmètres de protection des captages (PPC) selon les conditions hydrologiques ou hydrogéologiques. Les PPC sont destinés à protéger le point de captage ainsi que le secteur proche de l'aquifère, rendu sensible par le prélèvement, contre les principales pollutions accidentelles d'origine humaine. Cette notion a été créée à l'origine par la loi de 1902, suite à de nombreuses épidémies, pour protéger de toute atteinte bactériologique les sources destinées à la consommation d'eau potable. La réglementation a dû progressivement se renforcer au cours du XXe siècle en intégrant notamment les pollutions d'origine chimique, agricole et industrielle. Jadis déterminés par des "géologues officiels", les PPC concernent aujourd'hui tous les types de captage utilisés pour l'alimentation en eau potable. Ils sont établis par des "hydrogéologues agréés" en matière d'hygiène publique, qui sont nommés dans chaque département par le préfet de région. Les PPC peuvent s'étendre à plusieurs parties de la nappe. Ils sont définis par le code de la santé publique (articles L. 1321-2 et R. 1321-13).

Le périmètre de protection immédiate correspond à l'environnement proche du point d'eau. Il est acquis par la collectivité, clôturé et toute activité ne concourant pas à la production d'eau y est interdite. Il a pour fonctions principales d'empêcher la détérioration des ouvrages et d'éviter les déversements de substances polluantes à proximité immédiate du captage.

© BRGM Im@gé

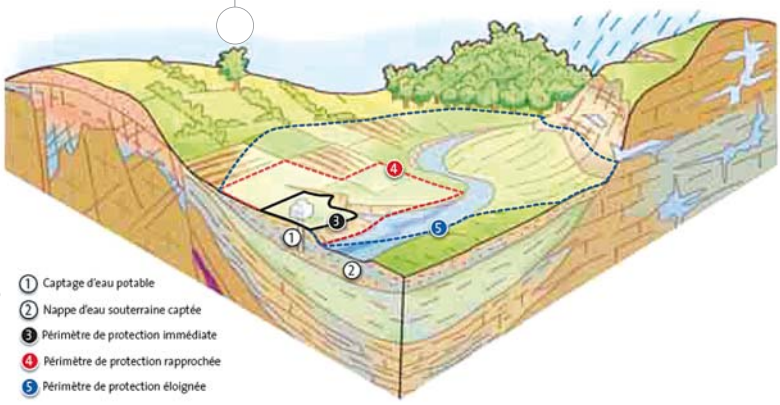
Périmètre de protection rapprochée d'un captage

Pour protéger un captage alimentant 3 000 habitants, la réduction des apports en nitrate sur quelques dizaines d'hectares peut parfois suffir à ramener la teneur en nitrate de l'eau sous la limite des 50 mg/l.

Le périmètre de protection rapprochée délimite un secteur, en général de quelques hectares, en principe calqué sur la "zone d'appel" du point d'eau. À l'intérieur de ce périmètre, toutes les activités (constructions, activités, rejets, dépôts, épandages, etc.) susceptibles de provoquer une pollution sont interdites ou soumises à des prescriptions particulières. Le territoire de cette zone rapprochée n'est pas toujours homogène car il s'adapte à la géométrie de la nappe ; il peut être disjoint dans les zones karstiques.

Principe des périmètres de protection

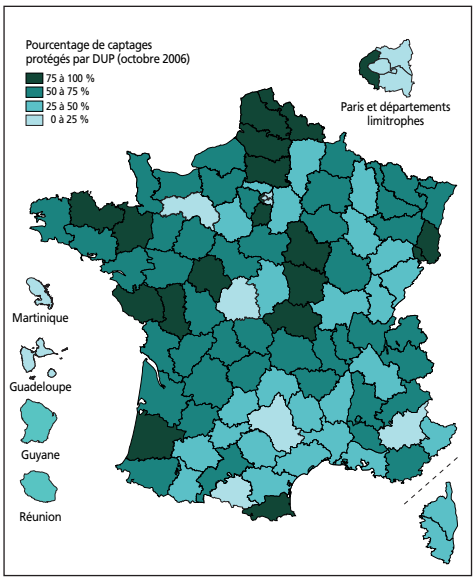
Les captages d'eau potable (1) dans la nappe (2) sont entourés de 3 périmètres de protection : immédiate (3), rapprochée (4) et éloignée (5).



© BRGM Im@gé

Le périmètre de protection éloignée est créé si certaines activités sont susceptibles d'être à l'origine de pollutions importantes et lorsque des prescriptions particulières paraissent de nature à réduire significativement les risques sanitaires. Il correspond à la zone d'alimentation du point de captage d'eau, voire à l'ensemble du bassin versant.

Le plan national santé-environnement (PNSE) 2004-2008 a fixé un objectif en matière d'instauration des PPC de 80 % des captages protégés en 2008 et 100 % en 2010. En janvier 2009, 54,9% des ouvrages sont dotés de ces PPC dans le cadre de la procédure de déclaration d'utilité publique (source : base nationale SISE-Eaux).

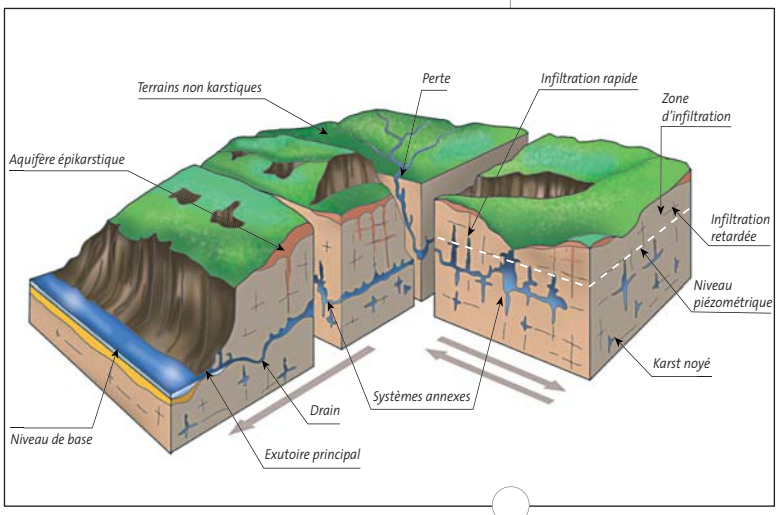


© Ministère cahrgé de la Santé/DDASS/SISE-Eaux

Les Agences de l'eau font école

La Loi sur l'eau du 16 décembre 1964 a fixé les grands principes de la gestion de cette ressource en France. Elle a instauré un découpage du territoire en six grands bassins hydrographiques. Des établissements publics de l'État sont chargés de concilier le juste partage de la ressource avec le développement économique et le respect de l'environnement. Six Agences de l'eau ont été ainsi créées : Artois-Picardie, Rhin-Meuse, Seine-Normandie, Rhône-Méditerranée & Corse, Loire-Bretagne et Adour-Garonne.

L'Agence de l'eau s'appuie sur un Comité de bassin, qui rassemble les élus, les représen-



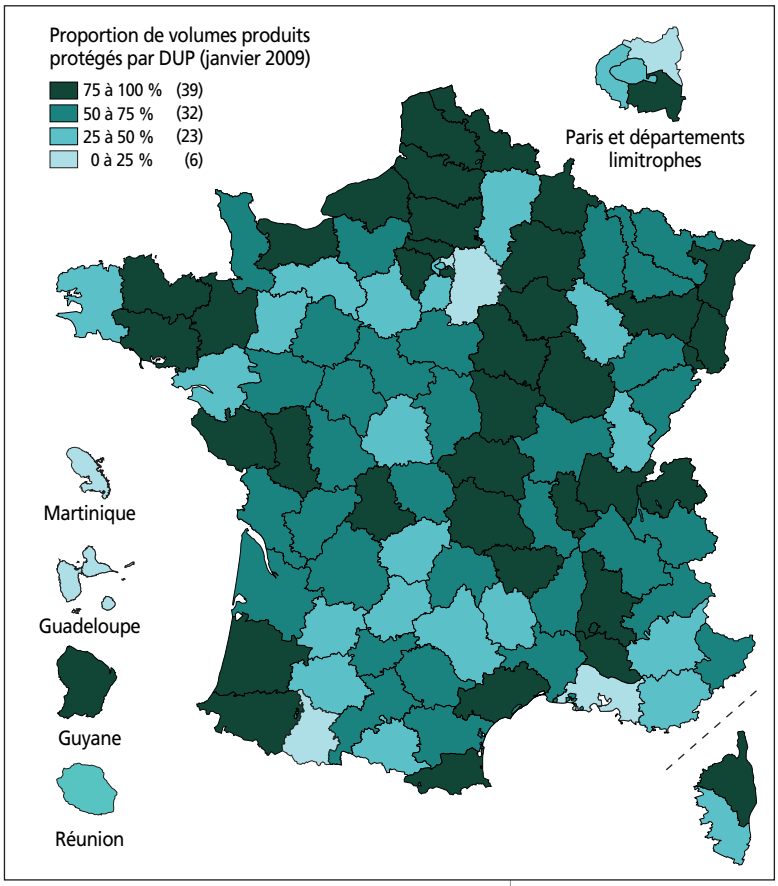
© BRGM / A.Mangin / H. Fournier-Tscherter

Les captages protégés par DUP

En janvier 2009, sur les 34 000 points de captage en France, près de 55 % des ouvrages de captage sont dotés de périmètres de protection déterminés par déclaration d'utilité publique (DUP), ce qui représente plus des deux tiers des volumes produits pour l'alimentation en eau potable.

Type de zone karstique

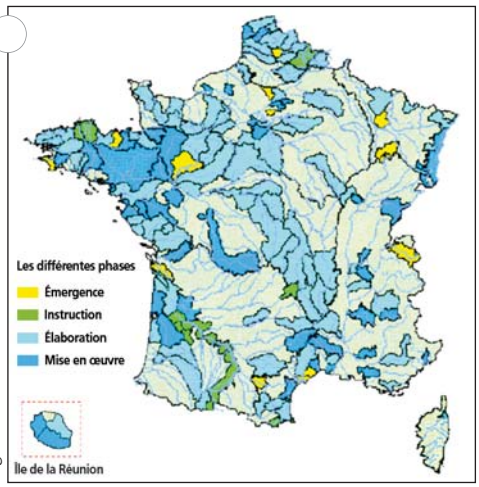
Dans une zone karstique, le périmètre de protection rapprochée peut comporter des périmètres disjoints, compte tenu du système d'alimentation en eau de la nappe.



© Ministère chargé de la santé/DDASS/SISE-Eaux -Baignade © IGN - GEOFLA

État d'avancement des SAGE

Début 2009, on dénombre 148 Schémas d'aménagement des eaux (SAGE)* : 44 sont mis en œuvre (SAGE élaborés et approuvés), 84 au stade de l'élaboration (périmètre délimité et commission locale de l'eau constituée), 7 sont à l'instruction et 13 en émergence (dossier préliminaire).



© gesteau.eaufrance.fr

tants de l'État, les usagers (industriels et agriculteurs) et les mouvements associatifs (consommateurs, protecteurs de la nature). Renforcé par la Loi sur l'eau de 1992, qui inclut une notion de planification grâce aux schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE)* et aux schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE)*, le modèle français – avec son organisation par bassin et la concertation de tous les acteurs – a fait école. Il a été repris par les États européens et 50 pays ont adhéré au réseau international des organismes de bassin (RIOB) créé en 1994 par le ministère français chargé de l'environnement.

La loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) est venue encore appuyer cette politique. Elle a deux objectifs fondamentaux :

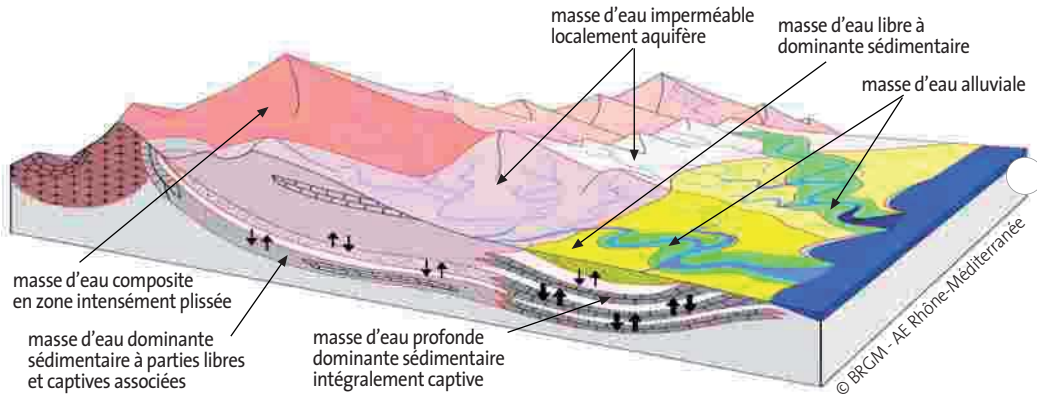
- donner les outils à l'administration, aux collectivités territoriales et aux acteurs de l'eau en général, pour reconquérir la qualité des eaux et atteindre en 2015 les objectifs de bon état écologique fixés par la DCE du 23 octobre 2000 (transposée en droit français par la loi du 21 avril 2004) et retrouver une meilleure adéquation entre ressources en eau et besoins dans une perspective de développement durable des activités économiques utilisatrices d'eau et en favorisant le dialogue au plus près du terrain ;
- donner aux collectivités territoriales les moyens d'adapter les services publics d'eau potable et d'assainissement aux nouveaux enjeux en termes de transparence vis-à-vis des usagers, de solidarité en faveur des plus démunis et d'efficacité environnementale.

La loi donne plus de moyens aux SDAGE et aux SAGE, et crée l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), un organisme à vocation technique et prospective qui coordonne le système d'information sur l'eau.

Carte des masses d'eaux souterraines de la France

La masse d'eau souterraine est tout à la fois une unité d'évaluation, d'objectif, de surveillance quantitative et qualitative, d'action et de gestion.

Source : données Agences de l'eau et DIREN de Bassins - synthèse BRGM



Typologie des masses d'eau souterraine

Les masses d'eau sont découpées en fonction de la nature géologique des formations et des écoulements.

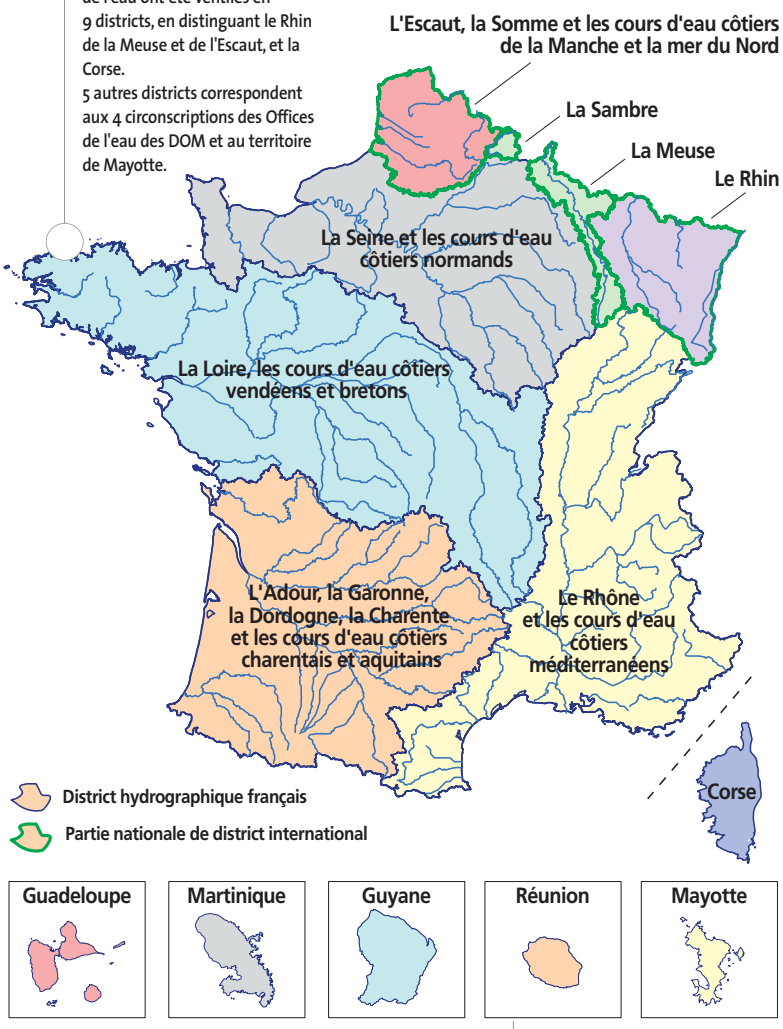
Cet établissement public assure le pilotage du système d'information sur l'eau (SIE), c'est-à-dire l'animation du dispositif partenarial dans une logique de subsidiarité avec les bassins. Il organise le recueil et la valorisation des informations, notamment dans le cadre du système européen d'information sur l'eau, WISE (*Water Information System for Europe*). Organisme national à fonctionnement partenarial, l'ONEMA permet de piloter une gestion de l'eau par la connaissance et d'évaluer les politiques, à l'échelle des bassins et au niveau européen.

Une gestion à l'échelle européenne

La lutte contre les pollutions des eaux est la plus ancienne des politiques environnementales européennes. Elle a donné lieu depuis 1976 à de multiples textes. Afin de rendre cette politique plus cohérente et efficace, une réflexion commune sur l'harmonisation des législations européennes et nationales a débouché en octobre 2000 sur la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE), complétée en 2006 par une directive "fille" consacrée spécialement aux eaux souterraines. Plus de la moitié des nappes d'eaux souterraines de l'Union européenne étant polluées, il est urgent de les protéger contre davantage de pollution et de détérioration.
Ces textes instituent au niveau européen une gestion par grand bassin hydrographique et une planification des objectifs. Elle introduit des obligations de résultats et des calendriers,

Les districts hydrographiques de la directive-cadre européenne

En métropole, les 6 bassins traditionnels des Agences de l'eau ont été ventilés en 9 districts, en distinguant le Rhin de la Meuse et de l'Escaut, et la Corse.
5 autres districts correspondent aux 4 circonscriptions des Offices de l'eau des DOM et au territoire de Mayotte.

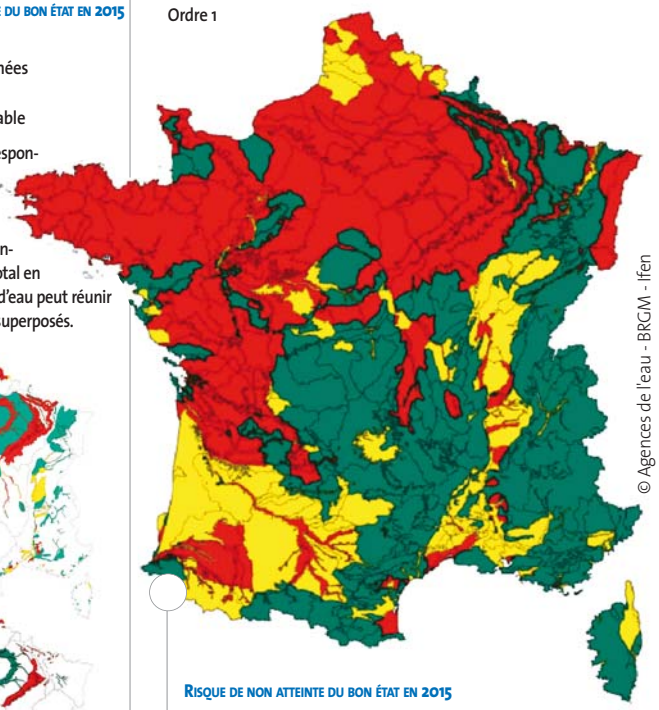


Risque de non atteinte du bon état en 2015

- Risque
- Doute ou données insuffisantes
- Bon état probable

Les ordres 1 à 6 correspondent à l'ordre de superposition des masses d'eau de la surface vers la profondeur (10 ordres au total en France). Une masse d'eau peut réunir plusieurs aquifères superposés.

Ordre 1

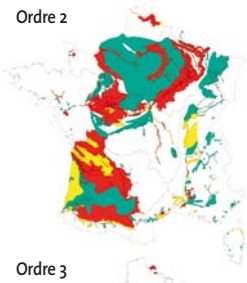


© Agences de l'eau - BRGM - Ifen

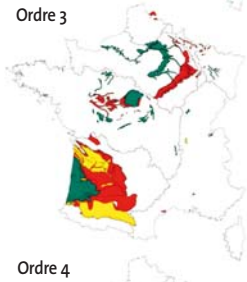
Risque de non atteinte du bon état en 2015

Carte établie en 2004 ; depuis, certaines de ces masses d'eau ont été réévaluées en risque.

Ordre 2



Ordre 3



Ordre 4

Ordre 5

Ordre 6

se fixant comme but un bon état général des eaux superficielles, côtières et souterraines à l'horizon 2015. Elle institue la transparence des coûts et le principe "pollueur-payeur". À l'exception de quelques paramètres, le texte approuvé par le Parlement n'impose pas de normes uniques à l'échelle de l'Union européenne, et une nouvelle directive sur l'assurance qualité vise à harmoniser les méthodes de mesure des polluants potentiels.

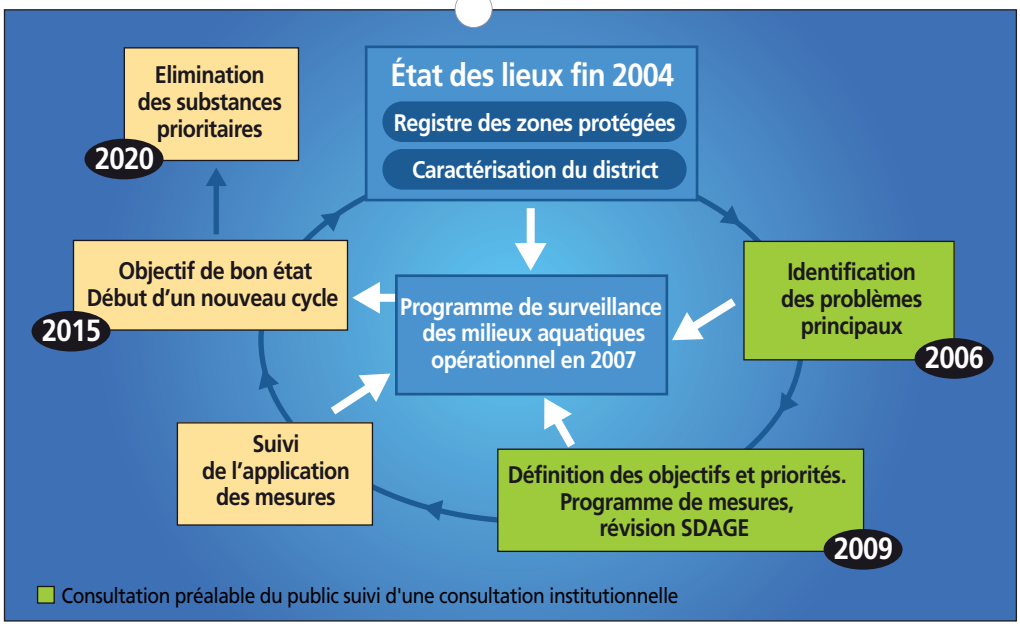
Le SDAGE devient l'instrument français de mise en œuvre de la politique communautaire sur le territoire national, maintenant découpé en "masses d'eau" : un concept nouveau fondé sur la structure du milieu naturel et des critères de gestion. Le territoire est découpé en 553 masses d'eau souterraines dont 50 dans les DOM. 28 masses d'eau souterraines sont transdistricts et 23, à l'image de la nappe d'Alsace, sont transfrontalières. En parallèle, un catalogue exhaustif des systèmes aquifères, baptisé BDRHF® pour "base de données du référentiel hydrogéologique français", a été réalisé.

