

N° d'ordre... الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
Département des Sciences de l'Environnement

# *Polycopié*

*Présenté par :*

Dr. MELIANI Habib (MC-A)

*Intitulé*

***GESTION DES  
RESSOURCES EN EAU***

Polycopié validé par le conseil scientifique de la faculté SNV en date du 28 Avril 2022

***Polycopié destiné aux étudiants inscrits en :***

**Master :**

- ✓ Biotechnologie et valorisation des plantes
- ✓ Ecologie végétale et environnement
- ✓ Eau et environnement

**Année Universitaire 2021/2022**



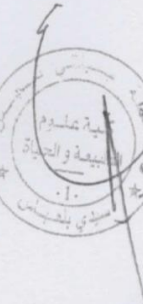
Extrait du Procès Verbal de la réunion  
du Conseil Scientifique du 28/04/2022

L'an deux mille vingt deux et le Jeudi vingt huit (28) du mois d'Avril, s'est tenue à 10h00', une réunion extraordinaire du Conseil Scientifique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'Université Djilali Liabès, sous la présidence du **Pr AMAR Youcef**.

Département des Sciences de l'environnement

Dans son point d'ordre du jour « Divers », Le CSF a émis un avis favorable à la diffusion du polycopié proposé par **Dr MELIANI Habib MC-A (UDL/SBA)**, intitulé : "**Gestion des ressources en eau**", et ce suite aux rapports d'expertises concluants, établis par **Dr. BENNABI Faiza (MCA/UDL/SBA)** et **Dr. AYACHE Abbassia (MCA/UDL/SBA)**

Le Doyen

  
عميد كلية علوم الطبيعة والحياة  
بالتنسيقية  
أ.د. : بوزيدي محمد علي

Le Président du Conseil Scientifique

  
أ.د. : بوزيدي محمد علي

## **Avant-propos**

Ce polycopie est un support pédagogique et il a été rédigé pour :

Etre destiné aux étudiants de la 1<sup>ère</sup> année Master :  
**Biotechnologie et valorisation des plantes, Ecologie végétale et environnement, Ecologie des milieux naturels et Eau et environnement.**

Il concerne aussi les étudiants : Master en fin de cycle pour les projets de fin d'études.

Permettre aux naturalistes qui se destinent à l'enseignement où à la recherche.

Ce polycopié est mis à la disposition des étudiants afin d'acquérir les informations de base dans le domaine de la gestion de l'eau, ainsi que les méthodes d'exploitation, de protection des réserves hydriques.

Ce document s'articule autour de trois axes de recherche : généralités sur l'eau dans la vie, cycle et voyage de l'eau, les types d'eau et la gestion, économie et politique de l'eau.

# **SOMMAIRE**

**I-INTRODUCTION**

**II-GENERALITES SUR L'EAU DANS LA VIE**

**III-LE CYCLE ET LES VOYAGES DE L'EAU**

**IV- LES RESSOURCES HYDRIQUES**

**V- GESTION INTEGREE DES RESSOURCES**

**VI- UTILISATION DE LA METHODE DRASTIC POUR LA GESTION DES EAUX**

**VII-LA GEOTHERMIE**

**VIII-LES SOURCES CHAUDES**

**IX-RESEAU D'ASSAINISSEMENT (DISTRIBUTION)**

**X-ECONOMIE ET POLITIQUE DE L'EAU**

## **I-INTRODUCTION**

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes les activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable et devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques.

L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous porte et nous nourrit ; elle constitue un des éléments familiers de notre vie quotidienne (**GROSCLAUDE, 1999**).

En couvrant plus de 71% de la surface terrestre, l'eau constitue l'élément le plus abondant sur notre planète. Mais malheureusement, la disponibilité en eau douce n'est que de l'ordre de 0,4%, puisque 97% constituent les océans et les mers, le reste est bloqué dans les glaciers et les nappes profondes (**TIERCELIN, 1998**).

Pour son bien être, l'homme a appris à maîtriser l'eau, mais en même temps il l'a rend impropre et polluée et devient dans ce cas une menace pour la vie et un obstacle pour la santé et les progrès des populations. De manière générale la santé de l'homme est altérée si l'eau dont il dispose est de mauvaise qualité ou bien si elle est polluée par des agents pathogènes. Actuellement on remarque que les maladies liées à l'eau sont de plus en plus répandues et qu'elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission. Pour pouvoir l'utiliser, elle doit répondre à certaines caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui dépendent de type d'utilisation.

Avoir de l'eau à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Elle peut être aussi source de maladie du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles, par des excréta et divers déchets organiques. La pollution de l'eau est un phénomène mondial qui n'épargne ni les océans, ni les eaux terrestres. Elle met en cause, par le biais des chaînes alimentaires, la santé des populations (**CAZABAN et al., 2005**).

Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, du développement de l'industrie et l'accroissement des activités humaines qui à leur tour engendrent une pollution des ressources disponibles les rendant ainsi impropres à la consommation. La pollution de l'eau engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines a fait qu'aujourd'hui, l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement (**KAORUKO et al., 2008**).

Cette ressource aussi précieuse que vitale, les hommes doivent en disposer en quantité et en qualité. L'accès à une eau de boisson saine est incontestablement bénéfique pour la santé. Selon **MAYOR (1997)**, cette ressource rare, essentielle pour la vie, doit être considérée comme un trésor naturel faisant partie de l'héritage commun de l'humanité et par conséquent, pour certains, un bien public qui doit demeurer sous contrôle public. Cette ressource indispensable à la vie, non substituable, et, qui plus est, existante en quantités fixes, pourrait devenir au prochain siècle l'enjeu de conflits géopolitiques et commerciaux de grande envergure. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) 2,6 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable et 1,8 millions dont 90% d'enfants de moins de cinq ans en meurent chaque année surtout dans les pays en développement où les mesures d'hygiène et les infrastructures sanitaires de base sont insuffisantes ou inexistantes et 80 % des causes de morbidité dans le monde sont d'origine hydrique. Dans les mécanismes vitaux, l'eau joue à la fois le rôle de support, de véhicule de germes indices de pollution qui sont pour la plupart d'origine fécale. La gastro-entérite est la maladie la plus fréquemment associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales et entraîne des conséquences très graves sur la santé. D'autres maladies plus rares comme les hépatites ou les méningites peuvent aussi être provoquées par l'ingestion d'eau contaminée.

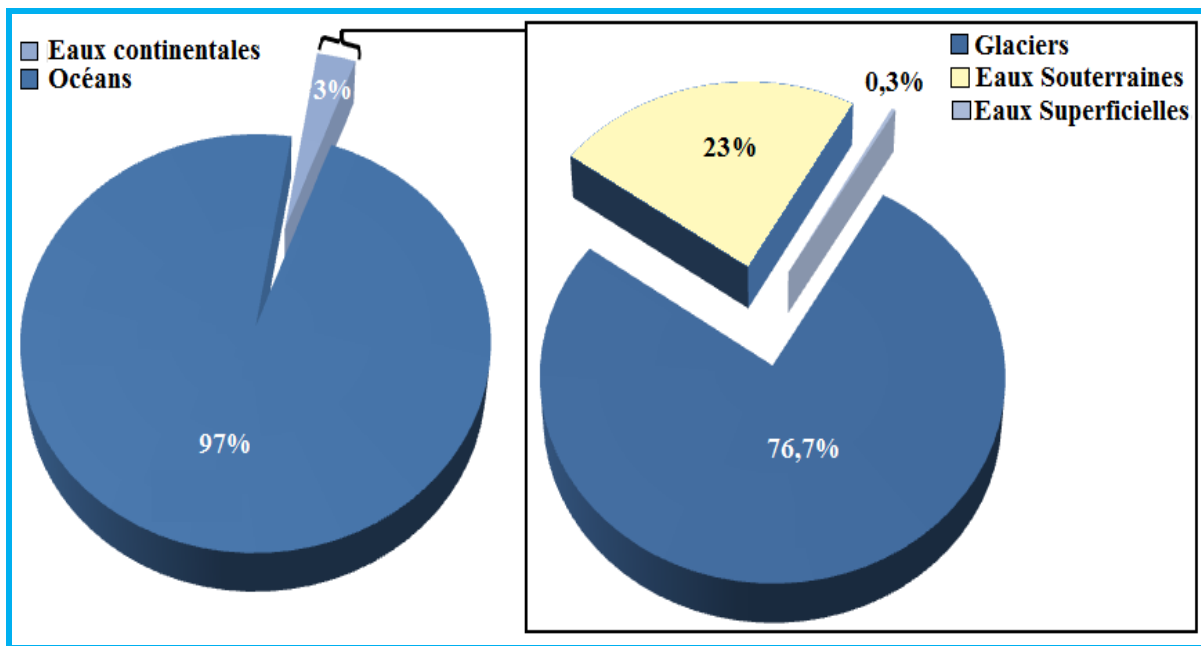
Au niveau national, l'eau reste un élément vital mal géré dans la plupart des agglomérations algériennes. La mobilisation de cette ressource tout azimut constitue la stratégie pratiquée avec ses répercussions tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Malgré des efforts importants consentis dans ce volet, les carences restent très prononcées et leurs conséquences se traduisent par des différences remarquables entre le volume d'eau mobilisé et le volume réellement mis à la disposition du consommateur **(BOUZIANI, 2006)**.

## **II-GENERALITES SUR L'EAU DANS LA VIE**

La terre est immensément riche en eau. La totalité de l'eau qu'elle contient forme ce qu'on appelle l'hydrosphère. Elle constitue la ressource la plus abondante où elle recouvre les trois quarts ( $\frac{3}{4}$ ) ou (71%) de la surface de notre planète **(HARROIS-MONIN, 1977)**.

Sous ses trois états (liquide, solide et gazeux), la quantité d'eau présente sur terre est estimée à environ 1400 millions de km<sup>3</sup>, dont 97% sont salées. Parmi les 3% restants, représentant l'eau douce,  $\frac{3}{4}$  sont bloqués dans les glaciers et les nappes phréatiques plus profondes.

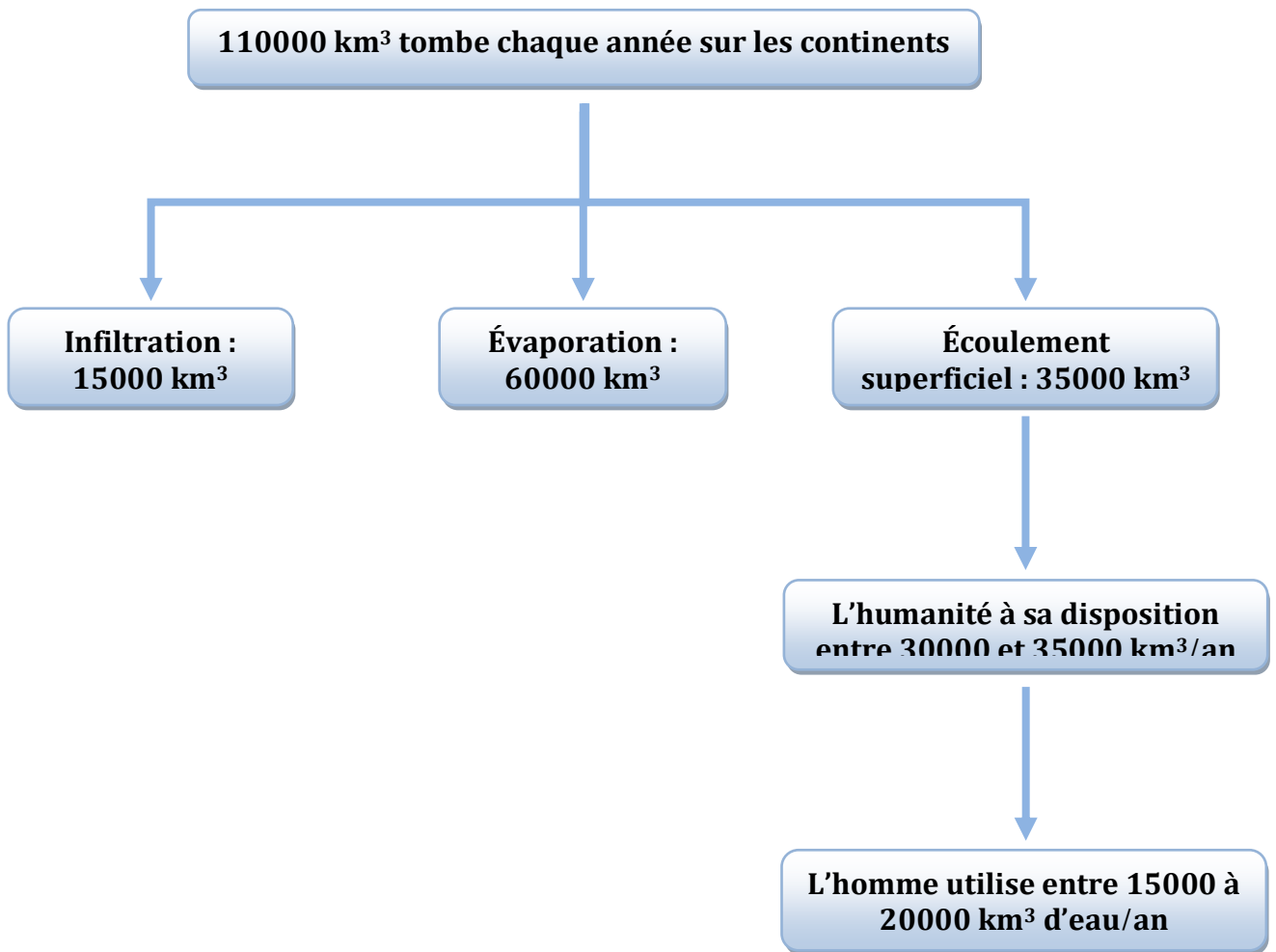
Seul le  $\frac{1}{4}$  restant est donc utilisable, soit 0,3% des disponibilités totales pouvant être directement exploitables par l'homme (fig. n°1) **(BOUZIANI, 2006)**.



**Figure n°1 : Réservoirs en eaux dans le monde (BOUZIANI, 2006).**

A l'échelle de la planète, l'eau est suffisamment importante, il n'y a pas de risque de pénurie globale. Approximativement, les précipitations représentent annuellement 400000 km<sup>3</sup> sur toute la surface du globe, soit 110000 km<sup>3</sup> sur l'ensemble des terres émergées, dont 30000 à 35 000 km<sup>3</sup> sont disponibles pour l'homme où il n'utilise que 15000 à 20000 km<sup>3</sup> d'eau par an (fig. n°2) (HARROIS-MONIN, 1977).





**Figure n°2 : Précipitations et leurs destinations à travers le globe  
(HARROIS-MONIN, 1977)**

D'après **Lecomte (1998)**, une partie de l'eau de pluie qui arrive sur le sol ruisselle et s'écoule dans les cours d'eau. Parfois, elle est interceptée soit par des ouvrages construits par l'homme tels que les barrages et les retenues, soit par des dépressions naturelles et forment les lacs. De la sorte, les eaux courantes ou dormantes à la surface des terres émergées constituent les eaux superficielles.

L'autre partie s'infiltré dans le sol et constitue les eaux souterraines, détectées dans les profondeurs des nappes phréatiques.

Ces deux types d'eaux sont souvent opposés et diffèrent par leur situation et leur mode de circulation.

Il rajoute que les eaux souterraines sont dotées de certaines caractéristiques, dues principalement à leurs provinces diverses et leurs microfaunes spécifiques.

## **1. L'eau et la vie**

L'eau permet la vie animale et végétale : c'est l'élément indispensable à toute forme de vie et est le principal constituant des êtres vivants. Sans eau, aucun organisme ne peut vivre, avec l'eau, la vie peut exister même dans les milieux les plus inhospitaliers comme les systèmes hydrothermaux des dorsales océaniques ou les faunes et flores qui survivent dans le désert (**BORDET, 2007**).

À titre d'exemple, l'eau constitue les deux tiers ( $\frac{2}{3}$ ) du poids du corps de l'être humain adulte, 97 % chez le fœtus de deux mois, qui passe à 75 % chez le nouveau né. Chez le végétal, la contenance de l'eau varie selon les espèces : les céréales contiennent 75 % d'eau, les légumes frais renferment 90 % et les salades 95 % (**GODART, 2002**).

Sans eau, les organismes vivants terrestres ne peuvent ni se créer, ni subsister. Toutes les activités humaines, d'une façon évidente ou au contraire masquée, exigent de l'eau pour être exercées. Mais l'eau est très inégalement répartie à la surface de la Terre et les besoins en eau se manifestent souvent à quelques distances des ressources pouvant les satisfaire.

La multiplicité des formes de l'eau est infinie et se traduit sur un territoire par des étangs, méandres, seuils, rivières ou torrents... . L'eau est toujours un élément structurant de son environnement. Elle est à l'origine du paysage et un élément de celui-ci. Elle le structure.

Donc, l'eau est à la fois cause et effet des transferts de substances et d'énergies entre les éléments de divers écosystèmes. Elle est aussi créatrice de la biodiversité, fondement de l'évolution. Le cycle de l'eau est un élément fondamental du système global de la vie sur notre planète (**BORDET, 2007**).

## **2. Eau d'alimentation**

"Une eau potable ou eau de boisson, est une eau dont la composition et les qualités sont telles qu'elles ne puissent porter atteinte à la santé des consommateurs". Elle peut être définie, en se référant à l'**OMS (1998)**, comme une eau ne renfermant en quantités dangereuses, ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être "aussi agréable à boire que les circonstances le permettent" (**BONTOUX, 1993**).

Cette définition amène à certaines constatations ; elle introduit un critère de référence sanitaire qui est essentiel, mais aussi un critère d'agrément à la consommation dont l'incidence n'est pas négligeable dans la pratique de la distribution d'eau potable. Ces constatations ont pour conséquences que l'eau de boisson n'est pas une eau distillée et stérile. Elle doit contenir des éléments minéraux en solution (sels, gaz dissous), qui sont indispensables au bon goût de l'eau et participent à l'équilibre du régime alimentaire. Elle peut contenir des micro-organismes dans la mesure où ils ne provoquent aucun effet pathogène et ne créent aucun gêne au consommateur.

On désigne par AEP "Alimentation en Eau Potable ou Adduction en Eau Potable", l'ensemble des interventions humaines qui aboutissent à la fourniture d'eau chez le consommateur, à savoir la production d'eau de qualité potable et sa distribution.

Selon **BONTOUX (1993)**, deux unités d'exploitation se distinguent :

La production de l'eau potable. Elle consiste à prélever l'eau "brute" dans le milieu naturel par captage de nappes souterraines ou d'une ressource superficielle (rivière, fleuve, barrage ...), à traiter si nécessaire l'eau prélevée pour la rendre potable, puis à la transporter sur le lieu où elle sera distribuée ;

La distribution d'eau potable. Elle débute à l'aval d'un point de stockage (château d'eau, par exemple) ou d'un point de livraison, matérialisé par un compteur d'eau, ou d'un point de traitement, situé après le point de production. Elle comprend les réseaux publics et les canalisations intérieures des bâtiments, jusqu'au robinet de l'abonné.

Les services concernés par l'adduction en eau potable ont pour objet de fournir, à tout usager domestique ou professionnel, une eau courante présentant en permanence des qualités la rendant propre à la consommation humaine. De plus, ils gèrent la distribution d'eau brute destinée aux besoins agricoles ou industriels.

### **3. Évaluations des besoins en eau dans le monde**

L'eau est l'élément de la nature qui illustre le mieux les liens étroits qui existent entre l'homme et son environnement. Cette liaison est particulièrement étroite pour les besoins en eau de l'homme, puisqu'il consomme des quantités énormes d'eau et en pollue la totalité. Les besoins en eau se multiplient avec l'accroissement des populations, l'urbanisation et le développement économique, industriel et agricole (**BETHEMONT, 1977**).

#### **3.1. Besoins agricoles**

Sont très importants pour le développement de l'élevage, de l'agriculture et afin d'assurer une autosuffisance alimentaire. Actuellement, 12% des terres sont cultivées, soit 1,5 milliards d'hectares sur un total de 13,1 milliards. Une large part de l'agriculture est non irriguée, mais les terres qui le sont représentent environ 1/5 de l'ensemble des sols arables des pays en développement. Environ 15 % de l'eau agricole est utilisée pour l'irrigation, soit de 2 000 à 2 500 km<sup>3</sup>/an. Les terres

irriguées des pays développés représentent environ 25 % dans le monde. A cet effet, les besoins varient selon les régions et selon le type de plante. Il faut par exemple 1000 litres d'eau, pour produire un kilo de blé, 1400 litres pour produire 1kg de riz, et 13000 litres, pour produire 1kg de bœuf (BOUZIANI, 2006).

Étant donné que la population de ces pays développés augmente lentement, c'est dans les pays en développement, où la pression démographique est forte, que l'irrigation se développera (UNESCO, 2003).

### **3.2. Besoins industriels**

L'industrie, qui est un moteur essentiel de la croissance économique et joue un rôle décisif au niveau de la réalisation des objectifs de développement du millénaire, exige des ressources appropriées en eau de bonne qualité. On estime qu'en 1995, l'industrie utilisait 725 km<sup>3</sup>/an d'eau et qu'en 2025, ce chiffre atteindra environ 1170 km<sup>3</sup>/an. L'usage industriel représentera ainsi 24% de l'ensemble des prélèvements. Une grande partie de cette augmentation se produira dans les pays en développement dont les industries sont désormais dans une phase d'expansion rapide (UNESCO, 2003).

L'augmentation prévue pour la demande en eau par l'industrie ne peut être satisfaite qu'en intégrant de meilleures analyses de l'offre dans une gestion rationnelle de la demande, tant au niveau des gouvernements que des entreprises. Les initiatives touchant à la demande jouent un rôle important au niveau de l'efficacité de l'eau utilisée dans le cadre industriel et de la diminution de la charge polluante des effluents rejetés par l'industrie. Dans l'industrie, l'eau est couramment utilisée, et souvent en grandes quantités, dans le cadre de procédés de fabrication (pour laver, cuire, refroidir, etc.). À titre d'exemple, on estime qu'il faut 100 à 200 m<sup>3</sup> d'eau pour fabriquer une tonne d'acier et plus de 3500 litres d'eau pour préparer une tonne de ciment. L'eau rejetée par les industries peut donc être de mauvaise qualité et, sauf si elle est traitée de façon appropriée, elle représente une menace pour les eaux de surface et souterraines dans lesquelles elle est déversée. L'industrie peut constituer une menace chronique, en raison des rejets constants d'effluents, ou

une menace aiguë lorsqu'une défaillance accidentelle engendre une pollution intense pendant une courte période (UNESCO, 2003).

La dégradation des ressources en eau par les activités industrielles ne se limite pas aux ressources «locales» en eau douce. Au niveau mondial, la concentration croissante de la population et des industries dans les zones côtières est à l'origine d'un appauvrissement des habitats côtiers et de la population qui en dépend. Par ailleurs, les émissions dans l'atmosphère de polluants organiques persistants, par exemple, peuvent affecter des eaux très éloignées des centres industriels (GROSCLAUDE, 1999).

### **3.3. Besoins domestiques**

Chez l'individu, les besoins corporels en eau sont plus impératifs que tout autre besoin, à part l'oxygène. Les usages domestiques de l'eau sont les plus importants et les plus diversifiés pour l'homme. Pour des raisons de disponibilité, la consommation domestique de l'eau est restée longtemps réduite. En effet, l'eau n'était pas facilement accessible : il fallait aller la chercher à la source, au puits ou à la fontaine.

### **4-L'importance de l'eau dans notre vie quotidienne**

L'eau a une énorme importance pour les êtres vivants, elle est indispensable à la vie, elle est omniprésente sur la terre, elle recouvre environ 70 % de la surface de la terre.

### **5-Les réservoirs naturels de l'eau**

- Les réservoirs naturels de l'eau sont :
  - ✓ Eaux superficielles
  - ✓ Eaux souterraines
  - ✓ Atmosphère
  - ✓ Glaciers
- Les réservoirs de l'eau s'appellent l'hydrosphère
- L'eau est répartie sur la terre de la manière suivante

**Tableau n°01 : Les réservoirs naturels de l'eau (Webmaster 2)**

Les réservoirs	Rivières et lacs	Mers et océans	Atmosphère	Glaciers	Eaux souterraines
Le pourcentage d'eau	0,01 %	97,2 %	0,001 %	2,1 %	0,6 %

- L'eau salée représente 97,2 % de l'hydrosphère .
- L'eau douce représente 2,8 % de l'hydrosphère .
- Les réservoirs de l'eau douce doivent être protégés .

### Les états physiques de l'eau

L'eau se trouve sur la terre sous trois états physiques :

- ✓ L'état solide
- ✓ L'état liquide
- ✓ L'état gazeux

**Tableau n°02 : Les états physiques de l'eau (Webmaster 2)**

L'état solide	L'état liquide	L'état gazeux
Neige Glace Givre Grêle	Pluie Nuages brouillard	Vapeur d'eau

### **III-LE CYCLE ET LES VOYAGES DE L'EAU**

L'eau opère un circuit fermé qui est le même depuis des milliards d'années. L'eau des mers s'évapore dans l'atmosphère sous l'effet de la chaleur du soleil. Elle forme ensuite des nuages qui vont se déplacer sous l'impulsion des vents.

**(Webmaster2)**

Aidées par l'effet de gravité, les gouttelettes qui constituent les nuages s'alourdissent et retombent sur le sol sous forme de précipitations (pluie, grêle, neige).

Ces eaux pluviales vont permettre d'alimenter les nappes phréatiques souterraines qui vont recharger les cours d'eau, lesquels se jetteront à leur tour dans la mer.

Et ainsi, de la mer au ciel, du ciel à la terre et de la terre à la mer, le voyage de l'eau recommence à l'infini.

L'eau circule sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment. Au sein d'un même bassin, tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle. **(Webmaster 2)**

**Le cycle de l'eau se décompose en plusieurs étapes :**

#### **L'évaporation**

Grâce à l'énergie solaire, l'eau des mers et des océans s'évapore dans l'atmosphère en se débarrassant de son sel et de ses impuretés. L'évaporation peut également provenir de la terre, nous parlerons alors d'évapotranspiration. C'est un phénomène qui transforme en vapeur d'eau les eaux des rivières, des lacs, des sols, des animaux, des hommes et surtout de la végétation. Cette vapeur d'eau viendra ensuite s'accumuler dans les nuages, de la même manière que l'évaporation des mers et océans. **(Webmaster 2)**



## **La condensation**

Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en gouttelettes qui vont former les nuages, la brume ou le brouillard. **(Webmaster 2)**

## **Les précipitations**

Sous l'impulsion des vents, les nuages se déplacent dans l'atmosphère. Lors d'un changement climatique et par effet de gravité, les nuages s'alourdissent et retombent sur le sol sous forme d'eaux pluviales, de grêle ou de neige. 79 % des précipitations tombent sur les océans, les 21 % restants tombent sur la terre puis viennent alimenter les nappes phréatiques, soit par infiltration, soit par ruissellement.

Les eaux de pluie qui pénètrent dans le sol par infiltration peuvent stagner jusqu'à des milliers d'années avant de retourner dans les océans. Un peu moins de la moitié des précipitations vont servir à recharger les nappes souterraines, le reste repart en évaporation.

L'eau qui ne parvient pas à s'infiltrer directement dans le sol, ruisselle le long des pentes pour se jeter ensuite dans les lacs et les rivières. Cette eau suivra leurs cours pour rejoindre les mers et les océans. **(Webmaster 2)**

Toutes les eaux issues du ruissellement (ruisseaux, rivières, fleuves, lacs) sont appelées cours d'eau de drainage.

## **La stagnation de l'eau dans les réservoirs naturels**

Durant son cycle, l'eau va passer dans différents réservoirs naturels pour y rester plus ou moins longtemps avant de reprendre son voyage vers les mers et les océans. Ce temps de stagnation s'appelle le temps de résidence de l'eau. Elle varie suivant les types de réservoirs :

Atmosphère : 8 jours

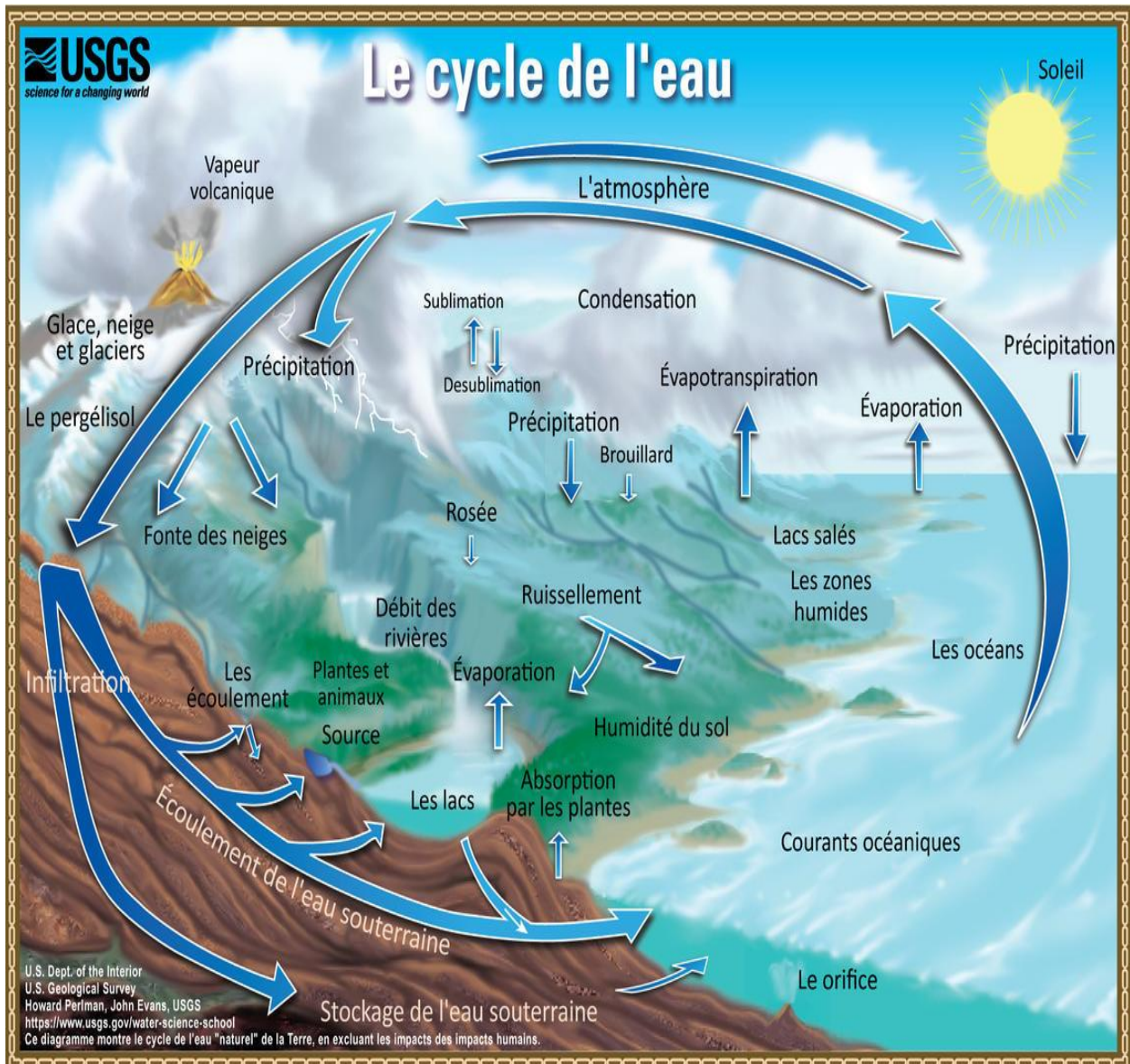
Rivières : quelques jours

Lacs : 17 ans

Nappes souterraines : de quelques jours à plusieurs milliers d'années

Océan : 2 500 ans

Glacier : plusieurs milliers d'années (**Webmaster 2**)



**Figure n°3 : Schéma sur le cycle de l'eau (Webmaster 1)**

## L'eau douce et l'eau salée

Notre planète contient un volume d'eau total d'environ 1,4 milliard de km<sup>3</sup>. Cette quantité d'eau demeure la même depuis son apparition sur Terre. Ces 1,4 milliard de km<sup>3</sup> se composent de 97,17 % d'eau salée et de 2,83 % d'eau douce. Ils forment l'hydrosphère, c'est-à-dire l'ensemble des réserves d'eau de la Terre.

L'eau salée couvre 2/3 de la surface de la Terre et se trouve dans les mers, les océans et les banquises. Le sel qu'elle contient provient des roches et des minéraux qui sont entrés en contact avec elle. **(Webmaster 2)**

L'eau douce provient essentiellement des précipitations. On la trouve à différents niveaux :

- à 76 % dans les glaciers
- à 22,5 % sous la terre : nappes phréatiques et nappes profondes et captives
- à 1,26 % sur la terre : eaux de surface (lacs, rivières, étangs...)
- à 0,04 % dans l'air : nuages, pluies, brouillard, brume **(Webmaster 2)**

La principale source d'eau douce de la planète provient de la fonte des glaces de la calotte glaciaire et des glaciers.

Bien que présente en faible quantité sur terre par rapport à l'eau salée, l'eau douce est essentielle à la vie. L'alimentation en eau douce permet notamment à l'homme de vivre en lui fournissant de quoi boire, se laver et cultiver de quoi se nourrir. **(Webmaster 2)**

### **Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont issues de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Elles forment deux types de nappes appelées également aquifères :

- les nappes phréatiques proches de la surface du sol
- les nappes captives qui sont plus profondes

Ces eaux sont ensuite recueillies par captage puis traitées dans des usines de traitement afin de produire de l'eau potable pour la consommation humaine.

**(Webmaster 2)**

### **Le cycle domestique de l'eau**

En parallèle du voyage éternellement renouvelé de l'eau sur notre planète, l'eau peut être détournée vers un autre cycle, plus court et restreint aux activités humaines. C'est grâce à ce petit voyage intérieur que nous pourrions utiliser l'eau du robinet pour notre consommation d'eau, la dépolluer après usage avant de la rendre au milieu naturel...

Pour assurer une bonne gestion de l'eau, le cycle domestique doit respecter plusieurs étapes :

- Le captage
- Le traitement
- Le stockage
- La distribution
- La collecte
- La dépollution
- Le retour à la nature (**Webmaster 2**)

62 % de l'eau potable provient des eaux souterraines, les 38 % restants proviennent des eaux superficielles (torrents, rivières, lacs). L'eau minérale et l'eau de source sont exclusivement d'origine souterraine alors que l'eau du robinet peut provenir d'origines multiples (eaux de surface, eaux souterraines...).

L'eau est prélevée par captage dans un forage ou un puit. Le sol servant de filtre naturel permet d'assurer une bonne qualité de l'eau. Mais un traitement s'impose pour offrir une eau potable, débarrassée de ses impuretés. (**Webmaster 2**)

## **IV- LES RESSOURCES HYDRIQUES**

La **ressource hydrique**, ou **ressource en eau**, comprend, au sens large, toutes les eaux accessibles comme ressources, c'est-à-dire utiles et disponibles pour l'être humain, les végétaux qu'il cultive, le bétail qu'il élève et les écosystèmes, à différents points du cycle de l'eau.

Cette ressource est limitée en quantité et en qualité (surtout en zone sèche). Elle est indispensable à la vie et à la plupart des activités humaines, telles que l'agriculture, l'industrie et aux usages domestiques (alimentation en eau potable). Elle est vitale pour le fonctionnement des écosystèmes terrestres.

Elle est localement menacée ou très dégradée par la pollution et l'eutrophisation. Il existe dans un nombre croissant de régions une surexploitation de la ressource ; les détournements ou prélèvements d'eau par pompage et pour l'irrigation sont tels qu'ils dépassent les seuils autorisant le renouvellement et l'autoépuration des masses d'eau superficielles ou des nappes phréatiques.

### **Les ressources en eau sur la planète**

Les nappes phréatiques, zones humides et cours d'eau sont très inégalement répartis sur la Terre, ce qui est source d'inégalités écologiques et de santé. L'accès à l'eau est parfois très contraint par sa profondeur ou l'indisponibilité de moyens de pompage, épuration, etc. pour les populations locales. Sa gestion nécessite donc une coopération inter-régionale et internationale, car pouvant entraîner des tensions entre régions ou États voisins dans de nombreuses parties du monde. Les effets cumulés du dérèglement climatique et ceux de la surexploitation et des pollutions (qui ne s'arrêtent pas aux frontières) - selon les prospectivistes - affecteront aussi la ressource en eau et les difficultés de sa gestion durable.

Parmi les objectifs du millénaire pour le développement en 2000 de l'ONU, l'un est de « réduire de moitié d'ici 2015 la proportion des personnes qui n'ont pas accès à l'eau potable ou qui n'ont pas les moyens de s'en procurer ». (**Webmaster 8**)

## **Volume et pourcentage d'eau sur Terre**

Sur la Terre, il y a l'eau visible : l'eau de mer, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines.

Si l'eau est très présente sur la Terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste environ que 1 % d'eau sous forme d'eau douce liquide.

Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

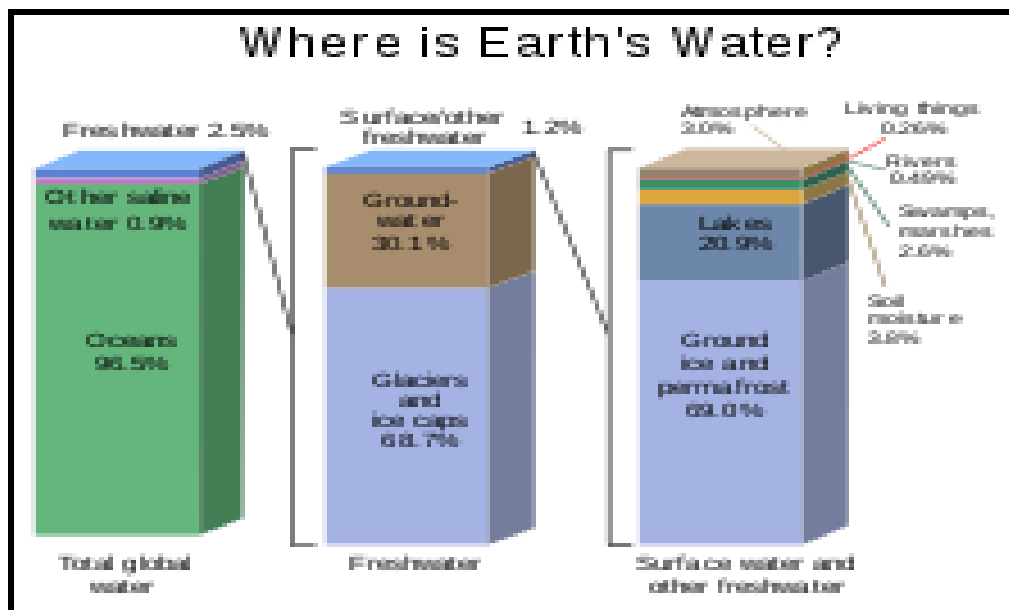
Les eaux de précipitations : atmosphère ;

Les eaux de surface : rivières, plans d'eau ;

Les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées par sources naturelles ou forages.

Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau. **(Webmaster 8)**

L'eau dans l'atmosphère est renouvelée tous les neuf jours, au cours de ce cycle hydrologique - évaporation - condensation - pluie - ruissellement - et retour à l'océan. En moyenne il tombe un mètre cube d'eau par mètre carré, soit 814 mm<sup>3</sup>, sur lesquels 56 % sont évaporés par les forêts et les paysages naturels. C'est dans les 44 % restants que l'humanité va puiser pour ses besoins, on parle d'eau agricole (dont 5 % par l'agriculture pluviale), d'eau industrielle et d'eau domestique. (Voir plus loin, Le cycle de l'eau). **(Webmaster 8)**



**Figure n° 4: Répartitions e l'eau sur terre (Webmaster 8)**

### **La consommation humaine**

Les utilisations de l'eau sont traditionnellement réparties entre secteurs domestique – l'eau domestique – agricole – l'eau agricole et industriel – l'eau industrielle –, en pourcentage de l'utilisation totale de l'eau:

#### **L'agriculture**

Utilise environ 70 % de toute la consommation d'eau douce sur la planète. Cette consommation est essentiellement le fait de l'agriculture irriguée, qui occupe environ 17 % des terres cultivées mais assure 40 % de la production agricole mondiale (le reste étant assurée par l'agriculture dite pluviale). Les surfaces irriguées ont environ doublé dans le monde depuis 1960.