À la reconquête du bon état des masses d'eau souterraine

Atteindre, en 2015, le "bon état" des masses d'eau souterraine, objectif fixé par la DCE

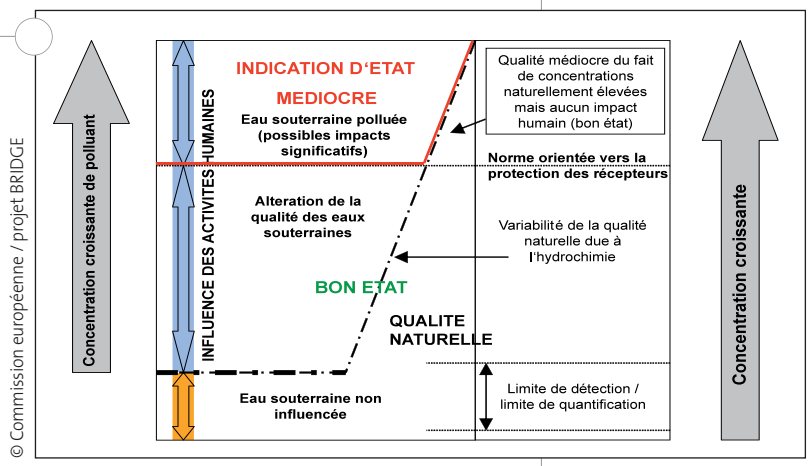
Les grandes étapes de la DCE

En cas de non atteinte du bon état des eaux en 2015, la DCE prévoit de reporter le rendez-vous fin 2020.



Document d'orientation sur le bon état des eaux souterraines

L'influence des activités humaines sur la qualité s'apprécie en tenant compte de la qualité naturelle des nappes (fond géochimique).



© Commission européenne / projet BRIDGE

requiert une mobilisation scientifique et technique de grande ampleur. En 2005, l'état des lieux demandé par la DCE a permis une synthèse globale sur l'état des eaux de surface et souterraines. Pour chacune des 553 masses d'eau souterraine, y compris dans les DOM, le risque de non atteinte du bon état (RNABE) a été établi : 208 présentent un risque avéré, si aucune mesure supplémentaire n'est mise en place, 108 un risque potentiel (doute) et 237 présentent un bon état probable.

Les aquifères de surface sont concernés par la non atteinte des bons états quantitatifs et qualitatifs. En revanche, les aquifères profonds, mieux protégés des agressions extérieures, sont plutôt concernés par la non atteinte du bon état quantitatif. 52 masses d'eau souterraine, soit 10 % de l'ensemble, sont classées à risque avéré, à cause des prélèvements excessifs, qui abaissent fortement le niveau des nappes et diminuent le débit des cours d'eau qu'elles alimentent.

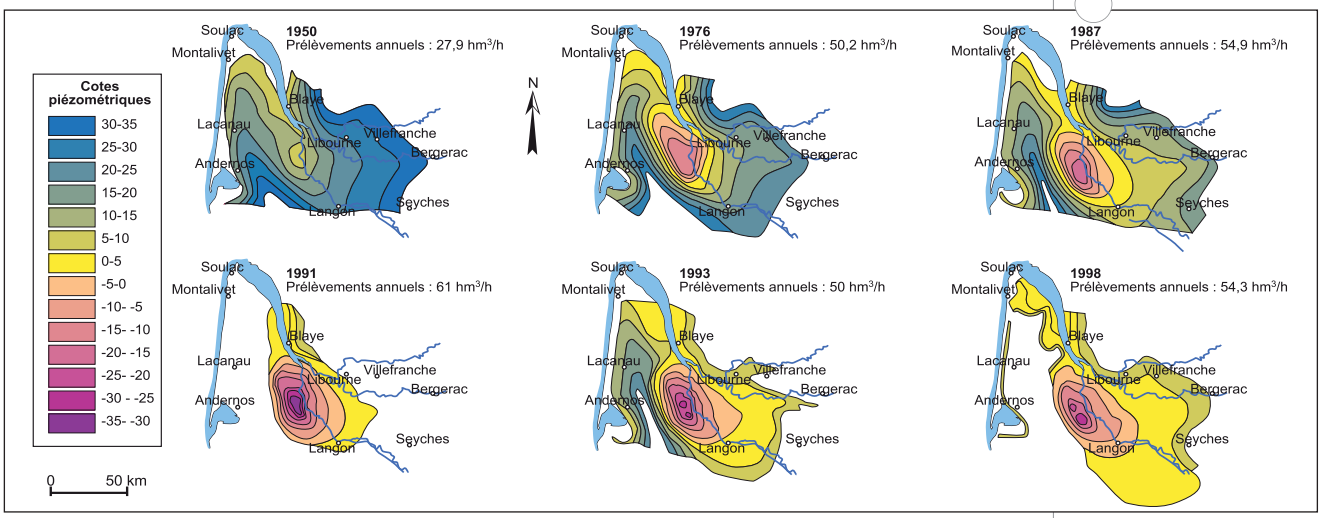
Sur le plan qualitatif, les principaux paramètres déclassant des masses d'eau souterraine sont dûs aux nitrates et pesticides d'origine agricole. La directive "fille" de la DCE vise à gérer et à protéger les eaux souterraines "contre la pollution et la détérioration" et engage les États membres à prendre "toutes les mesures nécessaires pour prévenir le rejet dans les nappes de toutes substances dangereuses", sans seulement "s'efforcer de prévenir" ce type de pollution.

Prélèvement durable ou surexploitation ?

L'Éocène bordelais constitue un bon exemple de surexploitation d'une nappe souterraine pour les besoins de l'alimentation en eau potable et de l'industrie. Le bilan du système montre un déficit de 10,7 millions de m³ par an avec une baisse du niveau piézométrique de 1 m par an depuis 30 ans. Un creux piézométrique de 50 m est observé à la verticale de Bordeaux et plusieurs forages ne sont plus

Évolution de la dépression piézométrique de la nappe de l'Éocène moyen dans la région bordelaise de 1950 à 1998

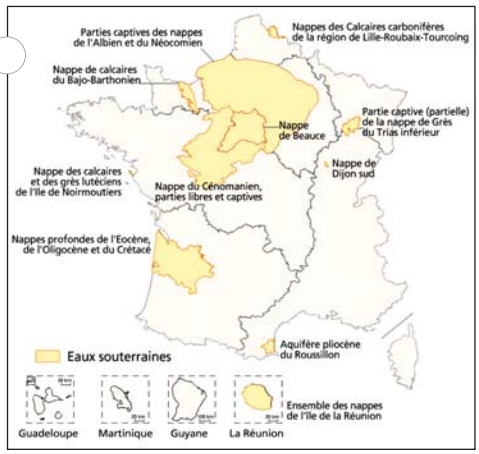
Cette série de mesures montre l'évolution d'un cône de dépression depuis 1950. Ce phénomène, lié à une surexploitation de la nappe, est à surveiller de très près, car une inversion du sens des écoulements ouvrirait la voie à une salinisation de l'aquifère, qui serait quasiment irréversible.



© SAGE Nappes profondes de Gironde, 2000

Les zones de répartition des eaux (ZRE)

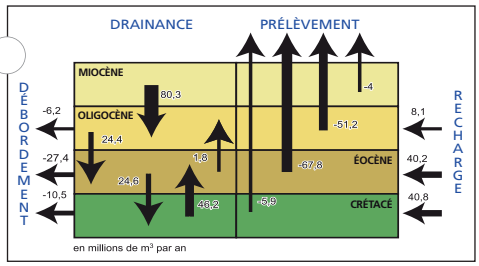
La surexploitation chronique des nappes a conduit à classer en ZRE, dès 2001, 11 systèmes aquifères utilisés pour la production d'eau potable et l'industrie.



© Direction de l'Eau - Ifen

Ordre de grandeur des flux et des prélèvements dans l'Éocène bordelais

L'exploitation de la nappe entraîne un déficit de plus de 10 millions de m³ par an, entrainant une baisse des niveaux piézométriques.



© BRGM-SAGE nappes profondes de Gironde, 2002

artésiens. En 1995, le niveau de la nappe se situait en dessous de celui de la mer et faisait craindre une intrusion d'eau de mer dans l'aquifère sous la Gironde. En 1999, la commission locale de l'eau (CLE), où siègent les représentants des collectivités territoriales, de l'État et des usagers, a été mise en place pour élaborer le schéma d'aménagement et de gestion (SAGE) des nappes profondes de Gironde. L'objectif est ambitieux : réduire de 30 millions de m³ les prélèvements annuels dans l'Éocène, par des mesures d'économie de consommation et la mise en place de ressources de substitution en eaux superficielles pour l'usage industriel. Aujourd'hui, la croissance des prélèvements s'est stabilisée, mais le stock de la nappe ne s'est pas pour autant reconstitué.

En 2001, les nappes profondes de l'Éocène, de l'Oligocène et du Crétacé de Gironde ont été classées en zones de répartiton des eaux (ZRE), tout comme 11 autres systèmes aquifères surexploités, essentiellement pour les usages liés à l'eau potable et industrielle (8 systèmes), pour l'usage agricole (2 nappes) ou tous usages confondus (nappes de la Réunion). Les déséquilibres chroniques concernent surtout les nappes des Bassins de Paris et d'Aquitaine.

Évaluer la qualité de l'eau souterraine

La qualité de l'eau souterraine se définit, le plus souvent, par rapport à l'usage que l'on en fait et les exigences sont différentes si l'eau est destinée à la production d'eau potable ou à un usage industriel. On peut même évaluer la qualité de l'eau par rapport à son état d'origine (état patrimonial).

Cependant, dès lors que les deux tiers des volumes prélevés sont destinés à l'alimentation en eau potable, il est courant d'évaluer la qualité d'une nappe par rapport à son aptitude à la production d'eau potable en prenant aussi en compte l'écart par rapport à son état patrimonial.

Le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ), publié en 2002, repose sur la notion d'altération selon 4 (pour la production d'eau potable) ou 5 classes (autres usages) d'aptitude matérialisées par des couleurs. Il permet d'apprécier l'état de l'eau souterraine. Un nouvel outil d'évaluation, baptisé "système d'évaluation de l'état des eaux" (SEEE) est en cours d'élaboration pour répondre aux exigences de la DCE ; il concernera tous les types d'eau (de surface, souterraine et marine).

Le SEQ-Eaux souterraines

Il n'existe pas de qualité intrinsèque d'une eau, mais des qualités qui permettent de satisfaire tel ou tel usage.

CLASSES D'APTITUDE DES EAUX SOUTERRAINES		
4 CLASSES POUR L'USAGE "ALIMENTATION EN EAU POTABLE"		
	eau de qualité optimale pour être consommée	
	eau de qualité acceptable pour être consommée mais pouvant le cas échéant, faire l'objet d'un traitement de désinfection	
	eau de qualité non potable nécessitant un traitement	
	eau inapte à la production d'eau potable	
5 CLASSES POUR LES AUTRES USAGES ET LA CARACTÉRISATION DE "L'ÉTAT PATRIMONIAL"		
	Usages : industrie, énergie, irrigation et abreuvage	État patrimonial
	aptitude très bonne	eau dont la composition est naturelle ou sub-naturelle
	aptitude bonne	eau dont la composition est proche de sa composition naturelle ou sub-naturelle mais détection d'une contamination d'origine anthropique
	aptitude passable	contamination moyenne par rapport à l'état naturel
	aptitude mauvaise	contamination importante par rapport à l'état naturel
	inapte pour satisfaire l'usage	contamination très importante par rapport à l'état naturel

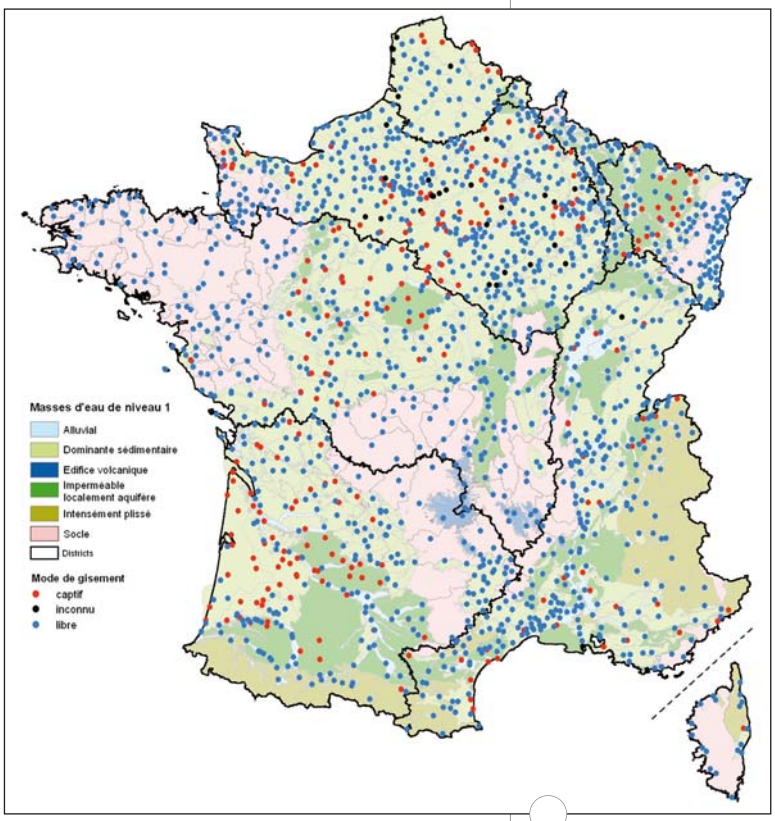
Les acteurs de l'eau

De nombreux acteurs participent en France à la connaissance et au suivi quantitatif et qualitatif des eaux souterraines, conformément à la directive-cadre européenne.

Savoir pour prévoir

La gestion des eaux souterraines concerne aussi bien leur état qualitatif que quantitatif. Le suivi des prélèvements incombe aux Agences de l'eau. Les services déconcentrés du ministère en charge de la santé sont chargés du contrôle sanitaire des eaux brutes destinées à la production d'eau potable, des eaux distribuées au robinet et des eaux embouteillées, ainsi que de l'instruction des procédures de DUP des captages utilisés pour l'alimentation en eau potable. Le BRGM, par convention avec l'État et plus particulièrement l'ONEMA, a en charge le suivi piézométrique (état quantitatif).

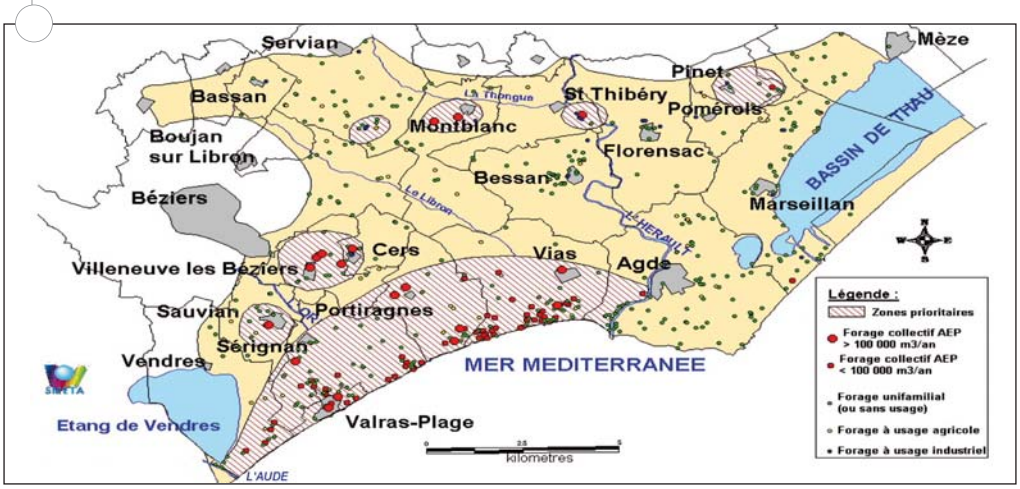
Ce suivi est alimenté grâce à des mesures de terrain, sans cesse actualisées, associées à



© SIE

Le contrat de la nappe Astienne (Hérault)

Tout comme le SAGE, les contrats de nappes sont des outils d'intervention à l'échelle du sous bassin. Ils fixent pour une nappe donnée des objectifs en termes de qualité et de quantité : programme d'action sur 5 ans, désignation des maîtres d'ouvrage, du mode de financement, des échéances des travaux, etc. Pour la nappe Astienne qui s'étend sur une vingtaine de communes, deux contrats de nappe ont précédé l'élaboration du SAGE de la nappe Astienne.



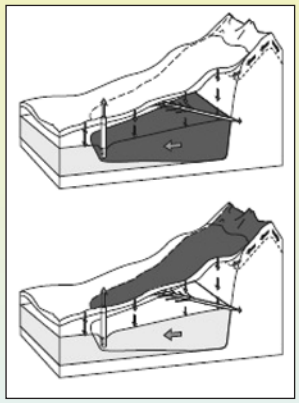
© SMETA

Réseau de surveillance de la qualité des masses d'eaux souterraines

Ce réseau de contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eaux souterraines, qui comporte plus de 1 800 points, est conforme aux prescriptions de la DCE. Les données qu'il recueille sont sans cesse actualisées, pour permettre un suivi de l'évolution de la qualité des eaux souterraines.

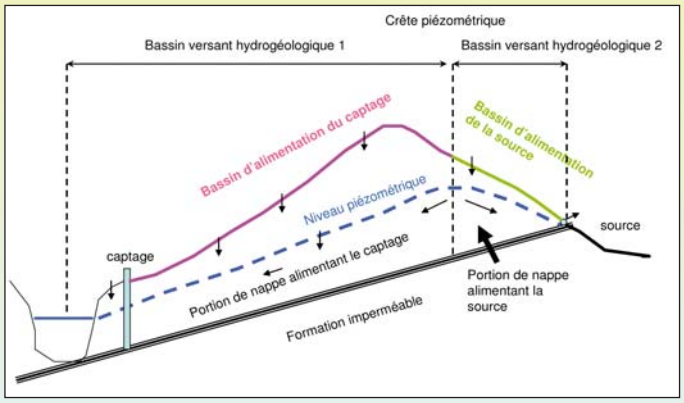
le Grenelle Environnement

Le Grenelle de l'environnement a précisé que l'objectif fixé par la directive-cadre européenne sur l'eau devrait être atteint pour deux tiers des masses d'eau en 2015. Il s'agit surtout des eaux de surface, car les eaux souterraines, du fait de leur inertie, mettront plus longtemps à se régénérer. Dans un contexte de changement climatique, les eaux souterraines sont cependant considérées comme des réserves ultimes à protéger d'urgence, d'autant que ces changements vont très probablement peser sur la ressource. Une modification possible des composantes atmosphériques, du régime des nappes ou du niveau des océans impose donc un inventaire des savoir-faire et le déclenchement de recherches pour disposer de solutions innovantes en cas de nécessité. Enfin, à la nécessaire protection des captages par les périmètres de protection, va venir s'ajouter celle de 500 nouveaux captages jugés comme prioritaires afin de lutter contre les pollutions diffuses grâce aux zones de protection des aires d'alimentation de captages issues de la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (voir schémas ci-contre).



© BRGM

En haut : partie de nappe alimentant le captage (PNAC). En bas : aire d'alimentation de captage* (AAC).

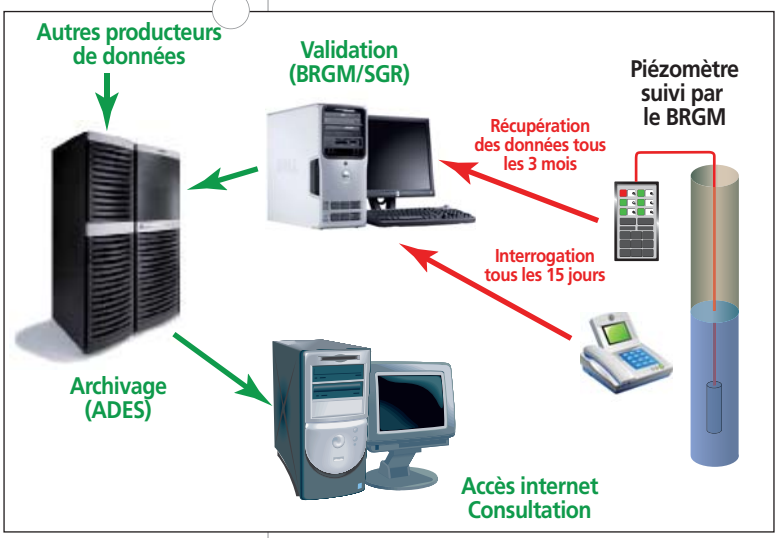


L'aire d'alimentation du captage est le lieu des points de la surface du sol, qui contribuent à l'alimentation du captage. L'aire d'alimentation du captage (en violet) est définie, ici, en considérant que la surface située entre la crête topographique et la crête piézométrique est infiltrante.

Mise à disposition des données des réseaux de piézomètres

Les données recueillies à partir des piézomètres sont télétransmises à intervalles réguliers. Après validation, elles sont archivées et mises à disposition via internet.

des modélisations, qui permettent d'évaluer les risques. Ces données sont nécessaires à une bonne gestion locale. Elles le sont aussi pour orienter la politique de la France en la matière et pour répondre maintenant aux exigences de la directive-cadre européenne sur l'eau.

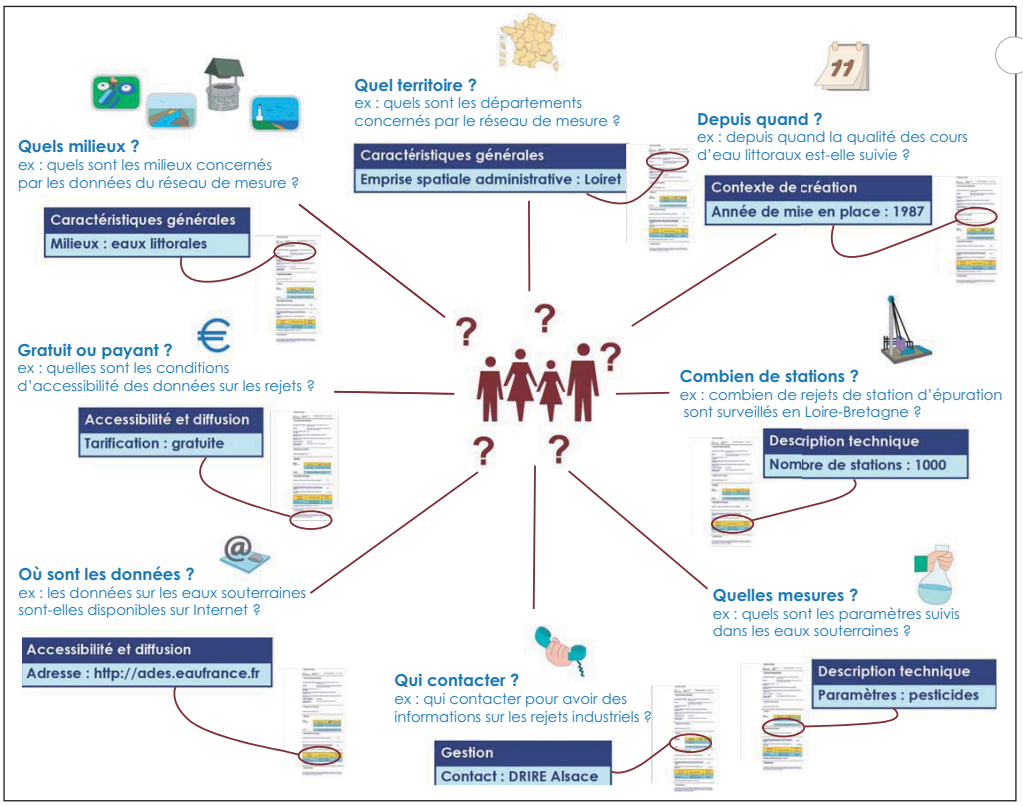


© BRGM Im@gé

Enfin, la récolte d'informations est également importante à l'échelle planétaire. L'eau appartient au patrimoine de l'humanité et la France doit rendre des comptes dans le cadre de conventions internationales. Ces différents stades de données et de connaissances font intervenir de nombreux acteurs de l'État : établissements publics de recherche, agences de l'eau, collectivités, opérateurs de terrain, qui doivent aujourd'hui se mobiliser et se coordonner pour répondre aux exigences de la DCE.