#### **L'industrie**

Est responsable d'environ 20 % de la consommation mondiale d'eau douce, et cette consommation industrielle augmente beaucoup depuis les années 1950. L'eau est en effet essentielle pour beaucoup de processus industriels : elle sert à refroidir, laver, lubrifier...

Il faut 80 L d'eau pour produire 1 kg d'acier, 1 250 L pour 1 kg d'aluminium et 8 600 L pour produire une carte mémoire de six pouces.

## **La consommation domestique**

Pour la boisson, la cuisine, l'hygiène personnelle représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète.

Les modes d'utilisation de l'eau n'ont pas tous les mêmes conséquences. On considère ainsi que l'utilisation est moins destructrice de ressources naturelles lorsque l'eau, après utilisation, est à nouveau disponible (on parle d'eau prélevée) : c'est le cas des eaux domestiques retraitées et reversées dans les cours d'eau. Par contre, l'évaporation ou l'infiltration soustraient l'eau à une réutilisation immédiate, on parle d'eau consommée. **(Webmaster 8)**

## **Eau agricole**

Il faut 3 000 litres d'eau pour produire la ration alimentaire quotidienne d'un être humain<sup>14</sup>. Les recherches portant sur l'eau virtuelle, c'est-à-dire l'eau consommée lors du processus de production, indiquent que la consommation d'eau varie considérablement selon le type de nourriture produite : un végétarien consommera indirectement 1 500 litres d'eau par jour, contre 4 000 pour un amateur de viande, surtout s'il consomme du bœuf. **(CME, 2003)**

L'irrigation, qui utilise 10 % de cette eau, constitue la principale utilisation d'eau douce dans le monde. La méthode utilisée pour l'irrigation a des conséquences significatives sur le gaspillage de l'eau. Les rampes d'arrosage, moins coûteuses en argent, perdent de l'eau par évaporation ou écoulement. Un système de goutte à goutte au niveau des racines utilise l'eau de manière plus efficace pour des frais d'installation et de maintenance plus élevés. Par ailleurs le drainage accélère le flux et certains transferts de pollution (nitrates notamment). **(CME, 2003)**



## Eau industrielle

15 % des utilisations de l'eau concerneraient l'industrie (eau consommée).

Les centrales électriques prélèvent beaucoup d'eau pour le refroidissement, qu'elles rejettent aussitôt dans les eaux de surface (eau prélevée).

L'énergie hydraulique produit 19 % de l'électricité mondiale et peut constituer une source de développement pour des pays qui, comme en Afrique, n'utilisent qu'une faible partie de leurs possibilités. La construction de nouveaux barrages pose toutefois des problèmes environnementaux complexes.

Certains rejets industriels non, ou mal épurés, contribuent fortement à la pollution des eaux.

## Eau domestique

L'utilisation domestique de l'eau recouvre principalement la consommation d'eau potable, l'hygiène corporelle, la cuisine, les usages sanitaires et le jardinage. Elle représente environ 15 % de l'utilisation d'eau douce dans le monde avec de très grandes variations d'un pays à l'autre : de 100 à 600 litres par jour et par habitant au Japon, en Amérique du Nord et en Europe à 10 à 40 litres en Afrique (BALLONG, 2007), tandis que la quantité minimale nécessaire d'eau propre serait de 50 litres par jour et par personne. (PETER, 2017)

Toutefois, dans les pays industriels, une partie de l'eau utilisée dans la maison et partant à l'égout est traitée et renvoyée dans les cours d'eau là où c'est possible.

**Tableau n°3 : Quantité moyenne d'eau, en litres (Webmaster 8)**

une <a href="#">chasse d'eau</a>	6 à 20
une <a href="#">douche</a>	30 à 80
un <a href="#">bain</a>	150 à 200
une <a href="#">lessive</a>	50 à 800
une <a href="#">vaisselle</a>	50 à 150
un cycle de <a href="#">lave-vaisselle</a>	20 à 40

## **V- GESTION INTEGREE DES RESSOURCES**

La gestion intégrée des ressources en eau est fondée sur l'idée que l'eau fait partie intégrante de l'écosystème et constitue une ressource naturelle et un bien social et économique dont la quantité et la qualité déterminent l'affectation. Donc ces ressources en eau doivent faire l'objet de mesures de protection tenant compte du fonctionnement des écosystèmes aquatiques et de la pérennité de la ressource et visant à satisfaire ou à concilier les besoins en eau aux fins des activités humaines. Cette gestion vise à :

- La satisfaction des besoins fondamentaux
- La protection des écosystèmes.

### **1. Principes généraux de gestion**

L'objectif général est de veiller à ce que l'ensemble de la population de la planète dispose en permanence d'approvisionnements suffisants en eau de bonne qualité tout en préservant les fonctions hydrologiques, biologiques et chimiques des écosystèmes, en adaptant les activités humaines à la capacité limite de la nature et en luttant contre les vecteurs des maladies liées à l'eau. Ces objectifs sont :

- a) Mise en valeur et gestion intégrée des ressources en eau;
- b) Bilan des ressources hydriques;
- c) Protection des ressources en eau, de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques;
- d) Approvisionnement en eau de boisson et assainissement;
- e) L'eau et l'urbanification durable;
- f) L'eau et la production vivrière et le développement rural durables;
- g) L'impact des changements climatiques sur les ressources en eau.

Pour répondre aux besoins en eau douce de tous les pays, aux fins d'un développement durable. Il conviendrait de poursuivre les quatre grands objectifs suivants :

- 1) Promouvoir une approche dynamique, interactive, itérative et multisectorielle de la gestion des ressources en eau, et notamment l'inventaire et la protection des sources potentielles d'approvisionnement en eau, en tenant compte des aspects techniques, socio-économiques, environnementaux et sanitaires;
- 2) Planifier l'utilisation, la protection, la conservation et la gestion durables et rationnelles des ressources en eau en fonction des besoins ;
- 3) Concevoir, mettre en œuvre et évaluer des projets et des programmes qui soient à la fois économiquement rentables et socialement adaptés, avec une pleine participation du public ;
- 4) Définir et renforcer ou créer, selon qu'il convient, et notamment dans les pays en développement, les mécanismes institutionnels, juridiques et financiers.

Le but de la gestion intégrée est d'assurer que l'eau et les ressources qui lui sont liées soient gérées de façon durable pour répondre au bien-être environnemental, social et économique des usagers.

Ainsi, la gestion intégrée présente une double dimension :

- S'appuyer sur le fonctionnement naturel des écosystèmes aquatiques en les préservant, voire en les restaurant,
- Associer les usagers de l'eau et les élus territoriaux à la prise de décision et au processus de gestion, en respectant le socle commun des réglementations nationales et internationales.

## **2. Méthodes de gestion**

La création de bases de données interactives, de méthodes prévisionnelles et de modèles aux fins de la planification économique en vue de la gestion rationnelle et durable des ressources hydriques exigera l'application de nouvelles méthodes, comme les systèmes d'informations géographiques et les systèmes experts, aux fins de la collecte, de l'assimilation, de l'analyse et de la visualisation des informations multisectorielles, mais aussi pour permettre la prise de décisions en conditions optimales. Par ailleurs, la mise en valeur de sources d'approvisionnement en eau nouvelles et de remplacement et l'adoption de techniques peu coûteuses de

distribution d'eau exigeront elles aussi une recherche appliquée novatrice. Cela suppose le transfert, l'adoption et la diffusion, entre pays en développement, de nouvelles méthodes et technologies, ainsi que la formation de spécialistes locaux, afin de permettre à ces pays de faire face à la dimension nouvelle qu'impliquent l'intégration de l'ingénierie avec les aspects économiques, environnementaux et sociaux de la gestion des ressources en eau et la prévision de ses impacts sur l'homme. (ALLER *et al.*, 1987)

Pour mettre en valeur et gérer les ressources en eau, il convient d'adopter une approche intégrée qui tienne compte des besoins à long terme comme des besoins immédiats. Tous les facteurs, qu'ils soient écologiques, économiques ou sociaux, devront donc être pris en considération dans l'optique d'un développement durable.

### **3. Les ambitions du modèle de gestion intégrée**

Correspondre à des unités locales fonctionnelles d'un point de vue hydrologique et s'adapter aux besoins des multiples acteurs territoriaux

### **4. Les quatre niveaux de participation :**

4.1. **Information** : processus à sens unique qui consiste à informer les parties concernées de l'état de la ressource, du diagnostic des risques, des actions retenues et ensuite de leur efficacité ;

4.2. **Consultation** : la structure de décision demande l'avis des acteurs concernés lors de certaines phases stratégiques de définition des enjeux, des objectifs, des stratégies ; cet avis peut éventuellement servir à la prise de décision ;

4.3. **Concertation** : c'est un processus en boucle structuré autour de débats, durant lesquels les acteurs sont appelés à exprimer leurs avis sur les ressources et leurs usages et sur des solutions qui leur sont présentées ; dans ce processus en boucle, il s'agit de faire évoluer les positions de chacun vers une stratégie commune ; la décision n'est pas prise par les acteurs participants mais tient compte des résultats des débats ;

4.4. **Coopération** : ce sont les acteurs participant à la concertation qui prennent les décisions.

## **VI- UTILISATION DE LA METHODE DRASTIC POUR LA GESTION DES EAUX**

### **1. Introduction**

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels. Ces eaux sont souvent menacées par la contamination par des polluants de différente nature : biologique, chimique ou physique. La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'effort, notamment en étudiant la vulnérabilité des nappes souterraines. (**ALLER *et al.*, 1987**)

### **2. Notion de vulnérabilité**

La notion de vulnérabilité à la pollution d'un aquifère est définie comme sa susceptibilité intrinsèque à la modification de la qualité et de la quantité d'eau souterraine dans l'espace et dans le temps, à cause des processus naturels et/ou de l'activité anthropique.

### **3. Utilisation de la méthode DRASTIC pour protection des eaux souterraines**

La méthode DRASTIC, développée par les services de l'Agence américaine de protection de l'environnement USEPA (**ALLER *et al.*, 1987**), est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque verticale à la pollution des aquifères par systèmes paramétriques; le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et affecté d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité. L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité :

Depth to water (D) : profondeur de la nappe;

Net Recharge (R) : recharge efficace de l'aquifère;

Aquifer media (A) : la lit hologie de l'aquifère;

Soil media (S) : type de sol;

Topography (T) : pente topographique du terrain;

Impact of vadose zone (I) : impact de la zone vadose (zone non saturée);

Hydraulic Conductivity of the aquifère (C) : conductivité hydraulique de l'aquifère.

Selon **ALLER (1987)** les sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent à différents degrés les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol, ainsi que leur temps de transport. Une valeur numérique appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est classé en classes associées à des cotes variant de 1 à 10. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. Une valeur numérique appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID est déterminée : elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

$$ID = Dp * Dc + Rp * Rc + Ap * Ac + Sp * Sc + Tp * Tc + Ip * Ic + Cp * Cc$$

(où D, R, A, S, T, I, et C les sept paramètres de la méthode DRASTIC, p étant le poids du paramètre et c, la cote associée).

## VII-LA GEOTHERMIE

La **géothermie**, du grec géo (« la Terre ») et thermos (« la chaleur »), désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à les exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

Pour capter l'énergie géothermique, on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe d'eau chaude captive naturelle, ou de l'eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude et imperméable. Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte chargé de calories (énergie thermique). Ces calories sont utilisées directement ou converties partiellement en électricité. (**Webmaster 9**)

L'énergie géothermique est localement exploitée pour chauffer ou disposer d'eau chaude depuis des millénaires, par exemple en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen.



**Figure n°5** : La plus ancienne piscine connue alimentée par une source chaude, construite sous la dynastie Qin au III<sup>e</sup> siècle av. J.-C. (**Webmaster 9**)

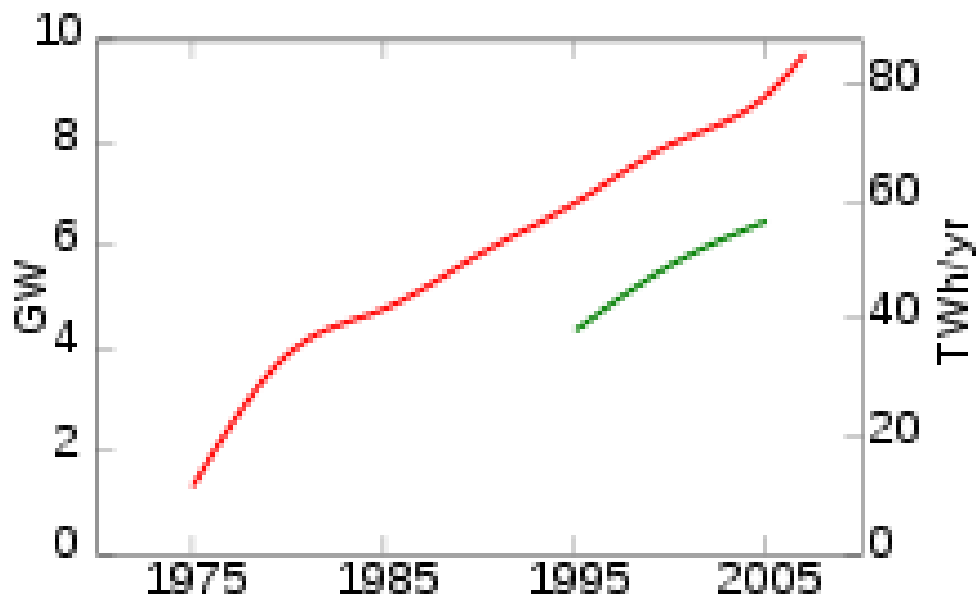
Les sources d'eau chaude sont utilisées pour le bain au moins depuis le Paléolithique. **(RAFFAELE, 2009)**

Le plus ancien spa connu est un bassin en pierre sur la montagne Lisan en Chine, construit sous la dynastie Qin au III<sup>e</sup> siècle av. J.-C., à l'endroit même où le palais Huaqing Chi est construit par la suite. Au premier siècle de notre ère, les Romains conquièrent *Aquae Sulis*, aujourd'hui Bath, dans le Somerset, en Angleterre, et utilisent les sources chaudes qui s'y trouvent pour alimenter leurs thermes et chauffages par le sol. Les droits d'entrée de ces bains représentent probablement la première utilisation commerciale de l'énergie géothermique. Le plus ancien système de chauffage urbain géothermique du monde, situé à Chaudes-Aigues, en France, fonctionne depuis le XV<sup>e</sup> siècle. La première exploitation industrielle commence en 1827 avec l'utilisation de la vapeur du geyser pour extraire l'acide borique de volcans de boue à Larderello, en Italie. **(JOHN, 2009)**

En 1892, le premier réseau de chaleur d'Amérique à Boise, dans l'Idaho, est alimenté directement par l'énergie géothermique, et est copié à Klamath Falls, dans l'Oregon, en 1900. Le premier bâtiment connu au monde à utiliser l'énergie géothermique comme source de chaleur principale est l'hôtel Hot Lake, dans le comté d'Union (Oregon), dont la construction s'est achevée en 1907. **(CLEVELAND ET MORRIS, 2015)**

Un puits géothermique profond est utilisé pour chauffer des serres à Boise en 1926, et des geysers sont utilisés pour chauffer des serres en Islande et en Toscane à peu près à la même période **(MARY, 2004)**.





**Figure n°6 : Capacité électrique géothermique mondiale (RUGGERO, 2007)**

Au XX<sup>e</sup> siècle, la demande en électricité conduit à envisager l'énergie géothermique comme source de production. Piero Ginori Conti (**en**) teste le premier générateur d'énergie géothermique le 4 juillet 1904 à Larderello. Il réussit à allumer quatre ampoules. (**TIWARI et GHOSAL, 2005**)

En **1912**, **HEINRICH ZOELLY (en)** brevète l'idée d'utiliser la pompe à chaleur, inventée par **LORD KELVIN** en **1852**, pour tirer la chaleur du sol. Ce n'est cependant qu'à la fin des années 1940 que la pompe à chaleur géothermique est mise en œuvre avec succès ; il s'agit probablement du système d'échange direct de 2,2 kW, fabriqué par Robert C. Webber, mais les sources ne s'accordent pas sur la date exacte de son invention. (**ZOGG, 2008**)

**J. DONALD KROEKER** conçoit la première pompe à chaleur géothermique commerciale pour chauffer le Commonwealth Building à Portland (Oregon) et en fait la démonstration en 1946. (**GORDON BLOOMQUIST, 1999**)

## Types de géothermie

On distingue habituellement trois types de géothermie :

- la géothermie peu profonde (moins de 1 500 m) à basse température ;
- la géothermie profonde à haute température (plus de 150 °C), avec plusieurs approches développées et explorées depuis les années 1970 :
  - géothermie des roches chaudes sèches (*Hot Dry Rock* ou HDR pour les anglophones), basée sur la fracturation hydraulique et la création d'un « échangeur thermique profond » qu'il faut périodiquement décolmater ;
  - géothermie des roches naturellement fracturées ou *Hot Fractured Rock* (HFR) ;
  - géothermie stimulée EGS (*Enhanced Geothermal System*), imaginée aux États-Unis en 1970 et mise en œuvre à Soultz-sous-Forêts en France dans le cadre d'un projet-pilote européen et franco-allemand Géothermie Soultz ; (**GORDON BLOOMQUIST, 1999**)
- la géothermie très profonde à très haute température.

Ces trois types ont en commun de prélever la chaleur contenue dans le sol, issue de la pression, et, dans certains cas, d'une plus ou moins grande proximité du magma. (**Webmaster 10**)

## **Principes**

Le manteau terrestre étant chaud, la croûte terrestre laisse filtrer un peu de cette chaleur, cependant la plus grande partie de la puissance géothermique obtenue en surface (87 %) est produite par la radioactivité des roches qui constituent la croûte terrestre (désintégration naturelle de l'uranium, du thorium et du potassium).

**(JEAN-MICHEL, 1990)**

Il existe dans la croûte terrestre, épaisse en moyenne de 30 km, un gradient de température appelé gradient géothermique qui définit que plus on creuse et plus la température augmente ; en moyenne de 3 K par 100 mètres de profondeur.

La géothermie vise à étudier et exploiter ce phénomène d'augmentation de la température en fonction de la profondeur (même si le flux de puissance obtenu diminue avec la profondeur, puisque l'essentiel de ce flux provient de la radioactivité des roches de la croûte terrestre). **(Webmaster 10)**

### **Une énergie abondante de faible intensité**

Cette source d'énergie est considérée comme inépuisable (dans certaines limites), car elle dépend :

- pour la géothermie profonde, des sources de chaleur internes de la Terre, dont la durée de vie se chiffre en milliards d'années ;
- pour la géothermie de surface, des apports solaires.

Elle est en général diffuse et rarement concentrée, avec un flux moyen de 0,1 MW/km<sup>2</sup> (0,1 W/m<sup>2</sup>) et un niveau de température faible. La puissance exploitable économiquement est donc en règle générale réduite. Il arrive cependant qu'elle soit plus concentrée à proximité des failles tectoniques entre plaques terrestres, en particulier des formations volcaniques ou encore dans des formations géologiques favorables, comme dans le Bassin parisien. C'est pourquoi il faut distinguer plusieurs types d'utilisation de la géothermie suivant ses caractéristiques locales :

- la géothermie de surface à basse température : 5-10 °C ;
- la géothermie profonde : 50-95 °C, jusqu'à 2 000 m de profondeur ;
- la géothermie très profonde à haute et très haute température, jusqu'à 10 000 m ;
- la géothermie volcanique de type geyser.

Son exploitation durable implique un débit d'extraction d'énergie limité au flux de chaleur alimentant la ressource, à défaut de l'épuiser pour une certaine période. Même si certains sites géothermiques peuvent atteindre jusqu'à 0,2 W/m<sup>2</sup>, le rythme d'exploitation de la géothermie peut être supérieur au rythme de renouvellement naturel de la chaleur, ce qui peut entraîner un épuisement de la ressource à terme.