Une organisation en poupées russes

L'hydrogéologue, qui relève les mesures sur le terrain, constitue le premier maillon de la chaîne des acteurs. À l'heure actuelle, les équipements installés permettent la télétransmission des données depuis la plupart des points d'observation des nappes. Mais ces derniers sont nombreux et appartiennent à des réseaux différents. Ne serait-ce que dans le domaine de la mesure quantitative de la res-



source, les piézomètres sont suivis par divers maîtres d'ouvrage : essentiellement les services de l'État en charge de l'environnement, le BRGM et les collectivités territoriales, qui mettent en place et gèrent ces réseaux.

Ces réseaux élémentaires sont eux-mêmes regroupés pour des besoins de gestion et d'information en réseaux départementaux, réseaux régionaux et réseaux de bassin.

Dans plusieurs régions (Aquitaine, Limousin, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes...) des systèmes d'information pour la gestion des eaux souterraines (SIGES) ou, cas de la Bretagne et du Limousin, des Systèmes d'information pour la localisation et l'utilisation des ressources en eau souterraine (SILURES) rassemblent et synthétisent les données régionales, tout comme en Ile-de-France (*diren-idf-eaux-souterraines.brgm.fr*). Ces informations destinées à l'ensemble des opérateurs impliqués dans la gestion de l'eau, sont accessibles par Internet (*sigesaqi, sigespoc, sigesmpy.brgm.fr*...). En Rhône-Alpes, le site *Starther.brgm.fr* (suivi et traitement actif des données sur la ressource eau thermale) constitue un outil d'aide au suivi qualité de la ressource des stations thermales. Au niveau des départements et des bassins, il existe aussi des systèmes d'information géographique, comme en Rhône-Méditerranée (*rhone-mediterrannee.eaufrance.fr*).

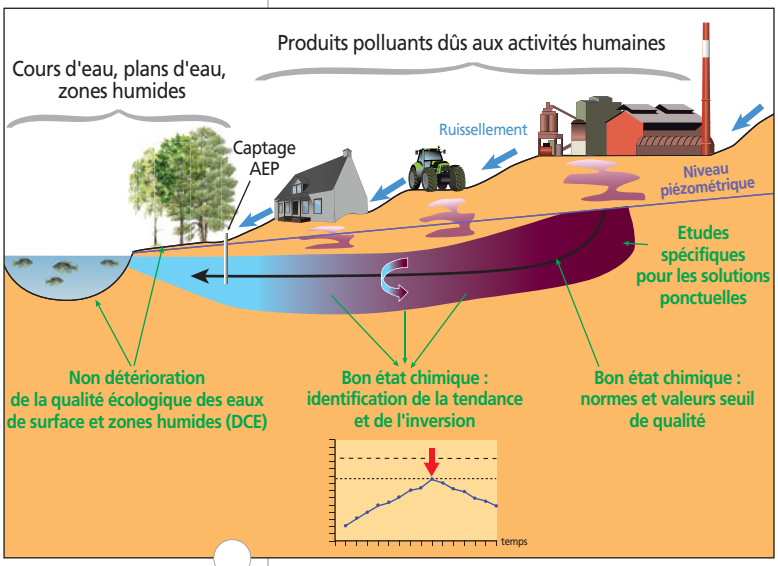
Le réseau national de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines correspond à l'agrégat supérieur. Il est destiné à l'information de l'administration française et de la Commission européenne. Il se trouve sous la responsabilité du ministère chargé de l'écologie. Pour commencer à clarifier la situation, sous l'égide du tout jeune Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), la gestion nationale du réseau piézométrique par le BRGM, est susceptible de s'agrandir et d'intégrer en son sein des réseaux de surveillance faisant passer ainsi le réseau national de 1100 à 1600 points d'observation. Les informations recueillies viendront enrichir la banque nationale de données sur les eaux souterraines (ADES).

Disc'eau, l'aide à la recherche des réseaux de données sur l'eau

La banque nationale DISC'EAU permet d'accéder, par internet, au descriptif de la plupart des réseaux de mesure, des enquêtes, des déclarations et des dispositifs d'autosurveillance. Elle permet, à tous les acteurs de l'eau, de disposer de manière pérenne d'informations fiables, actualisées et pertinentes. *www.sandre.eaufrance.fr/disceau*

Tout est lié

La DCE s'adresse à toutes les eaux du pays : eaux de surface (côtières, fluviales et lacustres) aussi bien que souterraines. Elle vise une politique de gestion intégrée de la ressource en eau étroitement liée à la notion de développement durable. L'objectif fixé par la DCE – l'atteinte du bon état chimique et écologique des masses d'eau d'ici 2015 – nécessite de développer des relations avec d'autres acteurs impliqués dans l'aménagement du territoire, l'agriculture, le transport, l'urbanisme, etc.



© BRGM Im@gé

Inverser les tendances à la hausse de la mauvaise qualité des nappes

La DCE prévoit d'identifier le mauvais état chimique d'une masse d'eau et d'en inverser la tendance significative et durable à la hausse, sans oublier de prendre en compte les pollutions ponctuelles.

La préservation du milieu marin fait appel aux chercheurs de l'Institut francais de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) ; la protection des sols ou la réduction des polluants agricoles aux chercheurs de l'INRA et du Cemagref, tandis que le traitement de la pollution des sols impliquera des ingénieurs de l'Institut national de l'environnement et des risques (Ineris). Le CNRS ou encore l'École des mines de Paris mènent des travaux au sein du Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine (Piren Seine). Quant à l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), la thématique de l'eau potable constitue l'une de ses orientations stratégiques, tandis que l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) anime l'observatoire des résidus de pesticides (ORP) et veille sur les dangers nouveaux ou mal maîtrisés liés au grand cycle de l'eau.

Malgré son foisonnement, qui reflète la complexité du problème, l'expérience française dans le domaine de l'eau est une réussite et sert d'exemple à de nombreux pays. Elle est à l'origine de la coopération avec d'autres États de l'Union européenne mais aussi d'Europe centrale, orientale et du pourtour méditerranéen. Forte de ses compétences, la France intervient également dans le cadre de l'Agence européenne pour l'environnement, du réseau Eurogeosurveys ou de l'Unesco. Elle est active depuis leurs débuts dans les forums mondiaux, qui, à la suite de la Conférence de Rio de 1992, permettent de sensibiliser le public et les décideurs aux problèmes d'accès à l'eau.

L'avenir des eaux souterraines

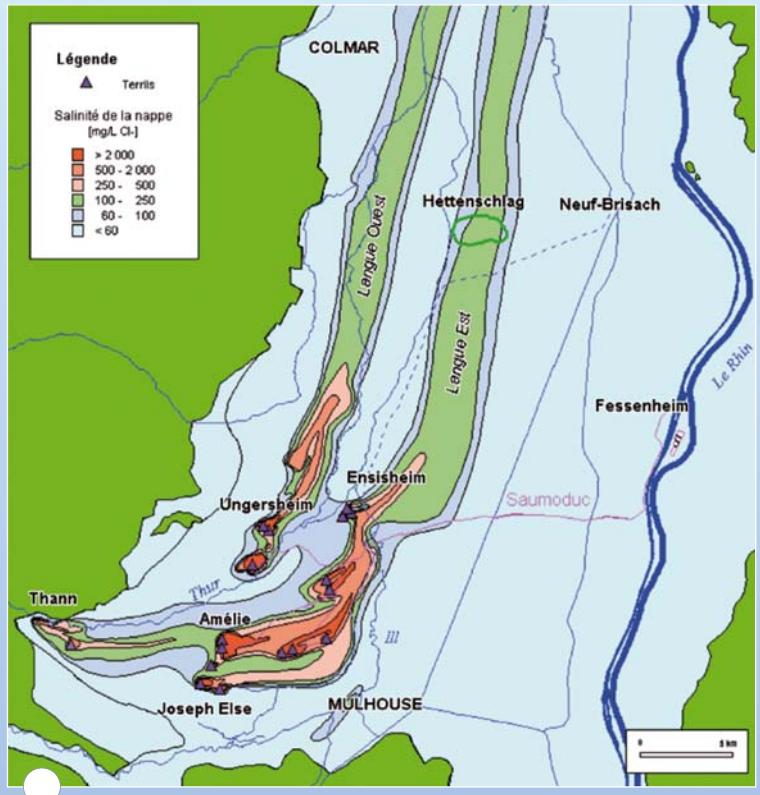
Sur le long terme, on s'aperçoit que les améliorations de l'état du cycle de l'eau sont surtout dues aux traitements des rejets ponctuels, urbains et industriels. Les dégradations actuelles proviennent principalement des pollutions diffuses agricoles, qui sont en voie de stabilisation. Mais, la présence de micropolluants toxiques, chimiques ou biologiques, constitue un nouveau problème très préoccupant. Les dégradations, bien que moins spectaculaires qu'auparavant, présentent un caractère chronique et les améliorations ont atteint une phase asymptotique, qui n'est pas, hélas, celle du bon état des milieux préconisé par la DCE.

Sur le plan quantitatif, on constate une surexploitation de la ressource, tous secteurs confondus. La persistance de la baisse du niveau de plusieurs grands systèmes aquifères superficiels et profonds révèle, de façon plus aiguë, les épisodes de sécheresse et la surexploitation estivale des eaux de surface pour l'irrigation.

Pourtant, en ce début du XXIe siècle, la preuve de l'importance des eaux souterraines n'est plus à apporter. Considérées comme un patrimoine précieux, elles doivent être gérées dans un souci de développement durable. À l'heure où des incertitudes pèsent sur le changement climatique, ces mesures sont plus que jamais urgentes.

La reconquête de la qualité de la nappe d'Alsace

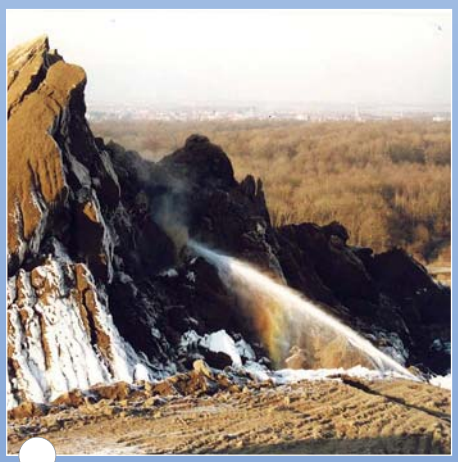
Appelée nappe d'Alsace du côté français, la nappe phréatique rhénane est contenue dans les alluvions déposées par le Rhin et ses affluents dans le fossé rhénan. C'est l'aquifère de France qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études et de recherches, compte tenu de son intérêt économique majeur. Dès la fin des années 60, la commission interministérielle d'étude de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace (Cienpa) a lancé des études de modélisation afin de définir les modes d'alimentation de la nappe et d'établir des bilans. Parallèlement, des cartographies hydrogéologiques transfrontalières ont été établies dans le cadre du programme communautaire "Interreg" et de nombreux travaux franco-allemands ont été réalisés en termes de cartographie, d'écoulements hydrodynamiques et de surveillance de la nappe.
Sur le plan quantitatif, le suivi des niveaux piézométriques est géré par l'association pour la protection de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace (Aprona) grâce à un réseau de 200 points. Les bilans effectués montrent l'influence prépondérante des cours d'eau dans le renouvellement de la nappe : ils apportent 85 % des eaux infiltrées et reprennent 78 % des eaux drainées. Le taux de renouvellement de l'eau de la nappe est de 2 % par an.



© BRGM / MDPA

Concentrations en chlorure exprimées en mg/l entre 0 et 40 m de profondeur, observées en 2005.

Sur le plan qualitatif, en raison de sa faible profondeur et de sa facilité d'accès, la nappe d'Alsace est très vulnérable aux pollutions anthropiques du fait de l'absence de protection en surface par des formations imperméables. Ainsi, les activités agricoles, industrielles, urbaines et d'extractions de granulats ont dégradé au fil du temps la qualité de la nappe : nitrates, pesticides et pollutions industrielles. En particulier, l'exploitation de la potasse dans la région de Mulhouse, de 1913 à 2003, est à l'origine d'une forte pollution saline de la nappe qui s'étend sur plusieurs dizaines de km, résultant surtout du lessivage des terrils de sel (sous-produit du chlorure de potassium) et dans une moindre mesure, du rejet direct en rivière via un "saumoduc". En 1975 plus de 130 km² de surface de la nappe étaient affectés d'une salinité dépassant 200 mg/l.



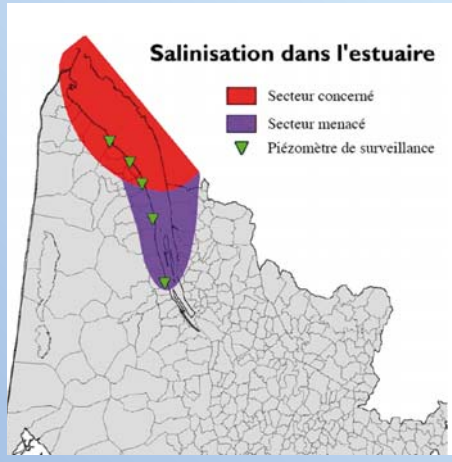
© MDPA

Terril Marie-Louise
Dissolution accélérée par canon d'arrosage intensif.

Depuis une trentaine d'années, d'importantes mesures ont été mises en œuvre : convention de Bonn de 1976 prévoyant une limitation des rejets de sel au Rhin, réalisation de puits de fixation à l'aval des terrils, dissolution accélérée de parties de terrils salés par arrosage intensif, implantation de puits de dépollution dans les langues très salées. Aujourd'hui la concentration en sel régresse, mais on estime qu'il faudra encore dépolluer la nappe pendant encore une vingtaine d'années pour arriver à une situation acceptable pour sa qualité. Les travaux de modélisation menés par le BRGM indiquent que la nappe phréatique sera largement débarrassée de la problématique des chlorures en surface d'ici 2015 et en profondeur d'ici 2027, échéances posées par la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE).

Les eaux souterraines et le changement climatique

Toutes les eaux souterraines en France ne sont pas directement tributaires de la météorologie, ni des aléas du climat. Selon certains modèles, en cas de réchauffement de la planète, les nappes profondes et captives garderont encore très longtemps leur réserve d'eau. Les nappes libres peu profondes des plaines et des plateaux, comme celles du Bassin parisien, de la Beauce et de la Brie, et celles plus pauvres des massifs anciens, ne devront pas non plus être trop affectées. Elles sont alimentées par les pluies infiltrées, essentiellement en hiver. Le changement climatique doit se traduire par des précipitations plus abondantes en cette saison, mais également par une augmentation de l'évapotranspiration due à la hausse de la température. La balance devrait donc s'équilibrer. Les nappes littorales (nappe de l'Éocène et, plus proche de la surface, nappe de l'Oligocène) risquent, quant à elles, de souffrir davantage. Par suite de la montée du niveau de la mer (de 15 à 30 cm d'ici la fin du siècle), elles pourraient être menacées de contamination par de l'eau salée ; notamment au fond des estuaires, entre la Gironde et la nappe bordelaise par exemple.



© Sage nappes profondes de Gironde

Réduire les invasions salines dans la nappe de l'Éocène

Dans l'estuaire de la Gironde, trois affleurements de l'Éocène présentent des risques potentiels d'invasion saline. En 1965, les eaux étaient douces avec une minéralisation de 0,3 mg/l. Aujourd'hui les 3 forages de contrôle situés les plus au Nord mesurent des concentrations de 4 à 6 g/l dues à l'intrusion de sel dans la nappe mise en dépression. Pour faire reculer ces intrusions, qui risquent de s'accentuer avec le réchauffement climatique, il faut restaurer une contre-pression en réduisant les prélèvements d'eau dans la nappe, particulièrement en période d'étiage.

Cette volonté est reflétée dans de nombreux textes législatifs. De la DCE à la Loi sur l'eau de décembre 2006, les mesures ne manquent pas, il suffit de les mettre en œuvre.

La recherche a également son rôle à jouer. La gestion durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques soulève des défis scientifiques majeurs à l'interface de nombreuses disciplines : améliorer la connaissance de l'écoulement des eaux du sous-sol et de la circulation des polluants, quantifier le bon état écologique, anticiper les effets du changement climatique sur les ressources en eau, évaluer les impacts des activités humaines, détecter des polluants émergents à de très faibles doses et évaluer leurs risques à long terme...

Mais rien ne se fera sans un désir commun, du simple citoyen aux instances officielles, de protéger vraiment ce bien précieux. La protection de l'eau se heurte, en effet, à de nombreux conflits d'intérêt. À titre d'exemples, l'agriculture moderne, principale source de pollution de l'eau aujourd'hui, est toujours au programme de la future politique agricole commune, et près de la moitié des jardiniers amateurs utilisent des pesticides.

Protéger les eaux souterraines est un investissement à long terme. Du fait de leur inertie il faudra plusieurs générations avant que certaines nappes retrouvent leur qualité. Une raison de plus pour commencer maintenant.

La source du Lison (Doubs)
Protéger les eaux souterraines est un investissement à long terme.

© A. Darcy

Organismes participant à l'ouvrage

Ministères

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

La Direction de l'eau et de la biodiversité du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer élabore, anime et évalue les politiques relatives à la connaissance, à la protection, à la police, à la gestion de l'eau et des milieux aquatiques continentaux, littoraux et marins et à la pêche en eau douce, à la gestion équilibrée des eaux superficielles et souterraines, des estuaires et des eaux littorales ainsi qu'à la protection des eaux marines contre les pollutions, y compris accidentelles, et à l'assainissement des eaux.
Elle élabore les différentes politiques techniques qui concourent à la politique de l'eau, et les réglementations afférentes. Elle assure la coordination de l'action des ministères dans le domaine de l'eau, et le secrétariat de la mission interministérielle de l'eau et du Comité national de l'eau et elle exerce la tutelle de plusieurs établissements publics, dont les Agences de l'eau et l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Ministère de la Santé et des Sports - Direction Générale de la Santé

La Direction Générale de la Santé (DGS) est l'une des trois grandes directions techniques du ministère en charge de la santé. Ses missions sont axées sur la santé publique et la sécurité sanitaire. La DGS conduit notamment la politique de prévention et de gestion des risques liés aux milieux de vie et à l'alimentation. Dans le domaine de l'eau, la DGS veille à protéger la population dans les différents usages de l'eau (eaux potables, eaux de loisirs, eaux chaudes sanitaires, eaux conditionnées, eaux usées, ...).
À cet effet, elle élabore les textes législatifs et réglementaires correspondants dans le respect des dispositions communautaires, coordonne les réseaux locaux de surveillance de la qualité des eaux pilotés par les directions départementales et régionales des affaires sanitaires et sociales, définit les exigences de qualité des eaux en s'appuyant sur les instances nationales d'expertise, agrée les laboratoires d'analyses pour le contrôle sanitaire des eaux, coordonne la procédure d'agrément des hydrogéologues et élabore les bilans nationaux et les rapports pour la Commission européenne sur la qualité des eaux.
Dans le domaine des eaux souterraines, la DGS et ses services déconcentrés sont chargés plus particulièrement de l'instruction des procédures d'instauration des périmètres de protection autour des captages et du contrôle sanitaire des eaux brutes destinées à la production d'eau potable, dont les résultats sont transmis dans la banque nationale de données ADES.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS

Établissements publics

Agences de l'eau

Les six agences de l'eau (Adour-Garonne, Artois-Picardie, Loire-Bretagne, Rhin-Meuse, Rhône-Méditerranée & Corse et Seine-Normandie) sont des établissements publics de l'État à caractère administratif, dotés de l'autonomie financière. Elles sont placées sous la tutelle du ministère chargé de l'écologie et celle du ministère chargé des finances.
Leur mission est de faciliter les diverses actions d'intérêt commun dans chaque bassin hydrographique telles que la préservation et l'amélioration de la ressource en eau, la lutte contre la pollution et la connaissance des milieux.
Les agences de l'eau perçoivent des redevances

Agences de l'Eau

auprès des différents usagers de l'eau pour la pollution que ceux-ci occasionnent et pour les prélèvements d'eau qu'ils effectuent. Ces fonds sont ensuite redistribués sous forme de prêts ou de subventions, aux collectivités locales, aux industriels et aux agriculteurs pour la réalisation de travaux :

- de lutte contre la pollution : construction, extension ou amélioration des stations d'épuration et des réseaux de collecte des eaux usées, mise en place de procédés de production plus propres, etc. ;
- de développement et de gestion des ressources en eaux superficielles et souterraines de restauration et d'entretien des milieux aquatiques.

Dans chaque circonscription, un Comité de bassin, composé de représentants des collectivités, des usagers (agriculteurs, industriels, associations) et de l'État fixe les grandes orientations du programme de l'Agence et le taux des redevances. Il élabore le SDAGE et veille à la cohérence de l'ensemble des SAGE. Outre-mer, des Offices de l'eau ont été créés en Guadeloupe, en Guyane, en Martinique, à La Réunion et prochainement à Mayotte.

ONEMA
Office national de l'eau et des milieux aquatiques

Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema)

Créé en avril 2007 suite à l'adoption de la loi sur l'eau du 30 décembre 2006, l'Onema est un établissement public de l'État sous tutelle du ministère chargé de l'écologie. Sa finalité est de favoriser une gestion globale et durable de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Sa création s'inscrit dans l'objectif fixé par la directive-cadre européenne sur l'eau de reconquête de la qualité des eaux et d'atteinte de leur bon état d'ici à 2015. Présent sur l'ensemble du territoire et compétent également au titre de la solidarité de bassin en Corse et dans les départements et collectivités d'outre-mer, l'Onema a pour mission de :

- mobiliser la recherche publique, soutenir des programmes de recherche et organiser une expertise de haut niveau pour accompagner et évaluer la mise en œuvre des politiques publiques de l'eau ;
- coordonner le système d'information sur l'eau et participer à l'acquisition des données relatives à l'eau et aux milieux aquatiques, aux activités et aux services associés ;
- mettre à disposition ces informations auprès des autorités européennes et nationales, des gestionnaires de l'eau, du public, etc. ;
- contribuer au contrôle des usages de l'eau et à la surveillance des milieux aquatiques, participer à la prévention de leur dégradation, à leur restauration et à la préservation de la biodiversité ;
- apporter aux acteurs de la gestion de l'eau son appui technique et sa connaissance de terrain.