Son caractère « inépuisable » dépend donc des conditions d'utilisation : en moyenne à la surface de la Terre, de l'ordre de 60 mW pour chaque mètre carré (0,06 W/m<sup>2</sup>) de terrain exploité, à comparer à la densité de puissance solaire moyenne reçue par la Terre, environ 6 000 fois plus importante (340 W/m<sup>2</sup>).  
**(Webmaster 10)**

Le renouvellement de la chaleur prélevée trop vite (plus que les très faibles 60 mW/m<sup>2</sup> du flux thermique des profondeurs terrestres) se fait en général par diffusivité thermique (sauf circulation d'eaux naturelles) à partir du pourtour non refroidi, ce qui dépend de la dimension L du volume prélevé ou refroidi, avec un temps de retour de la chaleur ou de la température, croissant comme le carré de cette dimension L, donnant pour 6 à 10 m un an environ, pour 12 à 20 m 4 ans, pour 24 à 40 m 16 ans, de fait, égal grossièrement au temps passé à le prélever trop vite.

Aussi, cela ne peut fonctionner que si des eaux chaudes circulent facilement ou fortement, dans des zones volcaniques, en espérant que leur source aquifère est assez grande pour ne jamais s'épuiser. **(Webmaster 10)**

Une solution est de recharger les puits avec de la chaleur solaire venant de capteurs solaires en surface. La géothermie solaire sert alors à stocker cette chaleur solaire du jour pour la nuit, de l'été pour l'hiver, rendant l'énergie solaire utilisable 24 h sur 24 et 365 jours par an, sans interruption. Cela a été utilisé pour le chauffage intersaison, de l'été pour l'hiver, comme à la Communauté solaire de Drake Landing. **(Webmaster 10)**

## **Différents types d'exploitation de la géothermie**

### **Géothermie peu profonde à basse température**

Il s'agit principalement d'extraire la chaleur contenue dans la croûte terrestre afin de l'utiliser avec une pompe à chaleur pour les besoins en chauffage en refroidissant la terre. Les transferts thermiques peuvent aussi dans certains cas être inversés pour les besoins d'une climatisation. On l'utilise pour chauffer le sol d'une maison à basse température, pour les radiateurs et par le sol mais par échauffement d'eau.

Les procédés d'extraction de l'énergie diffèrent suivant les solutions retenues par les constructeurs. La méthode utilisée pour assurer les transferts thermiques influe beaucoup sur le rendement de l'ensemble. Comme véhicule thermique de la pompe à chaleur on utilise de l'eau ou de l'eau avec un glycol ou directement le fluide frigorigène. La géothermie peu profonde et basse température utilisera donc de plus en plus la chaleur de la terre dans le sol venant du soleil en surface. **(Webmaster 10)**

De 4,50 m à 10 m de profondeur, la température du sol est constante tout au long de l'année avec une température moyenne de 12 °C (cette valeur en France dépend du très faible flux géothermique et surtout de la température moyenne annuelle moyennée par diffusivité, avec la température atmosphérique qui prend un an pour descendre à 4,5 ou 10 m de profondeur. Pour une profondeur 10 fois plus grande - 45 à 100 m - elle prend 100 fois plus longtemps soit 100 ans avec le flux géothermique vrai des profondeurs augmentant la température d'environ 3 K à 100 m par rapport à la moyenne annuelle).

De fait cette chaleur qualifiée de géothermie peu profonde, est une chaleur d'origine solaire, avec le soleil qui chauffe l'atmosphère, chaleur stockée sur plus d'un an à plus de 4,5 m de profondeur. Dans les régions arctiques froides avec le sol gelé en profondeur, cette géothermie n'existe pas. **(Webmaster 10)**

La profondeur du forage est fonction du type de géothermie : en détente directe (utilisation d'un fluide frigorigène dans les sondes géothermiques avec pompe à chaleur), elle sera en moyenne de 30 mètres, pour les sondes à eau glycolée entre 80 et 120 m selon les installations. **(MONASSIER, 2009)**

Dans le cas de la géothermie d'eau (*aquathermie* ou *hydrothermie*), plusieurs schémas d'installation existent :

- forage unique : un ou plusieurs forages de pompage sans forage de réinjection ;
- forage *en doublet* : un ou plusieurs forages de pompage et un ou plusieurs forages de réinjection ;
  - *doublet non réversible* : chaque forage fonctionne toujours en pompage ou en injection ;
  - *doublet réversible* : chaque forage fonctionne alternativement en pompage et en injection.

En général le principe du « doublet géothermique » est retenu pour augmenter la rentabilité et la durée de vie de l'exploitation thermique de la nappe phréatique. Le principe est de faire (ou réutiliser) deux forages : le premier pour puiser l'eau, le second pour la réinjecter dans la nappe. Les forages peuvent être éloignés l'un de l'autre (un à chaque extrémité de la nappe pour induire un mouvement de circulation d'eau dans la nappe, mais ce n'est pas pratique d'un point de vue de l'entretien) ou rapprochés (en surface) de quelques mètres mais avec des forages obliques (toujours dans le but d'éloigner les points de ponction et de réinjection de l'eau). **(MONASSIER, 2009)**

## Géothermie profonde à haute température

Via des forages plus profonds, elle accède à des eaux plus chaudes, avec l'inconvénient de possibles problèmes de corrosion ou d'entartrage plus fréquents et/ou plus graves (car les eaux profondes et chaudes sont souvent beaucoup plus minéralisées). La profondeur à atteindre varie selon la température désirée et selon la ressource (gradient thermique local qui change beaucoup d'un site à l'autre).

La méthode de transfert thermique est plus simple (échangeur de chaleur à contre-courant), sans le fluide caloporteur nécessaire aux basses températures.

## Géothermie très profonde à très haute température



**Figure n°7** : La centrale géothermique de Palinpinon (Philippines), le plus profond puits est de 3 800 m (**Webmaster 11**)

Plus on creuse profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. En moyenne en France, l'augmentation de température atteint 2 à 3 °C tous les 100 mètres. Ce gradient thermique dépend beaucoup de la région du globe considérée. Il peut varier de 3 °C/100 m (régions sédimentaires) jusqu'à 1 000 °C/100 m (régions volcaniques, zones de rift comme en Islande ou en Nouvelle-Zélande).

On distingue classiquement trois types de géothermie selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- la géothermie à haute énergie qui exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Elle est surtout utilisée pour produire de l'électricité. Elle est parfois subdivisée en deux sous-catégories :
  1. la géothermie haute énergie (aux températures supérieures à 150 °C) qui permet la production d'électricité grâce à la vapeur qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.
  2. la géothermie moyenne-énergie (aux températures comprises entre 100 °C et 150 °C) par laquelle la production d'électricité nécessite une technologie utilisant un fluide intermédiaire.
- la géothermie de basse énergie : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 °C et 100 °C. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.
- la géothermie de très basse énergie : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 °C et 30 °C. Principales utilisations : le chauffage et la climatisation individuelle par dispositifs thermodynamiques généralement fonctionnant à l'électricité, d'où le terme électro-thermodynamique, appelés plus communément « pompes à chaleurs



aérothermiques » (puisant dans l'air extérieur) et « pompe à chaleur géothermique ». (**Webmaster 10**)

## **Avantages et difficultés de la géothermie de profondeur (haute et basse énergie)**

### **Avantages**

- La géothermie est une énergie renouvelable, dans le sens où la chaleur contenue dans le globe terrestre est sans commune mesure avec les besoins énergétiques de la civilisation humaine. La gestion raisonnée de l'exploitation d'une ressource géothermique permet de maintenir localement le potentiel géothermique.
- Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie) a l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 80 ans en moyenne).
- L'exploitation d'une ressource géothermique ne produit que très peu de gaz à effet de serre. (**Webmaster 10**)

### **Inconvénients**

- L'EGS (*Enhanced Geothermal System*), testé et exploité en Europe à Soultz-sous-Forêts consiste à forer à grande profondeur dans des réservoirs géothermiques naturels sur lesquels on agit par stimulation. Ces systèmes EGS (qualifiés de Systèmes Géothermiques Stimulés en

français) sont caractérisés initialement par la présence de saumure naturelle remontée à partir des fractures du granite, qu'il faut nettoyer. (**Webmaster 10**)

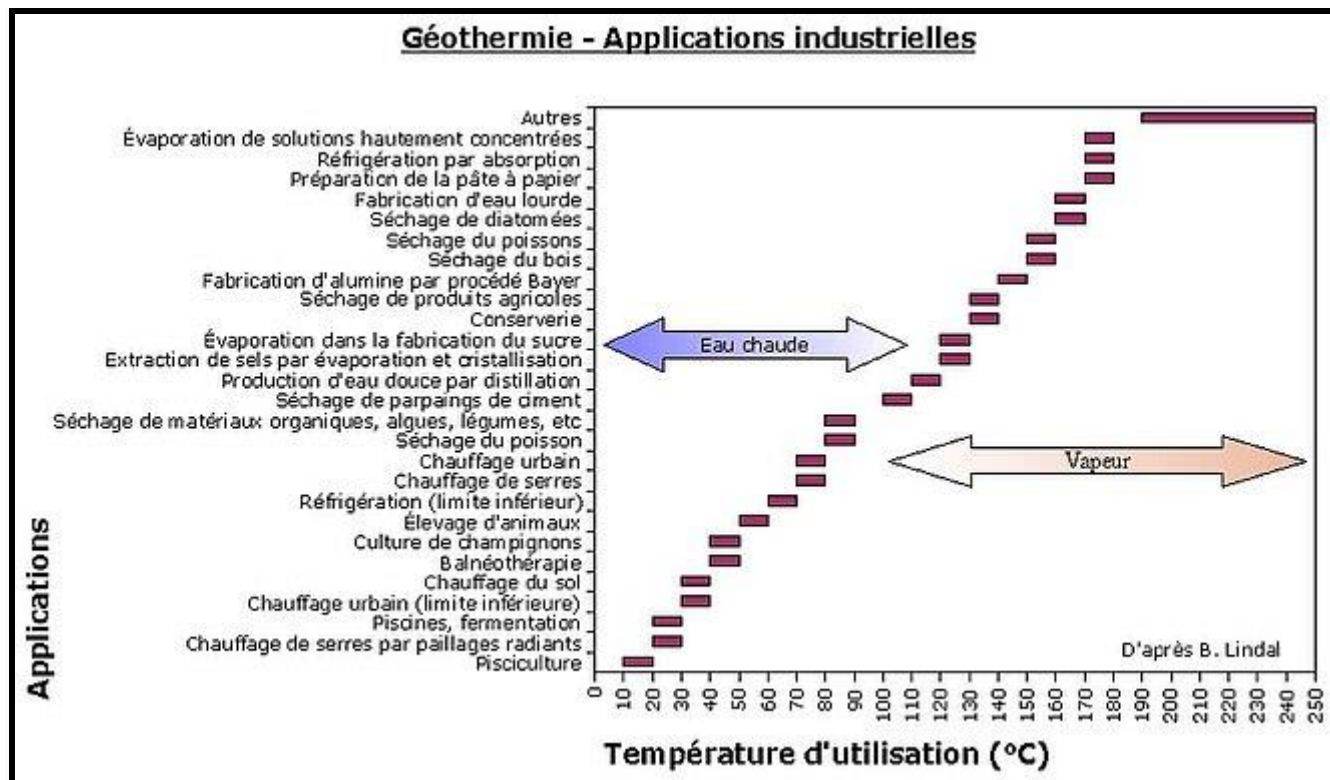
Dans ce cas, trois problèmes principaux se posent :

1. Après forage, afin d'augmenter ou entretenir les performances hydrauliques des puits (perméabilité), des injections forcées d'eaux ou stimulations hydrauliques étaient autrefois faites uniquement par fracturation hydraulique (technique controversée pour ses risques environnementaux) doivent être faites pour créer mais surtout périodiquement rouvrir ces fractures pré-existantes qui tendent à se refermer ou se colmater. Ces stimulations physiques induisent toujours une activité micro-sismique, parfois assez importante pour être ressentie par les populations locales (exemple : à Soultz, le plus fort séisme induit s'est produit en juin 2003 avec une magnitude de 2,9 sur l'échelle de Richter. Des études géotechniques cherchent à mieux comprendre les phénomènes physiques à l'origine de cette sismicité induite. Pour minimiser l'activité micro-sismique induite, la technique de la *stimulation chimique* (souvent associée au « *fracking* » par l'industrie pétrolière et gazière) a été testée avec succès, notamment à Soultz. Des acides et produits chimiques dissolvent certains minéraux naturellement présents dans les fractures (ex. : calcite), ce qui accroît la performance hydraulique des puits. Cette variante dite

« stimulation hydrochimique » s'est effectivement accompagnée d'une moindre activité micro-sismique (faible à très modérée), mais elle produit une eau plus chargée en certains composés indésirables (métaux, radionucléides, sels minéraux). Le site de Soultz doit gérer une saumure naturelle caractérisée par environ 100 grammes par litre de sels contenant de tels produits indésirables. Cette eau géothermale (150 litres par seconde à 165 °C) est ensuite réinjectée à 70 °C sous haute pression dans le sous-sol via des puits de réinjection. **(Webmaster 10)**

2. Le fluide circulant dans la roche chaude et fracturée est toujours salé, corrosif et chargé de particules éventuellement abrasives, radioactives ou susceptibles de participer à l'encroûtement par précipitation de sels minéraux (entartrage ou « *scaling* ») qui peut par exemple perturber ou bloquer la fermeture de vannes. La précipitation est limitée en surface par le maintien d'une forte pression dans les tuyauteries (20 bars), qui rend l'installation plus dangereuse en cas de fuite ;
  3. La chaleur est source de dilatation thermique ou éventuellement en cas de problèmes de chocs thermiques, qui peuvent endommager certaines parties vulnérables des installations.
- Ces installations industrielles peuvent parfois provoquer des séismes, comme ceux ayant engendré l'arrêt définitif du site de géothermie de Reichstett-Vendenheim. **(Webmaster 10)**

## Applications possibles



**Figure n°8:** Les différentes applications de la géothermie (LINDAL, 1973)

### Géothermie haute énergie

La géothermie haute énergie ou « géothermie profonde », appelée plus rarement géothermie haute température, ou géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisés généralement à plus de 1 500 mètres de profondeur et dont la température est supérieure à 150 °C. Grâce aux températures élevées, il est possible de produire de l'électricité et de faire de la cogénération (production conjointe d'électricité grâce à des turbines à vapeur et de chaleur avec la récupération des condensats de la vapeur). (LINDAL, 1973)

Plus on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. Ce gradient thermique dépend beaucoup de la région du globe considérée. Les zones où les températures sont beaucoup plus fortes, appelées anomalies de température, peuvent atteindre plusieurs centaines de degrés pour de faibles profondeurs. Ces anomalies sont observées le plus souvent dans les régions volcaniques. En géothermie, elles sont désignées comme des gisements de haute enthalpie, et utilisées pour fournir de l'énergie, la température élevée du gisement (entre 80 °C et 300 °C) permettant la production d'électricité. **(LINDAL, 1973)**

L'exploitation de la chaleur provenant de la géothermie haute énergie est ancienne. Les bains dans des sources chaudes étaient déjà pratiqués dans l'Antiquité dans de nombreuses régions du monde. C'est au début du XX<sup>e</sup> siècle qu'une centrale géothermique de production d'électricité a été pour la première fois réalisée à Larderello (Italie). La géothermie haute température connaît actuellement un renouveau important, notamment parce que la protection contre la corrosion et les techniques de forage se sont fortement améliorées.

De nouvelles applications technologiques sont envisageables pour récupérer la chaleur de la Terre. La cogénération permet déjà de combiner la production de chaleur et d'électricité sur une même unité, et augmente ainsi le rendement de l'installation. Un projet européen de géothermie profonde à Soultz-sous-Forêts vise à produire de l'électricité grâce au potentiel énergétique des roches chaudes fissurées (en anglais *Hot Dry Rock*). **(LINDAL, 1973)**

### **Méthodes d'exploration avant forage**

- Gravimétrie : Les mesures gravimétriques permettent d'identifier des corps lourds, liés à des stockages magmatiques à « faible profondeur ». Ces stockages peuvent constituer des sources potentielles de chaleur qui sont nécessaires au développement d'un réservoir géothermique.

- Magnétotellurie : Elle permet de déterminer la structure géoélectrique des zones prospectées entre terrains conducteurs et isolants, en particulier les couches imperméables susceptibles de constituer un système géothermique convectif (couvercle d'eau chaude).
- Polarisation spontanée : La polarisation spontanée (PS) détecte les circulations de fluides sous la surface.
- Analyse chimique des eaux et des gaz : La présence d'anomalies en He, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> et radon permet de mettre en évidence d'éventuelles contaminations par des gaz d'origine magmatique. **(LINDAL, 1973)**

### **Installations dans le monde**

L'électricité produite à partir de la géothermie est disponible dans plus de 20 pays dans le monde : la Chine, l'Islande, les États-Unis, l'Italie, la France, l'Allemagne, la Nouvelle-Zélande, le Mexique, le Salvador, le Nicaragua, le Costa Rica, la Russie, l'Indonésie, le Japon et le Kenya. Les trois premiers producteurs sont les États-Unis, les Philippines et l'Indonésie. Ce dernier pays possède le plus grand potentiel (27 gigawatts, soit 40 % des réserves mondiales). **(Webmaster 3)**

L'une des sources géothermiques les plus importantes est *The Geysers*, située aux États-Unis, à environ 145 km au nord de San Francisco. La *Calpine Corporation* y a démarré la production en 1960 et dispose d'une puissance nominale de l'ordre de 725 MWe, pour une production effective moyenne de 648 MWe en 2017, soit une production annuelle nette de 5 673 MWh. Il s'agit d'un ensemble de 13 centrales électriques qui utilisent la vapeur de 322 puits et réinjecte par 54 puits l'eau utilisée afin de recharger le gisement. Au sud de la Californie, près de Niland et Calipatria, une quinzaine de centrales électriques produisent environ 570 mégawatts électriques.

La géothermie est la source d'énergie principale de l'Islande, mais ce sont les Philippines qui en sont le plus gros consommateur, 28 % de l'électricité générée y étant produite par la géothermie. Il existe trois centrales électriques importantes qui fournissent environ 17 % (2004) de la production d'électricité du pays. De plus, la chaleur géothermique fournit le chauffage et l'eau chaude d'environ 87 % des habitants de l'île. **(Webmaster 3)**

La géothermie est particulièrement rentable dans la zone du Rift en Afrique. Trois centrales ont récemment été construites au Kenya, respectivement de 45 MW, 65 MW et 48 MW. La planification prévoit d'augmenter la production de 576 MW en 2017, couvrant 25 % des besoins du Kenya, et réduisant ainsi la dépendance du pays aux importations de pétrole.

En Allemagne, après 5 ans de forage, une centrale de 3,4 mégawatts, utilisant la géothermie, fonctionne à Unterhaching près de Munich depuis 2009, et produit en cogénération de la chaleur et de l'électricité. Le forage a atteint 3 350 mètres de profondeur, et 150 litres d'eau jaillissent par seconde à une température de 122 °C. **(Webmaster 10)**

### **Géothermie basse énergie**

On parle de « géothermie basse énergie » lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre 30 °C et 100 °C dans des gisements situés entre 1 500 et 2 500 m de profondeur. Cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.

L'usage direct de la chaleur géothermique (bains thermaux, chauffage de piscines, chauffage de locaux, procédés agricoles et industriels), parfois en cogénération, est estimé à 117 TWh (421 PJ) en 2019. La capacité installée est estimée à 30 GW<sub>th</sub>, en progression de 2,2 GW<sub>th</sub> en 2019 (+8 %). La principale utilisation est celle des bains et piscines (44 %), en progression de 9 % par an ; ensuite vient le chauffage de locaux (39 %), en progression de 13 % par an, puis le chauffage de serres (8,5 %), les applications industrielles (3,9 %), l'aquaculture

(3,2 %), le séchage dans l'agriculture (0,8 %) et la fonte de neige (0,6 %). Les principaux pays pratiquant ces usages sont la Chine (47 %), qui connaît une progression de plus de 20 % par an sur les cinq dernières années, suivie par la Turquie, l'Islande et le Japon. **(RENEWABLES, 2020)**

Une centrale géothermique fonctionnant sur le principe du doublet a été mise en service en 1994 à Riehen en Suisse, pour le chauffage des immeubles locaux. Depuis décembre 2000, une partie de la chaleur produite est exportée en Allemagne et approvisionne ainsi un quartier de la ville voisine de Lörrach.

La production de chaleur au moyen d'une pompe à chaleur sur nappe, repose sur le prélèvement et le transfert de l'énergie contenue dans l'eau souterraine vers les locaux à chauffer. Par ailleurs, une pompe à chaleur peut assurer simultanément et/ou successivement des besoins en chauffage et/ou climatisation/rafraîchissement. Cette catégorie est tout de même, d'un point de vue technique et d'investissement financier, plus de la famille des géothermies de très basse énergie.

### **Géothermie très basse énergie**

La géothermie « très basse énergie » développe une puissance thermique ne dépassant pas 500 kW, avec des calories captées à faibles profondeurs (à moins de 200 m) et des températures généralement comprises entre 10 et 30 °C, c'est-à-dire des calories ne provenant pas ou peu des profondeurs terrestres, mais plutôt du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie, le sol du terrain jouant le rôle de source chaude du fait de son inertie et de sa mauvaise conductivité thermique. **(Webmaster 4)**

Cette technologie est appliquée à :

- la climatisation passive avec par exemple le système du puits provençal, le puits canadien, etc.
- le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique.



Ces systèmes permettent de faire, par rapport à l'usage unique d'une énergie primaire, des économies d'énergie sur le chauffage et la production d'eau chaude. Néanmoins, ils nécessitent une source d'énergie extérieure, le plus souvent l'électricité, qui doit rester disponible.

La géothermie avec pompe à chaleur consiste à puiser la chaleur présente dans le sol à travers des capteurs verticaux ou horizontaux, selon la configuration du terrain. Une pompe à chaleur a un fonctionnement comparable à celui d'un réfrigérateur : il assure le chauffage d'un local à partir d'une source de chaleur externe, dont la température est, en général, inférieure à celle du local à chauffer.

**(Webmaster 4)**

### **Réglementation**

Dans la plupart des pays, elle est cadrée par le règlement d'urbanisme, le code Minier et/ou le code de l'environnement (quand il existe) et tend à évoluer dans le cadre de la Transition énergétique.

### **Fonctionnement**

Tout se joue grâce au changement d'état, quand un fluide passe de l'état liquide à l'état gazeux, et inversement.

Un long tuyau de polyéthylène ou de cuivre gainé de polyéthylène est par exemple enterré dans le sol (jardin...).

Dans le cas des systèmes à détente directe (DXV), on fait circuler à l'intérieur, un fluide qui de l'état liquide se réchauffe un peu au contact de la terre. Comme ce fluide a la propriété de se mettre à bouillir à très basse température, il passe alors de l'état liquide à l'état gazeux. Cette vapeur est comprimée par un compresseur situé dans la maison. Le simple fait de la comprimer a pour effet d'augmenter sa température. Elle est alors conduite à un condenseur qui la refait passer à l'état liquide. Lors de ce changement d'état, il se dégage à nouveau de la chaleur, qui est transmise à l'eau de chauffage (radiateur, planché chauffant...). **(Webmaster 4)**

Le fluide continue son cycle, et après s'être détendu et refroidi, repart en circuit fermé rechercher de la chaleur dans la terre du jardin.

Il existe trois sortes de systèmes :

- le système eau glycolée / eau
- le système sol/eau (le fluide frigorigène se détend directement dans les capteurs enfouis dans le sol)
- le système sol/sol (*idem* à la sol eau en ce qui concerne le capteur et avec condensation du fluide frigorigène dans le plancher).

### **Les fluides caloporteurs**

Le fonctionnement des machines thermodynamiques (ici la **PAC**) est fondé sur la capacité des fluides frigorigènes à se vaporiser et se condenser à température ambiante. Le fluide frigorigène le plus utilisé pour la géothermie est le fluide R-134a.

Ses propriétés essentielles sont :

- sa température d'ébullition à pression atmosphérique est de  $-26\text{ °C}$  ; ce qui lui permet donc de s'évaporer plus vite à basse température, donc meilleur passage de la chaleur.
  - sa chaleur latente d'évaporation importante. À  $-26\text{ °C}$  (sa température d'ébullition) à pression atmosphérique sa chaleur latente est de  $216\text{ kJ/kg}$ . Libère beaucoup d'énergie.
  - son faible volume massique de la vapeur en mètre cube qui lui permet d'utiliser un petit compresseur.
- (Webmaster 5)**

D'autres fluides sont couramment utilisés, tels que le R407C ou le R410A. Les solutions d'avenir concernent probablement les fluides naturels, tels que le propane (R290) ou le CO<sub>2</sub> (R744). Le grand désavantage de ce dernier étant les pressions de fonctionnement (entre 80 et 100 bars).

Pour les systèmes indirects que sont les PAC eau glycolée/eau, le monoéthylène glycol possède une viscosité moindre à basse température (et donc une moindre consommation de la pompe de circulation chargée de faire circuler l'eau glycolée dans les collecteurs) mais représente un danger pour la pollution des sols. Le monopropylène glycol à une viscosité plus grande, il est coûteux mais il est considéré comme étant de qualité alimentaire et comme étant biodégradable à 98 %. Pour ces installations, un contrôle de la densité du glycol est nécessaire tous les 3 ans, et la purge du circuit tous les 5 ans. **(Webmaster 5)**

Du point de vue du budget d'investissement, les pompes à chaleur, installées à plus de 90 % dans du neuf (sources : Ademe, Sofath) n'entrent pas en concurrence avec le chauffage électrique par effet Joule (résistance électrique), mais plutôt avec tous les autres véritables moyens écologiques (solaire actif, bois énergie, et avant tout avec les architectures climatiques et bioclimatique).

La pompe à chaleur gagnerait probablement à muter vers un fonctionnement à partir de moteur thermique, pouvant utiliser des combustibles issus de la biomasse (biogaz par exemple), et ce évidemment pour des raisons d'économie d'échelle, dans des grands ensembles, permettant ainsi de localiser la production proche des lieux d'utilisation et d'augmenter les potentiels de production d'énergies renouvelables locale tout en évitant d'amplifier les problèmes actuels en amont du compteur électrique. **(Webmaster 5)**

## Séisme et géothermie

Dans les régions à risque sismique, la géothermie peut être affectée par certains séismes (dégradation d'installation, modification de circulation de la chaleur...).

Inversement, chaque opération de stimulation des réservoirs EGS par fracturation hydraulique peut provoquer des séquences plus ou moins longues de dizaines à milliers de microséismes (au moins plusieurs dizaines de séismes de magnitude supérieure ou égale à 2 pour chaque stimulation) ; c'est la « micro-sismicité induite ». C'est l'injection d'eau sous pression qui déclenche des microséismes de magnitude pouvant, assez rarement aller jusqu'à un maximum de 2,9 (comme à Soultz-sous-Forêts). **(Webmaster 6)**

Pour minimiser les « nuisances sismiques », les « stimulations chimiques », empruntées au secteur pétrolier et gazier ont été mises en œuvre dans certains forages géothermiques profonds.

Ces microséismes sont étudiés par les géologues, les pétroliers et les promoteurs de la géothermie profonde qui utilisent aussi la stimulation et l'entretien des fractures (soit par l'injection d'eau sous pression, soit avec adjonction de produits chimiques). La fréquence, l'intensité et d'autres caractéristiques des microséismes peuvent être enregistrées par des réseaux de capteurs en surface (réseaux dits « EOST ») et en profondeur (réseau profond dits « GEIE »). L'injection de produits chimiques sous pression, mélangés à de l'eau (acides, agents fluidifiants...), génère une moindre activité sismique que la stimulation hydraulique seule, mais modifie d'autres paramètres de l'environnement profond, voire du forage<sup>43</sup>. Recourir à un fluide contenant certains agents chimiques qui vont dissoudre les minéraux hydrothermaux (calcite). **(Webmaster 7)**

Selon le BRGM, « tous les sites de ce type (géothermie profonde) dans le monde ont dû faire face à l'occurrence de microséismes pouvant être ressentis par les populations, avec des conséquences parfois néfastes. Le phénomène de sismicité induite, bien que connu, n'est pas encore complètement compris physiquement par les scientifiques »<sup>43</sup>. Grâce aux études en cours et aux données accumulées par les capteurs, les spécialistes espèrent pouvoir « trouver des voies pour réduire l'impact micro-sismique des projets géothermiques et ainsi gagner une meilleure acceptation de ces projets par les populations ». **(Webmaster 6)**

L'activité micro-sismique est produite dès la montée en pression du fluide de fracturation. Elle varie fortement selon les changements de conditions hydrauliques. Elle s'atténue à l'arrêt des injections, mais se prolonge encore quelques jours après la stimulation par fracturation (« activité rémanente »). Ces « micro-séismes » sont souvent des très basses énergies, et donc non perceptibles en surface par l'Homme (ils sont peut-être ressentis par des animaux plus sensibles, invertébrés y compris). En effet, l'énergie de ces ondes sismiques s'affaiblit d'autant plus que le forage est profond ou éloigné. Leur magnitude varie de -2 (seuil de détection) à 1,8 (seuil de perceptibilité par l'Homme en surface). À proximité de failles importantes, certains séismes de plus forte magnitude (> 1,8) sont néanmoins occasionnellement ressentis en surface. En condition d'exploitation de géothermie profonde, l'activité sismique induite est normalement trop faible pour pouvoir être ressentie par l'Homme en surface. **(Webmaster 6)**

### **Géothermie et politiques publiques**

En Islande ou aux Philippines, la géothermie est largement exploitée. Son importance dans le cadre de l'épuisement des énergies fossiles a été particulièrement mise en lumière dans le rapport *Equinox Blueprint: Energy 2030* du Waterloo Global Science Initiative

## Formation

La réussite d'un forage profond, puis sa bonne exploitation nécessitent des compétences spécifiques.

En France, une filière universitaire Géothermie profonde (triple cursus) a été annoncée en 2014 par l'université de Strasbourg en région (Alsace) où la géothermie profonde a été expérimentée pour la première fois en France à Soutz-sous-Forêts et où un potentiel important existe (nappe d'eau d'une température dépassant 100 °C dès 1 000 mètres de profondeur). Dès la rentrée universitaire 2014-2015, l'École et observatoire des sciences de la Terre (EOST) de Strasbourg produira les enseignements académiques de géologie et d'ingénierie géophysique pour trois cursus (diplôme universitaire, c'est-à-dire hors cadre LMD — licence, master, doctorat). Dans le cadre du programme Investissements d'avenir de 2011, l'EOST était déjà porteur du projet « G-EAU-THERMIE PROFONDE », un Laboratoire d'Excellence (LABEX) visant à améliorer la connaissance des réservoirs géothermiques profonds et à développer des techniques permettant l'exploitation de cette source d'énergie renouvelable.

Cette formation, soutenue par le conseil régional d'Alsace, est dotée de 2,1 M€ sur huit ans, principalement fournis par Électricité de Strasbourg, un fournisseur d'énergie régional pionnier dans le secteur de la géothermie profonde. Il s'agit selon l'université de répondre à une demande émanant à la fois du secteur public et scientifique (CNRS notamment) et du secteur économique.

La géothermie constitue une énergie renouvelable, décarbonnée, locale et disponible de manière permanente. Elle regroupe l'ensemble des technologies qui permettent d'exploiter la chaleur (calories) ou fraîcheur (frigories) du sous-sol. Elle offre un réservoir énergétique encore largement sous-exploité du fait de la méconnaissance auprès du grand public et des professionnels du bâtiment, et un panel de solutions qui répondent, de façon durable, à des besoins divers tels que la production de chaleur, de froid, d'eau chaude sanitaire et d'électricité.

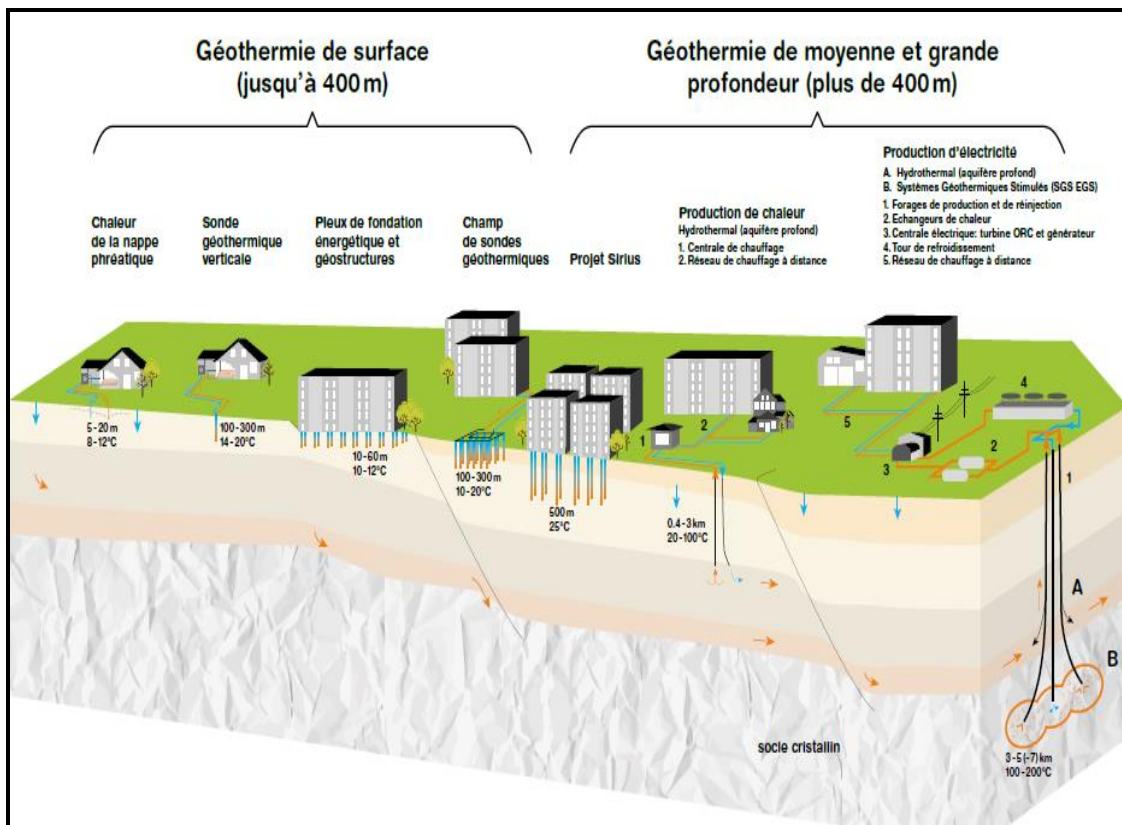


Figure n°9 : Modèle d'une géothermie (ville de Lausanne /

<https://www.lausanne.ch/>)

Sur les 10 premiers mètres de profondeur, la température du sous-sol varie au fil des saisons. Au-delà, elle reste globalement constante. Dépendant des conditions géologiques et climatiques régionales, elle est généralement de 10 à 14°C à 10 m de profondeur et augmente en moyenne de 3°C par 100 m. Dans ces conditions, la température du sous-sol peut atteindre par exemple des valeurs approchant les 25°C à 500m, 50°C à 1500 m et 100°C à 3000 m.

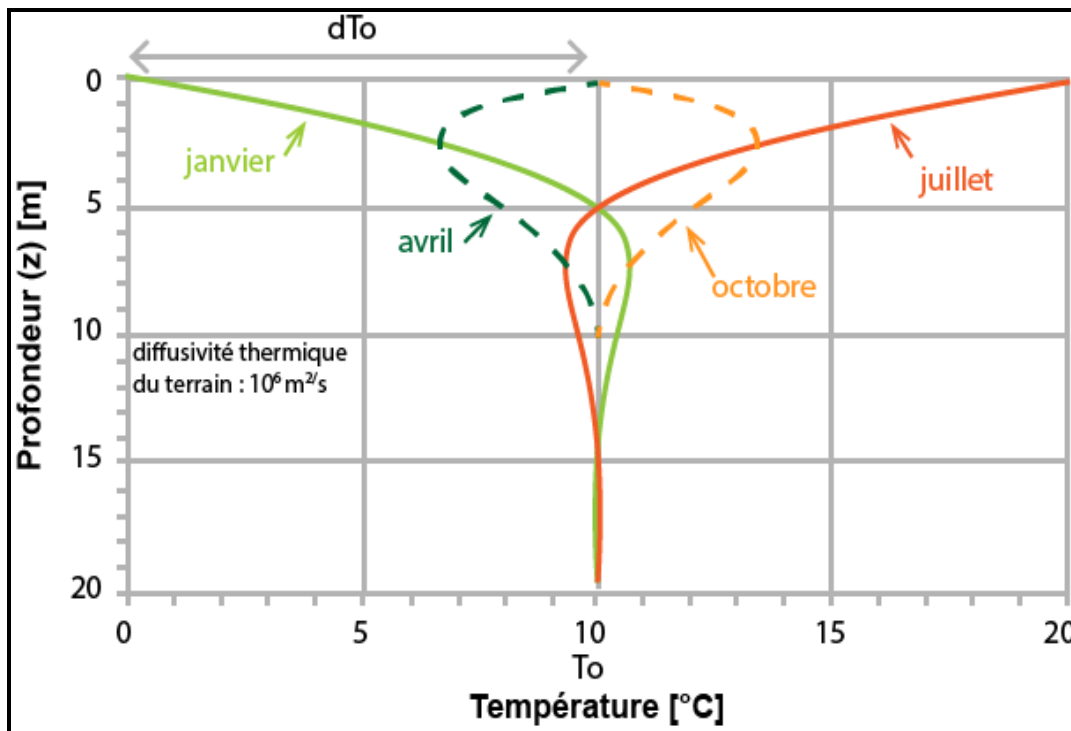


Figure n°10 : La courbe des Énergies plus / (<https://energieplus-lesite.be/>)

### 1. La géothermie très basse énergie ou « de surface »

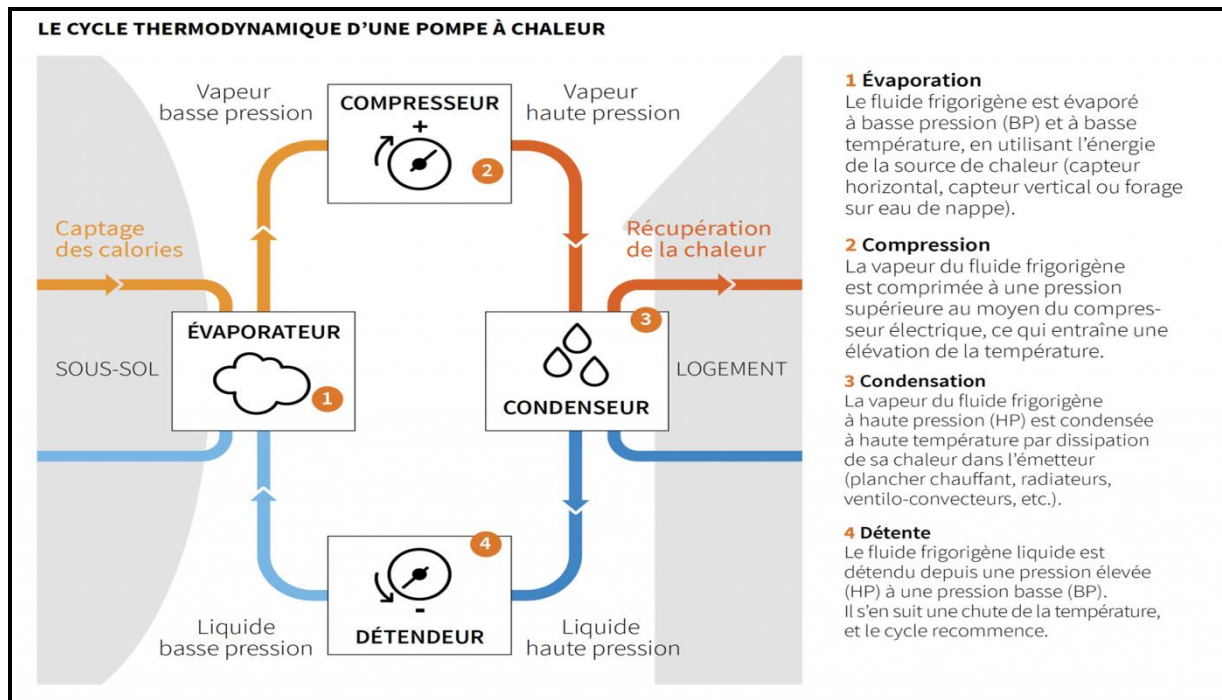
Au cœur de la transition énergétique, la géothermie de surface exploite l'énergie thermique du sous-sol à une profondeur généralement comprise entre 50 et 200 m. A ces profondeurs, le sous-sol atteint une température d'environ 12 à 18°C, stable toute l'année. Au vu des températures limitées du sous-sol à ces profondeurs, ces systèmes sont accompagnés d'une (ou plusieurs) pompe à chaleur nécessaire pour fournir une puissance thermique suffisante.