Pour mener à bien ses missions, il travaille en étroite collaboration et en complémentarité avec l'ensemble des acteurs de l'eau.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

BRGM

Le BRGM est l'établissement public de référence dans le domaine des applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.
Ses missions sont la recherche scientifique, l'appui aux politiques publiques, la coopération internationale, la prévention et la sécurité minière. Ses objectifs sont de :

- comprendre les phénomènes géologiques, développer des méthodologies et techniques nouvelles, produire et diffuser des données de qualité ;
- mettre à disposition les outils nécessaires à la gestion du sol, du sous-sol et des ressources, à la prévention des risques naturels et des pollutions, aux politiques de réponse au changement climatique.

Par les compétences scientifiques et techniques qu'il développe depuis des décennies en matière d'identification, de caractérisation, de suivi et de gestion des ressources en eau souterraine, le BRGM occupe une position centrale, au carrefour des différentes problématiques liées à l'eau.
À l'État et à ses services, aux collectivités territoriales, aux gestionnaires de l'eau, le BRGM apporte son expertise unique dans la gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines, depuis l'aide à l'élaboration de la réglementation française jusqu'au suivi des masses d'eau, en passant par l'acquisition et la diffusion des connaissances, le développement de méthodologies et l'appui opérationnel aux acteurs de l'eau.

Compagnies privées et associations

Lyonnaise des Eaux

Au sein de Suez Environnement, Lyonnaise des Eaux intervient sur les marchés de la distribution d'eau et de l'assainissement. Elle propose ses services aux collectivités et aux industriels. L'entreprise dessert 19 % de la population française en eau, soit 12,3 millions de personnes. Elle collecte et dépollue des eaux usées de 18 % de la population française, soit 9 millions de personnes. Dans sa stratégie de développement, Lyonnaise des Eaux fait de l'innovation et de la satisfaction clients, collectivités et consommateurs, une double priorité. Ses savoir-faire en matière de gestion et de protection de la ressource garantissent la disponibilité et la qualité d'une eau bonne à boire. En matière d'assainissement, elle accompagne les collectivités dans leur effort de protection de l'environnement et de mise en conformité des installations aux normes européennes. Lyonnaise des Eaux a investi plus de 340 millions d'euros en 2007 dans le renouvellement, l'amélioration ou la construction des usines de traitement des eaux et des réseaux. Ses efforts de recherche menés en étroite liaison avec Suez Environnement visent à améliorer les offres, la qualité de service, la productivité et à garantir aux collectivités locales un service au juste prix. Formalisés en 12 axes structurants, les engagements de développement durable publiés en 2006 sont au cœur de sa stratégie de développement et de progrès. Lyonnaise des Eaux entend ainsi demeurer la référence de Suez Environnement dans les domaines de la gestion de l'eau et de l'assainissement.

Comité Français d'Hydrogéologie (CFH)

Fondé en 1973 par Gilbert Castany, le Comité Français d'Hydrogéologie (CFH) de l'**Association Internationale des Hydrogéologues (AIH)** a pour objectif de concourir à l'avancement de l'hydrogéologie théorique et appliquée. Il contribue aux progrès techniques de la recherche, de l'utilisation et de la protection des eaux souterraines. Il favorise aussi les relations au niveau national et international entre hydrogéologues. Le CFH regroupe 300 hydrogéologues issus des organismes publics (agences de l'eau, BRGM...), de l'administration, de l'université, de collectivités territoriales ou du privé. Depuis 1993, il organise chaque année un colloque national sur un thème différent et des visites techniques régionales, concernant les eaux souterraines. En 2006, sous son égide a été publié l'ouvrage Aquifères et eaux souterraines en France, un document de référence rédigé par 80 hydrogéologues de renom avec le parrainage de l'Académie des sciences. L'Association internationale des Hydrogéologues (AIH), créée en 1956 au congrès international géologique de Mexico, comprend 4 000 membres répartis dans 130 pays et un comité national dans 35 d'entre eux, dont le CFH.

Office international de l'eau

L'Office International de l'Eau (OIEau) est une association sans but lucratif et déclarée d'utilité publique. L'OIEau a vocation de réunir l'ensemble des organismes publics et privés impliqués dans la gestion et la protection des ressources en eau, en France, en Europe et dans le monde (organisations de coopération, ministères, agences de l'eau, collectivités territoriales, universités, centres de recherche, aménageurs régionaux, distributeurs et professionnels de leau, industriels, ...) afin de créer un réseau de partenaires. Il exerce des activités d'intérêt général dans le domaine de l'eau : formation professionnelle, diffusion d'informations, appui institutionnel à l'international pour la gestion de l'eau par bassins versants et la gouvernance des services d'eau et d'assainissement.

Glossaire

© B.F. Paris

Aire d'alimentation de captage. Elle correspond à la zone en surface sur laquelle l'eau, qui s'infiltre ou ruisselle, alimente le captage.

Aquifère. Corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée (ensemble de milieu solide et de l'eau contenue) suffisamment conducteur d'eau pour permettre l'écoulement d'une nappe souterraine et le captage d'une quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter aussi une zone non saturée.

Artésien jaillissant. Puits ou forage dans lequel l'eau monte plus haut que le toit de l'aquifère et s'écoule spontanément à la surface du sol. Ce type de puits exploite toujours une nappe captive.

Bassin hydrogéologique. Domaine aquifère simple ou complexe, dans lequel les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou un groupe d'exutoires. Il est délimité par une ligne de partage des eaux souterraines. C'est l'homologue souterrain d'un bassin versant pour les eaux de surface.

Bon état. Objectif fixé par la directive-cadre européenne sur l'eau à atteindre pour l'ensemble des eaux en 2015. Il correspond à la fois à un bon état chimique et écologique en précisant un niveau de satisfaction à atteindre pour différents types de paramètres, en comparaison à des états de référence définis à partir des sites naturels peu pollués.

Carte piézométrique. Carte donnant les niveaux d'eau dans le sous-sol. Elle est représentée par des courbes ou hydroisohypses, qui rejoignent les mêmes niveaux d'eau dans le sous sol.

Drainance. Phénomène de passage d'eau à travers une formation semi-perméable et échange entre celle-ci et un aquifère contigu, généralement captif.

Eau minérale naturelle. Eau microbiologiquement saine, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source. Elle témoigne d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition (teneur en minéraux, oligoéléments, etc.) et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée. Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine : par sa nature (caractérisée par sa teneur en minéraux, oligoéléments ou autres constituants) et par sa pureté originelle, l'une et l'autre caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution.

Écoulement. Les pluies efficaces sont à l'origine des écoulements superficiel et souterrain. Par comparaison avec l'écoulement superficiel, l'écoulement souterrain peut être lent, différé et de longue durée (quelques heures à plusieurs milliers d'années).

Évapotranspiration. L'émission de la vapeur d'eau ou évapotranspiration (exprimée en mm), résulte de l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, et de la transpiration des plantes. La recharge des nappes par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal, peut être limitée, car la majorité de l'eau est évapotranspirée par la végétation.

Fluctuation de la nappe. Ensemble de mouvements, alternant baisse et montée des niveaux de surface libre d'une nappe, au cours d'une période de temps définie, pouvant se différencier en différents cycles de fluctuation, qui obéissent aux événements naturels, tels que les précipitations, les crues et les étiages (niveaux de plus basses eaux) des rivières.

Gradient hydraulique. Perte de charge hydraulique entre deux points d'un aquifère par unité de distance selon une direction donnée. On le calcule en plaçant deux piézomètres distants de L mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau Δh des piézomètres et la distance L. On peut aussi utiliser les cartes piézométriques en mesurant la distance entre 2 courbes hydroisohypses consécutives.

Hydrodynamique. Partie de l'hydrogéologie et de l'hydraulique relative à l'écoulement des eaux souterraines et aux lois qui les régissent.

Hydrogéochimie. Connaissance des caractéristiques chimiques ou physico-chimiques des eaux souterraines, des processus de leur acquisition et des lois, qui régissent les échanges entre l'eau, le sol et le sous-sol.

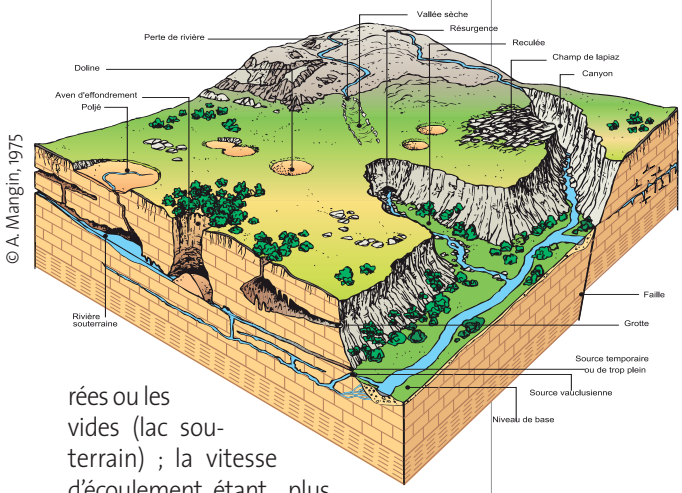
Hydrogéologie. Science des eaux souterraines, comprise dans les sciences de la Terre et application de ces connaissances aux actions humaines sur les eaux souterraines notamment à leur prospection, à leur captage et à leur protection.

Infiltration (**recharge**). L'infiltration est le processus physique par lequel l'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes.

Jaugeage. Ensemble des opérations, des mesures et des calculs destinés à déterminer le débit d'un cours d'eau, d'un canal, d'une source en un point donné, appelé "station de jaugeage" sur un cours d'eau.

Karst. Aquifère en terrain calcaire dont le comportement est caractérisé par une hétérogénéité et un compartimentage du réservoir, qui se traduisent par deux grands types de fonctions :

- la fonction conductrice, qui donne lieu à des écoulements rapides par les conduits karstiques interconnectés (rivière souterraine) ; ce mécanisme explique la grande vulnérabilité de ce type d'aquifère aux pollutions ;
- la fonction capacitive, qui permet le stockage de l'eau dans les zones fissurées ou les vides (lac souterrain) ; la vitesse d'écoulement étant plus lente, ces eaux sont moins vulnérables.



© A. Mangin, 1975

Masse d'eau. Milieu aquatique homogène : un lac, un réservoir, une partie de rivière ou de fleuve, une nappe d'eau souterraine. Une masse d'eau souterraine est un volume distinct à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères, dans lequel l'eau se renouvelle à court ou long terme. C'est l'unité de gestion de base du découpage de la DCE servant à l'évaluation de la qualité et de la quantité des masses d'eau.

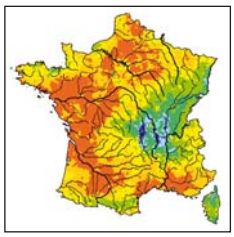
Milieu fissuré. Milieu perméable hétérogène et discontinu, dans lequel l'eau peut s'écouler à travers un réseau de fissures ouvertes et diversement connectées.

Milieu poreux. Milieu perméable (roche, sol) comportant des vides interstitiels interconnectés assimilables macroscopiquement à un milieu continu, à la différence d'un milieu fissuré.

Nappe d'eau souterraine. Ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Perméabilité. Propriété d'un corps, d'un milieu solide – notamment un sol, une roche – à se laisser pénétrer et traverser par un fluide, notamment l'eau, sous l'effet d'un gradient de potentiel.