La géothermie de surface est particulièrement adaptée au milieu urbain du fait de l'absence de contribution aux îlots de chaleur estivaux (l'excès de chaleur étant injecté dans le sous-sol plutôt que dans l'atmosphère pour être efficacement revalorisé en hiver), d'une emprise au sol limitée et d'un impact sonore limité.

En hiver, le système va extraire les calories du sous-sol pour les valoriser dans le bâtiment (production de chaud). Le sous-sol va ainsi se refroidir, générant un stockage de frigories qui pourra être revalorisé l'été qui suit.



En été, le système va extraire les frigories du sous-sol pour les valoriser dans le bâtiment (production de froid). Dit autrement, le système va extraire l'excès de chaleur du bâtiment pour réinjecter ces calories dans le sous-sol. La pompe à chaleur - réversible - va ainsi fonctionner "à l'envers". Le sous-sol va ainsi se réchauffer, générant un stockage de calories qui pourra être revalorisé l'hiver qui suit. Et le cycle continu ainsi saison après saison, année après année,...



**Figure n°11 : Le cycle thermodynamique d'une pompe à chaleur**  
(AFPG / [www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr))

« La pompe à chaleur géothermique conserve une excellente efficacité énergétique quelque soit la saison, en produisant plus de 4 à 5 kW d'énergie thermique pour seulement 1 kW d'électricité consommée ! Elle tire bénéfice des températures stables du sous-sol quelque soit la saison.

Pour les besoins de refroidissement, le froid peut être produit par échange direct avec le sous-sol, on parle alors de geocooling (ou refroidissement passif, par opposition au refroidissement actif utilisant la pompe à chaleur).

« Le geocooling permet d'atteindre des niveaux d'efficacité énergétique particulièrement élevés, en produisant plus de 20 kW d'énergie thermique (frigories) pour seulement 1 kW d'électricité consommée ! »

## 2. le système "fermé" (géothermie sur sondes)

Ce système exploite l'énergie thermique du sous-sol par échange de chaleur avec des sondes géothermiques au sein desquelles coule un liquide caloporteur composé généralement d'un mélange de glycol (de qualité "alimentaire" donc non nocif pour l'environnement).

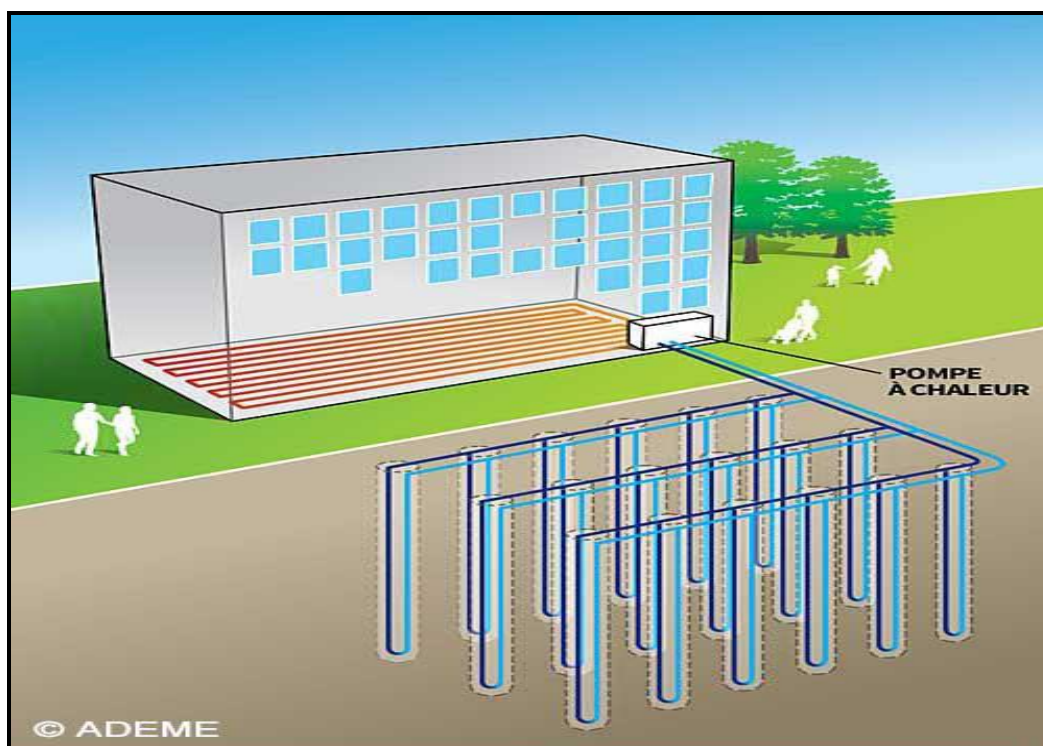


Figure n°12 : Le système fermé (AFPG / [www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr))

## 3. le système "ouvert" (géothermie sur nappe)

Ce système exploite directement l'eau souterraine (ou nappe) issue d'un aquifère à travers un ou plusieurs doublets. Chaque doublet est composé d'un puits captant l'eau souterraine et d'un autre la réinjectant dans le même aquifère.

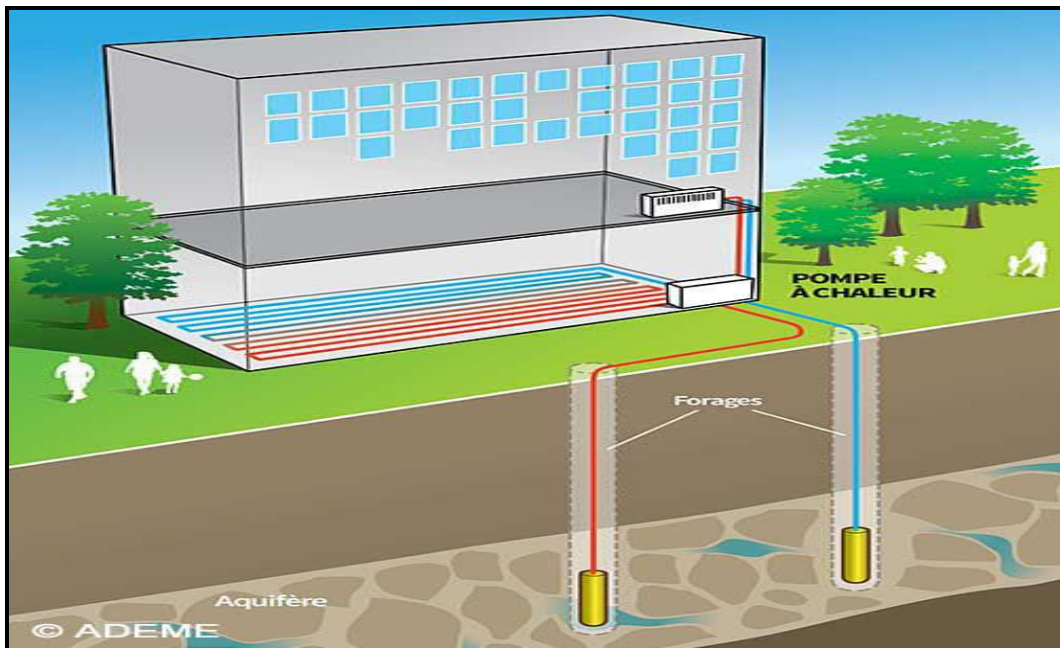


Figure n°13 : Le système ouvert (AFPG / [www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr))

#### 4. Géostrucure

Ce système exploite l'énergie thermique du sous-sol par échange de chaleur avec des pieux de fondation équipés d'un échangeur similaire à une sonde géothermique.

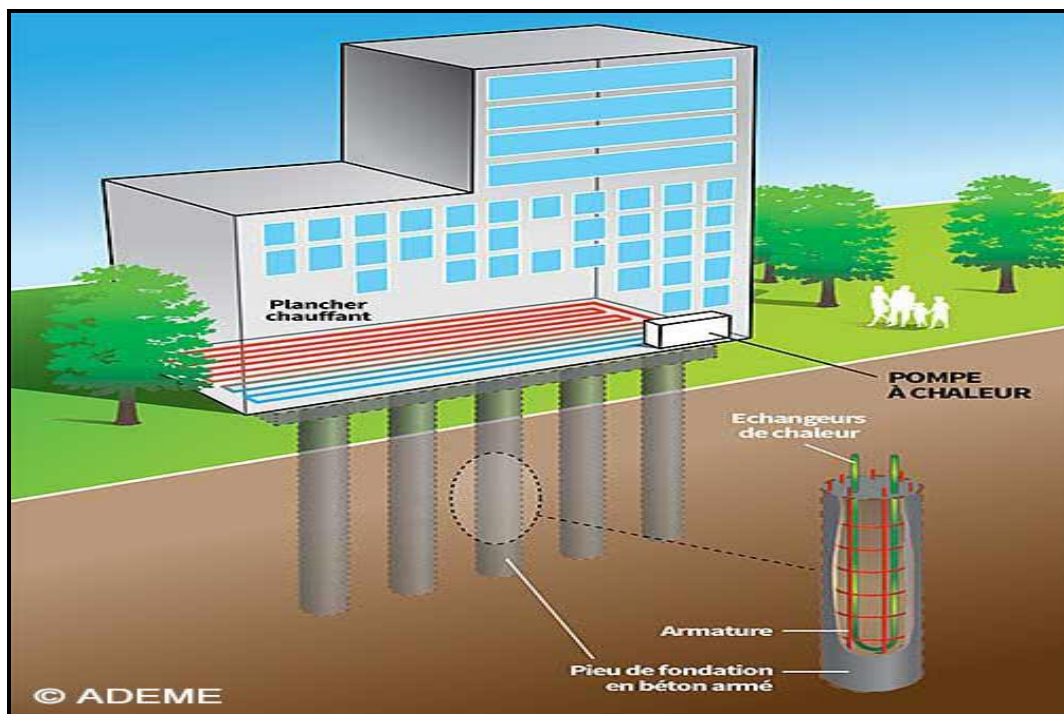


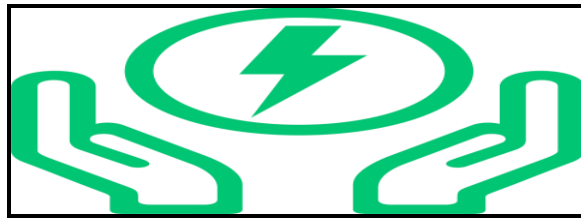
Figure n°14 : Géostrucure (AFPG / [www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr))

## LES AVANTAGES DE LA GÉOTHERMIE DE SURFACE



- 90%\*

**Emissions de CO<sub>2</sub>** : En France, 25% des émissions de CO<sub>2</sub> proviennent du chauffage et de la climatisation



- 80%\*

**Consommation énergétique** : Et jusqu'à -65% en consommation d'énergie primaire\*\*



- 60%\*

**Coûts annuels** : Soit au moins 3 fois plus économique qu'une pompe à chaleur aérothermique classique \*\*\*

Et temps de retour sur investissement < 10 ans\*

(\*) Valeur estimée par comparaison à une solution de référence (chaudière gaz & climatisation) dans le contexte de la France métropolitaine et sur la base d'un design optimal.

(\*\*) L'énergie primaire est l'énergie disponible dans l'environnement et directement exploitable sans transformation.

(\*\*\*) Coûts annuels estimés entre 0 et -20%\* pour une solution aérothermique.

## VIII-LES SOURCES CHAUDES

Une **source chaude** est une source dont l'eau sort du sol à une température élevée, chauffée par un processus géothermique. Il y a des sources chaudes tout autour du monde, sur tous les continents et même dans les mers.

**(Webmaster 9)**



**Figure n°15** : Source du Dragon vert à Norris Geyser Basin dans le Yellowstone National Park **(Webmaster 9)**



**Figure n°16** : Cuisson d'œufs dans une source chaude à Nagano au Japon **(Webmaster 9)**

## 1. Définitions

Il n'y a pas de définition généralement acceptée de la notion de source chaude. Voici quelques définitions communément admises.

- Toute source géothermique,
- Une source dont la température est supérieure à la température de son environnement,
- Une source naturelle dont la température est supérieure à celle du corps humain (normalement entre 36.5°C et 37.5°C)
- Une source thermale dont la température est supérieure à 36,7°C (98°F)
- Une source naturelle dont la température est supérieure à 21,1°C (70°F) (synonyme d'eau thermale)
- Une résurgence naturelle d'eau souterraine ayant une température élevée
- Un type de source thermale dans laquelle l'eau chaude est amenée à la surface. La température de l'eau est en général à 6,5°C (11,7°F) ou plus au-dessus de la température ambiante.. Avec cette définition, « source thermale » et « source chaude » ne sont pas synonymes.
- Une source dont l'eau chaude est amenée à la surface (synonyme de source thermale). La température de l'eau de source est en général 8,3°C (15°F) ou plus au-dessus de la température ambiante.
- Une source dont la température est supérieure à la température ambiante du sol,
- Une source dont la température est supérieure à 50°C (**Webmaster 9**)

Le terme **source tiède** est appliqué à une source dont la température est inférieure à celle d'une source chaude, Pentecost et al (2003) suggère que le terme « source tiède » n'est pas utile et devrait être évité. Le *Centre des données géophysiques étatsunien* (US NOAA Geophysical Data Center) définit une source tiède comme une source dont la température se situe entre 20°C et 50°C. (**Webmaster 9**)

## 2. Débits



**Figure n° 17:** Deildartunguhver en Islande: Les sources d'eaux chaudes au plus haut débit en Europe (**Webmaster 9**)

La gamme des débits des sources chaude va de la petite « fuite » à la véritable rivière. Il y a parfois même assez de pression pour créer des geysers ou des fontaines.

Aux États-Unis, une source très faible alimente par exemple le complexe, Fales Hot Ditch (au nord de Bridgeport en Californie). Il y a aussi un immense lac souterrain sous la ville de Tonopah en Arizona, qui fournit de l'eau naturelle minérale chaude pour différentes sources chaudes. (**Webmaster 9**)

### 3. Sources chaudes à haut débit

Les références sur les débits élevés des sources chaudes abondent. Voici une liste de quelques sources chaudes avec des débits élevés :

- Le débit cumulé des 47 sources de Hot Springs, Arkansas est de 35 litres/seconde.
- La source Hay-Yo-Kay à Truth or Consequences au Nouveau-Mexique possède un débit de 99 litres/seconde.

- Lava Hot Springs en Idaho a un débit de 130 litres/seconde.
  - Glenwood Springs dans le Colorado a un débit de 143 litres/seconde.
  - Elizabeth Springs dans l'Ouest du Queensland, Australie aurait eu un débit de 158 litres/seconde à la fin des années 1800, aujourd'hui le débit de 5 litres/seconde.
  - Deildartunguhver, à Reykholt en Islande a un débit de 180 litres/seconde.
  - Les sources chaudes de Caldas Novas au Brésil sont exploitées par 86 puits, dont 333 litres/seconde sont pompés 14 heures par jour. Cela correspond à un débit moyen de pointe de 3,88 litres/seconde par puits.
  - Les 2 850 sources chaudes de Beppu forment le site le plus élevé du Japon. Ensemble elles produisent environ 1 592 litres/seconde, soit une moyenne de 0,56 litre/seconde par source.
  - Les 303 sources chaudes de Kokonoe au Japon produisent 1028 litres/seconde, soit un débit moyen de 3,39 litres/seconde par source.
  - La Préfecture d'Ōita possède 4 762 sources chaudes, pour un total de 4 437 litres/seconde, soit un débit moyen de 0,93 litres/seconde.
  - La source chaude au débit le plus élevé du Japon est celle de Tamagawa dans la préfecture d'Akita, qui a un débit de 150 litres/seconde. La source de Tamagawa nourrit un courant de 3 mètre de large à une température de 98 °C.
- (Webmaster 9)**
- Il y a au moins trois sources chaudes dans la région de Nage, à 8 km au Sud-Ouest de Bajawa en Indonésie, qui produisent un total de plus de 453,6 litres/seconde.
  - Il y a aussi trois autres grandes sources chaudes (Mengeruda, Wae Bana et Piga) 18 km Nord-Est de Bajawa, qui produisent plus de 450 litres/seconde.
  - Le site de Dalhousie Springs en Australie a un débit total de pointe de plus de 23 000 litres/seconde en 1915. Il est descendu à un débit total de pointe de 17,370 litres/seconde.



#### 4. Source de chaleur

L'eau provenant d'une source chaude est chauffée par une chaudière géothermale (c'est-à-dire que l'énergie thermique provient de celle de la Terre). En général, la température des roches de la croûte terrestre augmente en fonction de la profondeur (de la pression ambiante en fait). On appelle cela le « gradient géothermique ». Si l'eau pénètre en profondeur elle va se réchauffer en contact des roches chaudes, c'est de là que vient la chaleur des sources chaudes des régions non volcaniques. **(Webmaster 9)**



**Figure n°18 :** Geyser à Kamisuwa, Préfecture de Nagano. **(Webmaster 9)**



**Figure n° 19:** Mud pot in Lassen Volcanic National Park. **(Webmaster 9)**

Dans les régions volcaniques, comme dans le parc de Yellowstone aux États-Unis, l'eau peut tout simplement être chauffée par contact direct avec le magma. La très haute température thermique (de 1000° à 5000°) qui règne dans la poche magmatique est suffisante pour permettre à l'eau d'entrer en état d'ébullition. On appelle « geyser » une source chaude dont la vapeur ne peut pas se dissiper de façon continue. Sinon, il s'agit d'une fumerolle. On peut aussi apercevoir parfois de l'eau surchauffée mélangée à de la boue et de l'argile bouillonnant, on appelle cela une mare de boue. **(Webmaster 9)**

Il est important de signaler que dans la plupart des zones volcaniques la température de sources chaudes est souvent proche de 100°C (point d'ébullition à pression ambiante). Par imprudence, en particulier dans les sites peu sécurisés, des gens ont été sérieusement brûlés, parfois même tués par accident ou intentionnellement en tombant dans des sources chaudes, des fumerolles ou alors en étant aspergés par un geyser. Dans la plupart des sites géothermiques, des panneaux signalent ces dangers.

Les sources tièdes sont parfois le résultat de la rencontre d'une source froide et d'une source chaude. Elles se trouvent le plus souvent en dehors des zones volcaniques. **(Webmaster 9)**

## **5. Infections venant de sources chaudes**

Malheureusement, les sources chaudes peuvent créer un milieu idéal pour répandre des infections. Par exemple :

- le *naegleria fowleri* une amibe vivant dans les réseaux d'eaux et sols chauds peut être la cause de meningites. Plusieurs morts ont été attribuées à cette amibe, qui entre dans le cerveau en passant par les sinus.
- *Acanthamoeba* pourrait aussi se diffuser via les sources chaudes, (source: centre de contrôle des maladies américain).
- La bactérie *Legionella* peut aussi se diffuser *via* les sources chaudes.

## 6. Utilisations thérapeutiques

Parce que l'eau chaude a une meilleure capacité de dissolution, elle peut porter plus d'éléments dissous, les sources tièdes et surtout chaudes sont souvent très chargées en minéraux, du simple calcium au lithium, et même parfois du radium. À la fois le folklore et les propriétés médicales prouvées font que ces sources sont souvent des destinations populaires et des lieux pour des centres de soins (réhabilitation, handicaps divers). **(Webmaster 9)**



**Figure n°20 :** Source chaude japonaise à l'air libre a Nachikatsura, Wakayama, utilisée comme bain public. **(Webmaster 9)**

## 7. Sources chaudes dans le monde

Il y a des sources chaudes sur tous les continents et dans de très nombreux pays autour du monde. Les pays renommés pour leur sources chaudes sont l'Islande, la Nouvelle-Zélande, le Chili l'Algérie ou le Japon et Taiwan, mais il y a des sources chaudes intéressantes et uniques dans de très nombreux endroits comme **(Webmaster 9)**:

- La ville de Spa en Belgique, à qui l'on doit le mot « spa » à des eaux à 32°C. L'empereur Joseph II la nomma le Café de l'Europe en juillet 1781. Casanova visita Spa en 1783 cherchant des occasions pour ses affaires sans suite.

- La bien nommée ville de Chaudfontaine à 20 km de Spa possède des sources d'eau chaude dont les caractéristiques sont de s'infiltrer à 1600 m de profondeur, d'atteindre 55°C et de surgir après 60 ans à une température de 37°C.
- Il y a plus de 275 sources chaudes au Chili incluant la plus grande d'Amérique du Sud à Liquiñe.
- La ville d'Ikaria en Grèce abrite une source d'eau chaude radioactive utilisée depuis le quatrième siècle avant JC.
- Il y a un grand nombre de sources chaudes au Groenland, comme à Uunartoq. Il y a plus de 2000 sources chaudes rien qu'à l'île Disko, qui représente seulement 0,4% de la surface du Groenland.
- Les sources d'eau chaude de Geysir en Islande sont le lieu d'origine du mot geyser.
- L'Islande a de nombreuses sources d'eaux chaudes célèbres, ainsi celle alimentant le spa Blue Lagoon à Grindavík et Deildartunguhver est la source d'eau chaude européenne ayant le plus gros débit. L'eau de Deildartunguhver émerge à 97°C et est canalisée pendant des kilomètres pour le chauffage public.
- Aux Açores, et notamment à Furnas.
- Le Parc national japonais Shiretoko à Hokkaido a des chutes d'eau chaude appelée *Kamuiwakkayu-no-taki*;
- Le parc national « Northwest Spitsbergen » sur l'île Spitzberg en Norvège, contient deux des sources d'eaux chaudes les plus au nord de la planète, à 80° Nord.
- Il y a de nombreuses sources au Royaume-Uni, mais la plus chaude se trouve dans la ville de Bath. Suivant certaines définitions ce serait en fait la seule source d'eau chaude des Îles britanniques.
- Localisé sur la ceinture de feu du pacifique, le Japon est dans une région volcanique, et abrite de nombreuses sources d'eaux chaudes. Le *onsen* (un mot

japonais pour « source chaude ») joue un rôle notable dans la culture japonaise. Visiter un *onsen* est la quintessence de l'expérience japonaise et est un activité touristique populaire.

- Les sources chaudes de Chutsen Chugang sont situées au pied du Zhoto Terdrom / Tidro Nunnery, à une altitude de 4400 mètres à Maldrogongkar / comté de Mozhugongka, Lhassa, Tibet. Des moines bouddhistes et le « serpent des sources chaudes » cohabitent près de ce groupe de sources chaudes en haute altitude.
- Il y a également des sources d'eau chaudes en Antarctique, comme celle de Déception Island.
- *Champaign Hot Springs* est un système de sources géothermales sous-marines peu profondes le long de la côte de la Dominique, Petites Antilles.

Il y a une centaine de sources d'eau chaude à Taiwan, les plus connues sont situées dans le district de Beitou à Taipei et à Wulai (sud de Taipei).

**(Webmaster 9)**

## **8. Sources chaudes en Algérie**

L'Algérie est l'un des pays qui compte le plus de sources chaudes. Autrefois mise en valeur par les Romains, elles sont aujourd'hui pour la plupart d'entre elles laissées à l'abandon. Les plus réputées en termes de qualité et de beauté sont les suivantes :

- Le Hammam Essalihine de Khenchela qui dispose de plusieurs bassins d'eau chaude et dont l'architecture romaine unique lui donne une allure antique. Situé dans les montagnes des Aurès, c'est la plus belle source thermale d'Algérie et l'une des plus belles au monde.
- Le Hammam Meskhoutine de Guelma dont l'arrivée en eau chaude se fait par le biais d'une cascade. Il est avec le hammam Essalihine le hammam le plus chaud d'Algérie et la deuxième source d'eau la plus chaude (97°) au monde après celles d'Islande.

- Le Hammam Guedjima à Gosbat, près de Batna, dispose de l'une des sources d'eau les plus chaudes d'Algérie avec une température de 40,8°. Il est visité par environ 150 personnes par jour, malgré le manque de publicité et de développement du site, par le simple bouche à oreille.

La source de Saïda jaillit à 63° (**Webmaster 9**)



**Figure n°21** : source chaude de Guelma (**Webmaster 9**)

## **9. Parcs des sources chaudes aux États-Unis**

Le parc national des sources chaudes, dans Hot Springs en Arkansas a été le premier parc national des États-Unis. Il y a aujourd'hui au moins six parcs nationaux dans ce pays qui présentent des sources chaudes. (**Webmaster 9**)

1. Arkansas
  - Parc national de Hot Springs
2. Californie
  - Parc national de la Vallée de la mort
  - Parc national volcanique de Lassen
3. Idaho / Montana / Wyoming
  - Parc national de Yellowstone
4. Texas
  - Parc national de Big Bend

## 5. Washington

- Parc national Olympique



**Figure n°22 : source chaude à Lassen Volcanic National Park (Webmaster 9)**

## **IX-RESEAU D'ASSAINISSEMENT (DISTRIBUTION)**

### **Une des étapes du cycle domestique de l'eau**

L'assainissement de l'eau est une des étapes du petit cycle de l'eau (également appelé cycle domestique de l'eau). Durant ce cycle, l'eau est d'abord collectée à l'état brut par captage, puis elle subit différents traitements pour la rendre potable. Elle est ensuite distribuée dans les foyers pour leur consommation et en dernier lieu, les eaux utilisées et usées sont traitées par un réseau d'assainissement avant d'être rejetées dans la nature. C'est cette dernière étape qui nous intéresse ici. A savoir quels types d'eaux usées existe-t-il, comment fonctionne leur assainissement et quels sont les réseaux publics en France qui prennent en charge ces opérations d'assainissement ? **(Webmaster 12)**

### **De l'utilité de l'assainissement pour préserver nos ressources**

La croissance démographique s'accompagne d'un développement des activités humaines (industrie, agriculture, activités domestiques) avec pour conséquence une production plus importante de rejets polluants qui viennent notamment dégrader la qualité de l'eau. Or, notre ressource en eau n'est pas inépuisable. Si nos eaux usées ne sont pas systématiquement nettoyées avant d'être rejetées dans le milieu naturel, elles risquent de détériorer l'environnement qui ne serait alors plus en capacité de fournir suffisamment d'eau, augmentant ainsi le risque de pénurie. C'est pourquoi l'assainissement de nos eaux usées est absolument essentiel pour préserver nos ressources naturelles. **(Webmaster 12)**

### **Les 3 grandes catégories d'eaux usées**





**Photo n°1 : l'eau usée (Webmaster 12)**

Il existe trois catégories d'eaux usées, classées suivant leur usage :

### **Les eaux usées domestiques**

Ce sont d'une part, les eaux-ménagères (ou eaux grises) que nous consommons chaque jour (principalement dans la salle de bain et la cuisine pour se laver, faire la vaisselle, nettoyer le linge etc.), et d'autre part les eaux-vannes (ou eaux noires) qui viennent des toilettes charriant l'urine et les matières fécales.

### **(Webmaster 12)**

Ces eaux usées domestiques contiennent divers agents polluants pouvant devenir pathogènes :

- Les eaux noires produisent de l'azote, phosphore, ammoniac ainsi que des germes fécaux.
- Les eaux grises produisent des métaux lourds (cadmium, plomb, arsenic, mercure...) via les produits d'entretien, les médicaments ou encore les cosmétiques.

## **Les eaux usées industrielles et agricoles**

Elles proviennent des usines, des ateliers de fabrication et des structures agricoles. Leurs caractéristiques dépendent de l'usage qui en est fait. Ces eaux usées contiennent notamment des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures... **(Webmaster 12)**

## **Les eaux pluviales et de ruissellement**

Lorsqu'elles sont au contact de l'air ou au cours du ruissellement (sur les toits ou les chaussées par exemple), ces eaux de pluie se chargent d'impuretés entraînant une dégradation de la qualité des ressources d'eau naturelles. Ce type d'eaux usées peut notamment contenir des fumées industrielles, des pesticides, huiles de vidange, métaux lourds, carburants.... **(Webmaster 12)**

## **Quels dispositifs et quels traitements ?**

L'assainissement est un processus d'épuration qui comprend :

- La collecte des eaux usées
- L'épuration (ou dépollution), c'est-à-dire le traitement des eaux usées
- Le rejet des eaux dépolluées dans le milieu naturel
- La gestion des eaux pluviales et de ruissellement : en cas de fortes pluies pouvant conduire à des inondations, ces eaux non maîtrisées qui en charriant de nombreux polluants, peuvent se retrouver directement dans le milieu naturel et détériorer les ressources. **(Webmaster 12)**

## **Les deux types d'assainissement**

Lorsque les eaux usées sont collectées, acheminées puis traitées par le service public d'assainissement, on parle alors d'assainissement collectif (ou tout à l'égout). Cela concerne principalement les territoires où l'habitat est dense. Les eaux usées sont collectées puis transportées via un réseau de canalisations vers une station d'épuration qui se chargera de la dépollution. **(Webmaster 12)**

Dans le cas des foyers non raccordés au réseau public des services de l'eau, l'assainissement se fait de manière autonome, il s'agit d'un assainissement non collectif. Cela concerne principalement les zones d'habitations dispersées. Ces territoires sont alors dotés d'un dispositif autonome de prétraitement ainsi que d'un dispositif de traitement qui utilise les pouvoirs épurateurs des sols. **(Webmaster 12)**

### **Les traitements pour l'assainissement collectif**

Le prétraitement vise à débarrasser les eaux des éléments qui pourraient empêcher les étapes suivantes du traitement. Il regroupe 3 opérations :

- Le dégrillage et le tamisage : c'est un traitement mécanique qui permet de retirer les éléments insolubles tels que les branchages, les plastiques...
- Le dessablage : ce type de traitement permet d'extraire par décantation le sable qui s'est mêlé aux eaux de ruissellement ou issu de l'érosion des canalisations.
- Le dégraissage vise à éliminer les huiles en faisant remonter les graisses puis en les raclant à la surface de l'eau.

Le traitement le plus utilisé est le traitement « par boues activées », qui utilise les boues issues du pré-traitement. Les bactéries contenues dans ces boues sont employées comme outil de traitement. Une station de traitement d'épuration des eaux usées ne produit pas d'eau potable car elle peut encore contenir des agents polluants et des résidus microbiens. **(Webmaster 12)**

D'autres traitements peuvent être utilisés notamment dans les plus petites collectivités : lagunage, phyto-épuration (roselières).

Les eaux ainsi traitées retournent ensuite dans leur milieu naturel.

### **La gestion de l'assainissement**

#### **S'agissant de l'assainissement collectif**

Ce sont les communes qui gèrent les services de l'eau. Il existe différents modes de gestion pour les services publics de l'eau et de l'assainissement des eaux usées :

- La régie directe : la commune ou l'agglomération prend en charge l'intégralité des services
- La gestion déléguée : la commune ou l'agglomération délègue tout ou une partie de la gestion à une entreprise spécialisée, soit sous forme de concession (dans ce cas, l'entreprise délégataire finance, réalise et exploite les équipements), soit par affermage (dans ce cas, la collectivité reste propriétaire des équipements et l'entreprise délégataire exploite et entretient ces équipements). (**Webmaster 12**)

### **S'agissant de l'assainissement autonome (non collectif)**

Depuis la **loi sur l'eau de 1992**, les communes sont également responsables de l'assainissement non collectif. Elles sont en effet tenues de mettre en place un Service Public d'Assainissement Non Collectif (SPANC). Ce service permet de contrôler les installations d'assainissement non collectif pour éviter tout risque sanitaire.

## **X-ECONOMIE ET POLITIQUE DE L'EAU**

« Or, des millions de personnes, partout dans le monde, manquent d'eau. Des millions d'enfants meurent chaque année de maladies d'origine hydrique. Et certains des pays les plus pauvres de la planète souffrent régulièrement de la sécheresse.

Le monde doit trouver de réelles solutions à ces problèmes. Nous devons utiliser l'eau de façon plus rationnelle, surtout dans l'agriculture. Nous devons les associer aux décisions relatives à la gestion de l'eau. Nous devons faire de l'assainissement une priorité, car c'est dans ce domaine que les progrès sont les plus lents. Et nous devons montrer que les ressources en eau ne sont pas inévitablement une source de conflit, et peuvent au contraire stimuler la coopération. » A déclaré **KOFI ANNAN** à l'initiative de la journée mondiale de l'eau de Nations Unies - New York, le 22 mars **2005**).

L'un des problèmes majeurs en matière d'eau douce et d'alimentation humaine est posé par l'irrigation, car pour nourrir toute la population de notre planète, la productivité agricole devra fortement augmenter. Le facteur déterminant de l'approvisionnement futur de l'humanité en eau douce sera donc le taux d'expansion de l'irrigation.

Un autre enjeu de taille pour les années à venir est celui de la satisfaction de l'ensemble des besoins en eau potable de l'humanité.

Les perspectives en matière d'eau douce ne sont pas réjouissantes puisque, de l'avis général, sa raréfaction semble inéluctable. Or, un pays qui manque d'eau est un pays qui ne peut ni nourrir sa population, ni se développer. (**KOFI, 2005**)

Une mobilisation internationale très large est organisée pour faire face au problème de pénurie.

## **1-L'eau matière stratégique pour les états :**

### **1.1. Les enjeux de l'eau pour les états :**

#### **A- Les populations et les usages de l'eau :**

Il est difficile d'estimer le volume d'eau dont on a besoin pour obtenir des niveaux de vie acceptables ou minimum, de la population. En outre, des sources différentes emploient des chiffres différents pour mesurer la totalité de la consommation d'eau et par les divers secteurs de l'économie (**EUROPEAN SCHOOLBOOKS**).

**Eau douce et développement économique :** En règle générale, le niveau de consommation d'eau douce d'un pays exprime son niveau de développement économique, dont il est en fait l'une des principales mesures. Les pays en développement consacrent à l'agriculture la plus grande partie de l'eau dont ils disposent.

#### **B-L'eau intérêt vitale stratégique pour les états :**

L'eau douce est indispensable à l'existence et au développement de sociétés organisées. Sans elle, pas de satisfaction des besoins individuels, ni de suffisance alimentaires, mais aussi pas de réalisation industrielle ou énergétique. Sans l'eau les peuples vivaient dans l'insécurité. L'eau est la source de la vie humaine et de la production agricole et industrielle de tous les états développés ou en voie de développement (**Ali, 1992**), (**FALKENMARK et LINDH, 1993**)

La localisation des sources, des lacs, des fleuves sur le territoire d'un état est une chance géographique. Elle est à l'origine de la puissance hydrique, mais aussi économique, voire politique de cet état, dans la mesure où elle facilite est l'implication de groupes humains et le développement agricole.

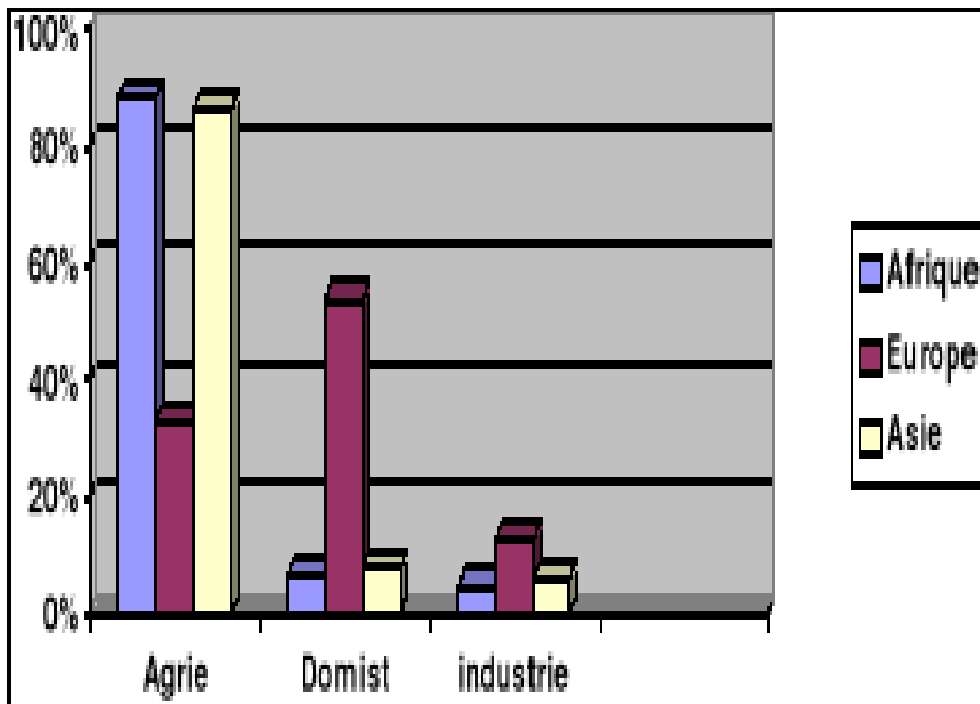


Figure n°23 : La consommation de l'eau dans le monde par secteur  
(FALKENMARK et LINDH, 1993)

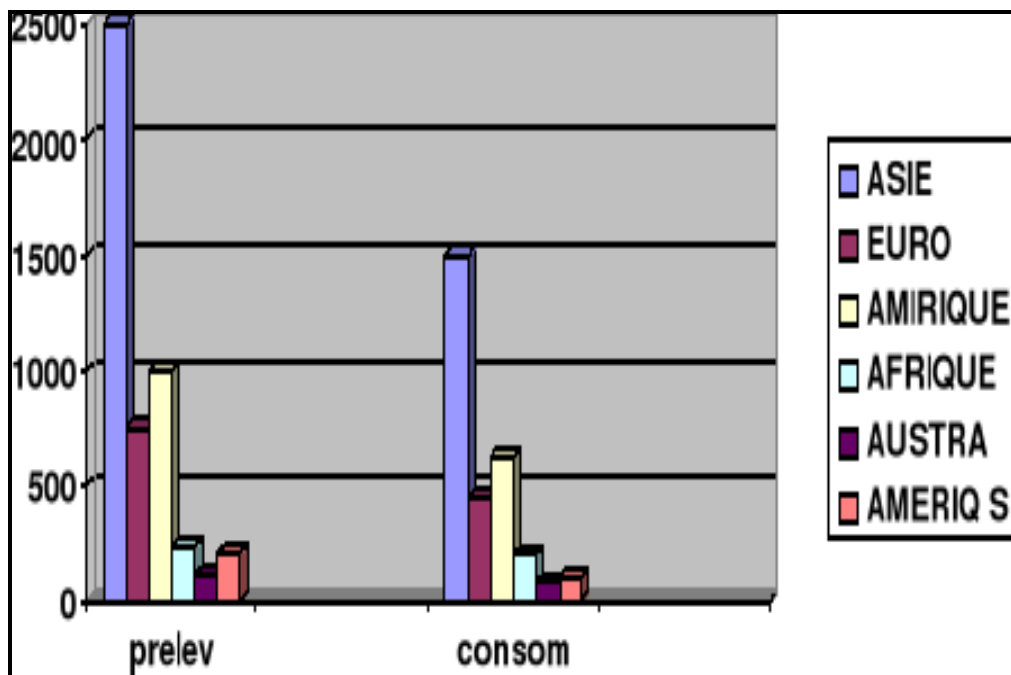


Figure n°24 : Le prélèvement et la consommation de l'eau dans le monde  
(FALKENMARK et LINDH, 1993)

### **C/ L'eau un enjeu de sécurité pour les états :**

L'eau pourrait être à l'origine d'une nouvelle analyse géostratégique de la sécurité internationale, qui prendrait en compte l'évolution des rapports de force politiques, militaires et économiques. Elle pourrait donner naissance à un nouveau groupe de puissances susceptibles de peser sur la scène internationale et de garantir la sécurité humaine, économique et politique. Elle conférerait ainsi une reconnaissance internationale aux neuf états qui se partagent 60% des ressources naturelles du monde.

### **2-Les nouvelles contraintes de l'eau :**

Les ressources en eau vont diminuer de manière constante en raison de la croissance démographique, de la pollution, et du changement climatique. Ces trois éléments sont les plus grandes contraintes de l'eau au XX et XXI siècle.

#### **A / La croissance démographique et les besoins économiques :**

La population mondiale, qui atteint près de 6 milliards d'habitants, augmente à raison d'environ 80 millions par an. Ce chiffre correspond à un accroissement de la demande d'eau douce de l'ordre d'environ 64 milliards de mètres cubes par an -- soit un volume équivalent au débit annuel du Rhin (**CLARKE, 1991**).

Si aujourd'hui on peut estimer la population des pays bordiers de La méditerranée à 440 millions, il ne faut jamais perdre de vue que d'ici à 2025, ce total devrait augmenter d'environ 100 millions (**PHILIPPE, 2001**).