Pluies efficaces. Exprimées en mm, et égales à la différence entre les précipitations


© Météo France, pluies efficaces

totales et l'évapotranspiration, les précipitations efficaces sont calculées directement à partir des paramètres climatiques et de la réserve utile du sol (RU). L'eau des précipitations efficaces est répartie, au niveau du sol, en deux fractions : l'écoulement superficiel et l'infiltration.

Pollution diffuse. Pollution non identifiée géographiquement, dont les sources sont nombreuses, difficilement identifiables, par exemple, la pollution par lessivage de produits agricoles épandus sur les sols, suite à des pluies.

Porosité. Propriété d'un milieu, d'un sol ou d'une roche, de comporter des pores, c'est-à-dire des vides interstitiels interconnectés ou non.

Piézomètre. Tube d'observation du niveau d'eau foré dans le sol et le sous-sol.

© DR

Réseau de mesures. Dispositif de collecte de données correspondant à un ensemble de stations de mesure répondant à au moins une finalité particulière. Chaque réseau respecte des règles qui visent à garantir la cohérence des observations, notamment pour la densité et la finalité des stations de mesure, la sélection de paramètres obligatoires, le choix des protocoles de mesure, et la détermination d'une périodicité respectée. L'ensemble de ces règles est fixé dans un protocole. Exemple : Réseau national de surveillance des eaux souterraines, Réseau quantitatif de bassin.

Ressource en eau souterraine. Toutes les eaux souterraines ne constituent pas des ressources, soit parce qu'elles ne sont pas accessibles et exploitables, techniquement et économiquement, soit parce qu'il faut les préserver pour conserver leur contribution à l'alimentation des eaux de surface. La ressource exploitable est le plafond à respecter, sous peine de surexploitation.

Ruissellement ou écoulement superficiel. Il correspond à la part de la pluie, qui n'est pas absorbée par le sol, mais qui s'écoule par de petites rigoles à la surface, jusqu'à atteindre le réseau naturel de drainage du bassin versant. Ce phénomène se produit lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, ou lorsque le sol déjà saturé jusqu'en surface ne peut plus absorber les précipitations. L'eau est chargée en matière dissoute et en suspension.

SDAGE. Né de la loi sur l'eau de 1992, le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) fixe pour chaque bassin hydrographique les orientations d'une gestion équilibrée de la ressource en eau, dans l'intérêt général et le respect des principes de la loi sur l'eau. Ce document d'orientation s'impose aux décisions de l'État, des collectivités et établissements publics dans le domaine de l'eau, notamment pour la délivrance des autorisations administratives (rejets, etc.) ; les documents de planification en matière d'urbanisme doivent être compatibles avec les orientations fondamentales et les objectifs du SDAGE. À un niveau plus local, pour un périmètre hydrographique cohérent, le schéma d'aménagement et de gestion des eaux (**SAGE**) est établi par une Commission locale de l'eau (CLE) représentant les divers acteurs locaux.

Surexploitation. Extraction d'eau d'un réservoir souterrain en quantité supérieure au taux moyen de réalimentation, ou pouvant occasionner des impacts inacceptables sur les eaux de surface ou les écosystèmes.

Système aquifère. C'est l'ensemble du champ spatial continu dans lequel les effets de diverses impulsions naturelles ou artificielles, plus ou moins localisées et continues ou discontinues (apports ou soustractions d'eau, naturels ou artificiels, variations de niveau aux limites), peuvent se propager librement et influencer, par conséquent, le fonctionnement hydraulique, les écoulements et l'état des stocks, à terme défini dans le temps (réponse du système).

Zone saturée. Zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant dans un aquifère, une nappe d'eau souterraine.

Pour en savoir plus

Sites internet

Portail national sur l'eau : *http://www.eaufrance.fr*
Accès aux données sur les eaux souterraines : *http://www.ades.eaufrance.fr*
Sandre, portail de normalisation et données de référence sur l'eau : *http://sandre.eaufrance.fr*
Programme de surveillance de l'état des eaux : *http://www.surveillance.eaufrance.fr*
Gest'eau, le site des outils de gestion intégrée de l'eau (SAGE) : *http://www.gesteau.eaufrance.fr*
Remontées de nappes, crues, inondations : *http://www.inondationsnappes.fr*
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat : *http://www.developpement-durable.gouv.fr*
Ministère de la Santé et des Sports (dossier Eau) : *http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/eau/accueil.htm*
Bureau de Recherches Géologiques et Minières : *http://www.brgm.fr*
Lyonnaise des Eaux : *http://www.lyonnaise-des-eaux.fr*
Office International de l'Eau : *http://www.oieau.fr*
Office national de l'eau et des milieux aquatiques : *http://www.onema.fr*
Comité Français d'Hydrogéologie : *http://www.cfh-aih.fr*
Portail du système d'information européen sur l'eau : *www.water.europa.eu*

Agences de l'eau : • **Adour-Garonne :** *http://www.eau-adour-garonne.fr*
• **Artois-Picardie :** *http://www.eau-artois-picardie.fr* • **Loire-Bretagne :** *http://www.eau-loire-bretagne.fr*
• **Rhin-Meuse :** *http://www.eau-rhin-meuse.fr* • **Rhône-Méditerranée et Corse :** *http://www.eaurmc.fr*
• **Seine-Normandie :** *http://www.eau-seine-normandie.fr*

Offices de l'eau : • **Guadeloupe :** *http://www.guadeloupe.ecologie.gouv.fr/Eau* • **Guyane :** *http://www.cg973.fr/Office-de-l-eau-de-la-Guyane* • **Martinique :** *http://www.eaumartinique.fr*
• **Mayotte :** *http://www.hydro-mayotte.agriculture.gouv.fr* • **Réunion :** *http://www.eaureunion.fr*

Ouvrages

- *Aquifères et eaux souterraines de France*, Collectif, sous la direction de Jean-Claude Roux, Éditions BRGM-AIH, 2006, 956 p. en 2 tomes, ISSN : 2-7159-0980-2.
- *Les eaux souterraines, connaissances et gestion*, Jean-Jacques Collin, Éditions BRGM et Hermann, 2004, 184 p., ISBN : 2-7159-0910-1
- *L'eau potable en France 2005-2006, du captage au robinet du consommateur*, Direction générale de la santé et DRASS, Ministère en charge de la santé, 2008, 64 p., ISBN : 2-7159-2440-6
- *Qualité naturelle des eaux souterraines*, Guide technique sous la direction de Laurence Chéry, Éditions BRGM, 2006, 240 p., ISBN : 2-7159-0973-X.
- *Guide qualité pour la ressource en eau minérale et thermale,* Philippe Vigouroux, Ed. BRGM, 2005, 82 p., ISBN : 2-7159-0959-4
- *Code de la santé publique*, consultable sur : http://www.legifrance.gouv.fr.
- *Les eaux continentales*, rapport de l'Académie des sciences sous la direction de Ghislain de Marsily, Editions EDP Sciences, 2006, 328 p., ISBN 2-86883-863-4
- *Les eaux souterraines dans le monde*, Jean Margat, Éd. BRGM-Unesco, 2008, ISBN : 978-2-7159-2452-9.
- *Protection des eaux souterraines en Europe. La nouvelle directive sur les eaux souterraines, une consolidation du cadre réglementaire de l'UE*, Commission européenne, 2008, 35 p., ISBN 978-92-79-09819-2

BRGM Éditions
Collection *Les enjeux des Géosciences*

Directeur de collection
Jacques Varet

Comité de rédaction
Agence de l'eau Seine-Normandie : Jacques Bories
BRGM : Ariane Blum, Laurence Chery
Comité Français d'Hydrogéologie : Jean Margat, Jean-Claude Roux
Lyonnaise des Eaux : Daniel Villessot
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer : Alain Paillou
Ministère de la Santé et des Sports (Direction générale de la santé) : Bérengère Ledunois
Office International de l'Eau : Dominique Preux
Onema : Christian Jourdan, René Lalement

Rédaction
Martine Castello, Michel Bouchi-Lamontagne

Conception et réalisation
BL Communication

Impression
Imprimerie Vincent, Tours

Collection *Les enjeux des Géosciences*
Direction de la Communication et des Éditions du BRGM
ISSN : 1775-7533 - Dépôt légal, juillet 2009.
Coédition BRGM - Onema - CFH
Avec la participation du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, du Ministère de la Santé et des Sports (DGS), des Agences de l'Eau et de Lyonnaise des Eaux.

Tous droits réservés.
Reproduction partielle sur autorisation expresse.

Déjà parus
- **Pour une Terre durable**, juin 2003 et novembre 2005 (versions française et anglaise)
- **L'après-mine en France**, coédition Charbonnages de France - BRGM - École des Mines de Paris, décembre 2006
- **Capter et stocker le CO_2 dans le sous-sol**, coédition ADEME - BRGM - IFP, octobre 2007 (versions française et anglaise)
- **Le risque sismique en France**, coédition AFPS - BRGM - CSTB - EDF - LCPC - MEEDDM, mars 2008
- **La géothermie**, coédition ADEME - BRGM, novembre 2008

Imprimé avec des encres végétales sur du papier provenant d'une forêt durablement gérée par un imprimeur certifié PEFC™, et qui, conformément à la marque Imprim'Vert, n'utilise pas de produits toxiques, sécurise le stockage des produits et déchets dangereux et organise leur collecte.

PEFC
PEFC/10-31-1087
PROMOUVOIR LA GESTION DURABLE DE LA FORÊT

IMPRIM'VERT
Votre imprimeur agit pour l'environnement

Photo de couverture : Source de la Loue dans le Jura (© A. Clerget)

Les eaux souterraines en France

Ce livre présente la place essentielle des eaux souterraines dans le cycle de l'eau et dans la satisfaction des besoins en eau de l'industrie, de l'irrigation et de l'alimentation en eau potable dont elles assurent, en France, les deux tiers des volumes produits.

Particulièrement vulnérables en raison de leur renouvellement très lent, les eaux souterraines font aujourd'hui l'objet d'une surveillance et d'un suivi pour mieux comprendre l'évolution de leur qualité et de leur régime. L'ouvrage décrit les mesures et l'organisation mises en œuvre en France pour que les masses d'eau souterraine atteignent le bon état général demandé par la directive-cadre européenne sur l'eau (DCE). Avec la loi sur l'eau de 2006 qui donne plus de poids aux schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE), la création de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema) et le renforcement du système d'information sur l'eau (SIE), la France dispose des atouts pour une gestion optimale et durable de ses eaux souterraines.

Ce livre s'adresse à un large public : collectivités territoriales, services de l'État, professionnels, enseignants, particuliers...

ONEMA
Office national de l'eau et des milieux aquatiques

Onema
"Le Nadar" Hall C
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
Tél. : 01 45 14 36 00

www.onema.fr

Agences de l'Eau

www.lesagencesdeleau.fr

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer
92055 La Défense Cedex
Tél. : 01 40 81 21 22

www.developpement-durable.gouv.fr

Ministère de la Santé et des Sports
Direction Générale de la Santé
14 avenue Duquesne
75350 Paris 07 SP
Tél. : 01 40 56 60 00

www.sante-sports.gouv.fr

suez environnement
Lyonnaise des Eaux

Lyonnaise des Eaux
11, place Edouard VII
75316 Paris Cedex 09
Tél. 01 58 18 40 00

www.lyonnaise-des-eaux.fr

CFH

CFH "Comité Français d'Hydrogéologie" de l'AIH
3, avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
Tél. : 02 38 64 38 86

www.cfh-aih.fr

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude Guillemin - BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
Tél. : 02 38 64 30 28

editions.brgm.fr

ISBN : 978-2-7159-2461-1
Réf. BRGM : ENJ008

9 782715 924611

Prix : 15 €