Les calculs des difficultés et des pénuries d'eau se fondent sur les estimations du volume d'eau douce renouvelable d'un pays; ils n'englobent pas l'eau retirée des nappes fossiles. Les eaux souterraines fossiles sont essentiellement une ressource non renouvelable. Il faut des dizaines de milliers d'années pour que ces nappes profondes puissent se reconstituer. Un pays peut éviter temporairement des difficultés d'approvisionnement en eau en exploitant ses nappes non renouvelables, mais cette pratique ne peut pas durer, notamment si la population continue



d'augmenter rapidement et si la demande d'eau douce par personne s'accroît. (POPULATION BULLETIN 47(3): 1-36. Nov. 1992).

### **B /La contrainte climatique et la rareté des ressources :**

Des les années 1970, de nombreux scientifique ont alerte la communauté internationale sur les perspectives d'un réchauffement climatique de la planète du a l'enrichissement de l'atmosphère en gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane et oxydes nitreux pour l'essentiel) dont l'origine provient pour une grandes part des émissions de CO<sub>2</sub> des secteurs de l'énergie et du transport.

Les conséquences sur les désordres hydrologiques restent mal connues. Certain font état de catastrophes majeures, comme des changements affectant les grands courants océanique et un relèvement du niveau de 15cm à 1mètre. Les scénarios les plus surs prévoient des sécheresses dans les zones arides et semi-arides, des inondations et des tempêtes plus nombreuses.

### **C/ Les menaces des désastres écologiques et de la pollution :**

Le problème de pollution :

Selon un rapport publier par « *population information program* »; le problème de l'eau ne se pose pas seulement du point de vue de la quantité. La question de sa qualité et donc possibilités de son utilisation, retiennent de plus en plus l'attention. L'industrie, mais aussi l'agriculture, outre leur consommation importante portent atteinte à la qualité des eaux.

Aux Etats-Unis, des produits chimiques agricoles, des sédiments libérés par l'érosion et des déchets animaux ont dégradé 280.000 kilomètres de voies d'eau. On dit que l'agriculture est responsable de 70 % de la pollution actuelle de l'eau aux USA (NEW YORK TIMES, 1998).

### **D/ L'eau et la dimension de la santé :**

Les maladies liées à l'eau sont une tragédie humaine : elles tuent chaque année des millions de personnes, empêchent des millions de personnes de mener une vie saine et sapent les efforts de développement. Environ 2,3 milliards d'habitants, de par le monde, ont des maladies qui sont liées à l'eau.

### **3-La géopolitique conflictuelle de l'eau :**

#### **A/ Les confrontations pour le contrôle hydraulique :**

L'eau a marqué un rentré remarquable sur la scène de politique internationale comme un enjeu stratégique. Matière rare et irremplaçable, l'eau a été la cause de plusieurs conflits au 20<sup>e</sup> siècle. Et d'après les experts le monde se dirige vers des conflits pour l'eau dans tous les niveaux ; nationaux, régionaux et internationaux.

D'après le géographe Américain Aron Wolf ; la seule vrai guerre de l'eau connue remonte à 4500 ans .Il s'agit de deux cités mésopotamiennes à propos de Tigre et de l'Euphrate, dans le sud de l'Irak actuel.

La rareté des eaux en Afrique et la croissance de la demande engendrent des crises inter- communautaires.

L'Afrique du nord, a aussi marqué sa présence dans les problèmes hydraulique. Un désaccord entre l'Algérie et la Libye concernant le pompage de l'eau de désert, qui est considère comme des réserves hydriques pour les futures générations. Entre l'Algérie et la Maroc, il existe un barrage -algérien- qui prend ses ressources des montagnes de Rife (à travers Oued Malwiya)- Si le barrage de (BOURARA) construit par une entreprise Italienne au début des années 90- le problème est qu'il y a des usines qui jettes leurs déchets dans les sources de barrage ce qui rend les eaux ni potable ni utilisable pour l'irrigation.

#### **B/ L'eau une arme stratégique dans les conflits internationaux :**

Les différents dispositifs nucléaires, chimiques et bactériologiques se présentent comme des armes de la mort et de destruction, alors que l'eau se représente comme une arme de vie. Ainsi son rôle de conservateur de la vie humain, n'empêche pas qu'on puisse utiliser comme une arme de mort très dangereux (YVES, 2015).

## **4 Les politiques hydrauliques en Afrique du nord :**

### **Algérie :**

Secteur hydraulique a fait un effort important en matière de planification régionale des ressources en eau à moyen et long terme. Ces actions sont poursuivies et consolidées par l'établissement d'un Plan National de l'Eau. Ce Plan a pour objet l'intégration des différents plans régionaux en vue de définir une vision dynamique de la gestion intégrée des ressources en eau à long terme s'articulant autour des deux principaux axes ci-après :

- l'élaboration d'une stratégie nationale basée sur la consolidation des processus mis en œuvre par la loi 10-95 sur l'eau dans la réalité.
- La formulation et l'adoption de plans d'actions précis et programmes d'investissement correspondants.

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an.

Les risques d'appauvrissement des ressources en eau imputables à d'éventuels changements climatiques dans le sens d'une " aridification ", sont à prendre sérieusement en compte, d'autant que la pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau, notamment l'agriculture, l'industrie et le tourisme.

Il faut souligner que dans sa dynamique de développement l'Algérie n'a pas accordé à l'hydraulique toute l'attention qu'elle mérite.

Mais, plusieurs années après, et malgré cette prise de conscience, aucune amélioration notable n'ont été enregistrées. Ce que retiennent les usagers ce sont le rationnement à travers les coupures d'eau du plan Orsec ou les restrictions dans les périmètres irrigués. Il n'y a pas eu pratiquement de mesures concrètes et énergiques issues de cette stratégie nouvelle et destinées à opérer la rupture avec la gestion du passé (**CONSEIL NATIONAL ECONOMIQUE ET SOCIAL**).

## **B/ La modernisation de secteur hydraulique :**

Pour des raisons politique ou économique, l'Algérie a pris des recule dans les projets hydraulique, car le gouvernement d'après la guerre a donné une importance considérable au ressource énergétique qui représente la base de l'économie algérien depuis l'indépendance. Par contre au Maroc la rareté des ressources énergétique a poussé le royaume à développer la production agricole, et surtout la quantité de terres irriguées.

### **La réalisation des infrastructures hydrauliques :**

#### **Barrage :**

Les barrages ont été réalisés depuis 1970 par des entreprises algériennes (8 barrages), étrangères (18 barrages) et mixtes (4 barrages dont deux surélévations). Les entreprises algériennes sont des entreprises publiques (ENRB, ENATHYD, COSIDER, GENISIDER et SEROR,).

Les experts soulignent que les conditions naturelles et économiques en Algérie ne permettent pas d'avoir des barrages de plus grandes capacités comme c'est le cas par exemple de l'Egypte où le barrage d'Assouan renferme une capacité théorique de 160 milliards de m<sup>3</sup> (soit 4 fois les écoulements superficiels de tous les pays du Maghreb) ou du Maroc qui avec 80 barrages mobilise une capacité totale de 10 milliards de m<sup>3</sup>.

#### **Les forages :**

Plus de 2000 forages ont été réalisés par l'Administration entre 1990 et 1999 dans le Nord du pays, fournissant un volume de 1 milliard de m<sup>3</sup> répartis entre l'alimentation en eau potable pour 852 millions de m<sup>3</sup> et l'irrigation pour 147 millions de m<sup>3</sup>.

#### **En matière d'alimentation en eau potable :**

Les réalisations dans ce domaine peuvent être caractérisées par le niveau de raccordement de la population à un réseau public d'eau potable, et par la ressource mobilisée et adductionnée à cet effet.

### En matière d'irrigation :

Les superficies irriguées s'élevaient en 1989 à 378.000 ha ; en 1995, elles ont atteint 454.000 ha (y compris les épandages de crues) elles se répartissent comme suit :

Au lendemain de l'indépendance, la superficie équipée dans les grands périmètres irrigués était de 105.700 hectares. Les périmètres du K'sob, du Safsaf, de Maghnia, de Kais étaient considérés comme des aires d'irrigation. On peut relever que tous les périmètres équipés sont situés dans les plaines à l'aval des barrages et donc irrigués plus aisément par gravité.

La localisation de ces périmètres par région hydrographique se présente comme suit :

Localisation des périmètres en grande hydraulique

**Tableau n°4** : La localisation et superficie en pourcentage

Bassin hydrographique	Superficie Equipée (ha)	%
Oranie Chott Chergui	31 400	24.0
Chélif Zahrez	59 600	45.5
Algérois Soummam Hodna	30 000	22.9
Constantinois Seybouse Mellègue	10 000	07.6
Total	131 000	100.0

## **Les stations d'épuration, et le dessalement :**

Les STEP en Algérie ont "la mauvaise réputation", d'être des ouvrages destinés fatalement à tomber en désuétude, à cause dit-on du degré trop élevé de sophistication technique, d'un manque de compétence de gestion (rapport de la CEE sur la situation des STEP en Algérie) et/ou d'un manque de financement d'exploitation.

Malgré tous ses efforts la politique hydraulique algérienne est jugée insuffisante et tardive. Plusieurs années de sécheresse ont provoqué un très grand stress hydraulique, et face à la colère des populations à travers le pays lors de l'été 2001, le gouvernement a orienté sa politique hydraulique vers le dessalement de l'eau de la mer. (PETRELLA, 2004)

## **Les cinq principes contenus dans la Nouvelle Politique de l'Eau :**

Selon ANE (1995), les fondements de la nouvelle politique de l'eau en Algérie, concernent cinq principes mondialement admis et universellement appliqués :

L'unicité de la ressource : l'eau est par définition un bien collectif national, propriété de l'ensemble de la collectivité nationale.

- La concertation : La question de l'eau est à la fois sensible et complexe qui ne peut être objectivement traitée sans associer à la réflexion, à la décision et à l'exécution, tous les concernés (collectivités locales, usagers, etc...).
- L'application du principe de la concertation relève du Conseil national et des Conseils régionaux de l'eau.
- Le principe d'économie: Un cadre et un régime d'incitation porteurs de mécanismes institutionnels et organisationnels nouveaux sont nécessaires pour corriger la médiocrité et la mauvaise qualité dans la gestion de la ressource et des infrastructures.
- Le principe de l'universalité : l'eau est élément naturel qui ne reconnaît aucune frontière géographique, physique, biologique ou sectorielle. Elle revêt un

caractère universel ; elle est l'affaire de tous et elle doit être la préoccupation de tous.

- Le principe d'écologie : le principe d'écologie repose sur la défense de l'intégrité de l'écosystème, sur la protection de la santé publique et sur la mise en valeur des ressources humaines en mesure de mettre en place les stratégies de protection de sauvegarder de la ressource.

## **5-Aspects prospectifs sur une gestion intègre et durable en XXI siècle :**

La pénurie de l'eau relève d'abord d'une pression trop importante de la demande. Une des premières démarches doit consister à se soucier de l'évolution de cette population perçue comme le principal aiguillon à la croissance de la demande en eau et donc au problème de sa pénurie. De multiples organismes, nationaux ou internationaux, gouvernementaux ou pas, de grandes entreprises, des chercheurs provenant de tous horizons disciplinaires, réfléchissent à la question de l'eau. Chacun propose une solution ou plus souvent plusieurs.

### **5.1. Les stratégies de gestion de la crise hydraulique et ses moyens techniques et humaines :**

#### **A/ Une meilleure gestion des ressources existantes :**

##### ***1- La lutte contre le gaspillage.***

L'usage de l'eau domestique : la lutte contre le gaspillage commence par la correction des comportements de la population même si les particuliers ne sont pas les grands consommateurs. Mais il faut que la population ait les moyens de pouvoir ajuster sa consommation ce qui est de loin d'être évident dans ces pays où la consommation a atteint le seuil.

#### **La réfection des réseaux et l'usage de techniques d'irrigation moins coûteuses :**

- **Le LEPA (low energy précision application) :** ce système a été perfectionné dans les plaines texanes notamment pour la culture du coton, on connaît la gourmandise en eau.
- **La goutte à goutte.**

## **5.2. Une vision globale et intégrée**

Visant à la satisfaction optimale de l'ensemble des besoins légitimes, dans le respect des écosystèmes aquatiques.

D'une façon générale dans le Monde, c'est encore malheureusement une gestion éclatée entre secteurs qui prévaut (agriculture, villes, transport, hydroélectricité, industrie...), sans qu'une coordination existe entre les différentes entités administratives sur un même territoire. **(TENIERE, 2006)**

Cette gestion suppose que des fonctions soient assurées en permanence de façon complémentaire et cohérente sur l'ensemble des territoires. Il s'agit :

- De l'administration générale,
- De la sécurité, et de la prévention des risques et de la police,
- De la planification,
- De la réalisation des aménagements structurants, notamment pour réguler les ressources et prévenir l'érosion,
- De la construction des équipements individuels et collectifs, liés directement à l'utilisation de l'eau à son économie et à son recyclage, ainsi qu'à l'épuration des rejets polluants,
- De l'exploitation, de la maintenance et du management des infrastructures hydrauliques et des services collectifs,
- De la recherche et des études,
- De la formation, de l'éducation et de la sensibilisation,
- De l'organisation des systèmes d'observations et d'information sur l'état des ressources et des milieux aquatiques et sur les usages,

C'est bien l'ensemble de ces fonctions qui doivent être organisées de façon pérenne et dont le financement en investissement et en fonctionnement doit être mobilisé et garanti quelles qu'en soient les modalités. **(TENIERE, 2006)**

## **5.3. Créer des nouvelles capacités de formation**



- ✓ *Une organisation appropriée* : à l'échelle des grands bassins versants et aquifère. L'eau ne connaît pas les frontières, et la seule échelle de gestion cohérente, est celle des bassins versants ou des aquifères, qu'ils soient nationaux ou transfrontaliers.
- ✓ *L'application du principe "utilisateur pollueur payeur."*

#### **5.4. La recette de la banque mondiale**

« L'eau gratuit tue tous les jours des dizaines de milliers de personnes dans le monde et rend malades en permanence de millions de personnes. Cet état n'est pas une fatalité, il correspond au refus de donner à l'eau un haut degré de priorité économique ». Une des façons les plus évidentes de réduire le gaspillage, c'est d'augmenter le prix de l'eau. Le modèle macroéconomique d'ajustement de la demande aux nouvelles conditions du marché doit aboutir inévitablement à une réduction de la consommation, celle-ci ne se faisant pas obligatoirement au détriment d'un utilisateur, mais étant le résultat d'une rationalisation des usages subséquente à la hausse du prix de l'eau(TENIERE, 2006).

#### **5.5. La protection des ressources en eau**

La protection des ressources en eau, est à la base d'une gestion pérenne. Cet objectif nécessite à la fois de connaître qualitativement et quantitativement ces ressources mais aussi de les protéger et d'impliquer des acteurs à priori disparates.

- ❖ **L'évaluation des ressources** : Elle est nécessaire pour leur gestion optimum et durable mais il faut souligner qu'elle est plus soigneusement respectée, si elle fait l'objet de lois cadres qui fixent des objectifs précis.
- ❖ **La protection des ressources** : Elle passe d'abord par la mise en place d'un arsenal juridique dissuasif afin de protéger non seulement l'eau mais l'écosystème dans son ensemble, et notamment les bassins versants qu'il convient de restaurer s'ils ont fait l'objet de dégradations de grande ampleur. La prévention est un autre volet de la lutte contre la pollution. (TENIERE, 2006)

## **B/La mobilisation des nouvelles ressources :**

### **-Le dessalement de l'eau de mer**

Les trois quarts de la surface de notre planète sont recouverts d'eau mais d'eau salée malheureusement.

### **-La question des transferts :**

Les transferts dont il est question de parler maintenant sont d'une tout autre ampleur géographique et quantitative. Ils sont parfois plus ambitieux techniquement et soulèvent des interrogations multiples sur les possibilités de leur réalisation.

### **-L'exploitation des ressources aquifères fossiles :**

Les ressources en eau de la plupart des pays du Sahara et du Sahel ont fait l'objet de monographies et d'évaluations assez récentes, le plus souvent dans le cadre d'études de base des schémas directeurs d'aménagement des eaux liés aux plans de développement. (**TENIERE, 2006**)

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**ALI A. (1992):** Water, sanitation and a health, le rôle des ONG. P1-2.

**ASHRAE. 2015.** ASHRAE Handbook – Applications, Chap. 34 – Geothermal Energy. Banks, D. 2008. An introduction to Thermogeology : Ground Source Heating and Cooling, Blackwell Publishing.

**ASSOCIATION DES UNIVERSITES FRANCOPHONES:** ‘Mondialisation et francophonie’, actes du Forum de l’an 2000, Beyrouth 1998.

**AVRILLIER R. & DESCAMPS P. (1995) :** ‘Le Système Carignon’. Edition la Découverte Enquêtes. Paris.

**BALLONG S. (2007).** « L'eau sera-t-elle potable pour tous ? », dans Le Monde

**BANKS, D. 2012.** An introduction to Thermogeology : Ground Source Heating and Cooling, Blackwell Publishing. 2nd edition. e-book :

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/polymtl-ebooks/reader.action?docID=922367>  
(consulté le 19 août 2019).

**BANQUE Mondiale :** Rapport sur le développement dans le monde (1999/2003).

**BETHEMONT J. (2001) :** L'eau, le pouvoir, la violence dans le monde méditerranéen. *Hérodote*. 103 : 175-200.

**BONTOUX J. (1993) :** *Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Qualité et Santé*. Ed. CEBEDOC. Liège. 169 p.

**BORDET J. (2007) :** *L'eau dans son environnement rural*. Ed. Johanet. Paris. 317 p.

**BOUZIANI M. (2006) :** L'eau dans tous ses états. *Ed. Dar El-Gharb*, Oran, 260 p.

**BOUGUERRA M.L. (2000):** ‘L'eau sous la menace conjointe des pollutions et des marchés’. Communication au séminaire « Perspectives de la Problématique Eau en Afrique à l'Orée du XXI<sup>ème</sup> siècle ». Alexandrie, octobre 2000.

**BOUGUERRA M.L. (2003) :** ‘Les Batailles de l'Eau’. Enjeux Planète. Mouguerre/France. 2003

**CAZABAN M., DUFFOUR J. & FABBRO-PERAY M. (2005) :** Santé publique, 5<sup>ème</sup> Édition. Paris. 242 p.

**CLARKE R. (1991):** Water: The international crisis. London, Earthscan, 193 p

**CLEVELAND & MORRIS (2015),** p. 291.

**CME (2003).** Conseil mondial de l'eau, Virtual water trade and geopolitics.

**CONSEIL NATIONAL ECONOMIQUE ET SOCIAL,** Commission de l'Aménagement du Territoire et de Environnement projet de rapport " **L'eau en Algérie : le grand défi de demain** »

**DONALD KROEKER J. et RAY CHEWNING C., (1948).** « A Heat Pump in an Office Building », *ASHVE Transactions*, vol. 54, février 1948, p. 221-238

**EUROPEAN SCHOOLBOOKS.** The battle for water. United Kingdom (traduit en français).

**ENGELHARD P. (1996):** L'Homme mondial, éditions Arléa, Paris 1996.

**FALKENMARK ET LINDH (1993) :**L'eau et développement économique, ed; water in crisis; New York, Oxford university press, .p.80-94.

**FNUAP :** Etat de la population mondiale (1997 et 1998).

**GODART H. (2002) :** Alimentation en eau potable : Besoins et ressources. *Techniques de l'Ingénieur. Traité Construction.* C4 (190) : 1-8.

**GORDON BLOOMQUIST, R. (1999).** « Geothermal Heat Pumps, Four Plus Decades of Experience », *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, Oregon, Oregon Institute of Technology, vol. 20, n° 4, décembre 1999, p. 13-18

**GROSCLAUDE G. (1999) :** Un point sur l'eau, Tome II : Usages et Polluants. *Ed. INRA.* Paris. 210 p.

**HARROIS MONIN F. (1977) :** L'eau et nous. *Science et vie. Hors série.* 12: 108-118.

**JEAN-MICHEL C.** *Géothermie : du geyser au radiateur,* ([ISBN 2715904711](#)), ([ISBN 9782715904712](#)).

- JOHN LUND W.(2007).**, « Characteristics, Development and utilization of geothermal resources », *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, Oregon, Oregon Institute of Technology, vol. 28, n° 2, juin 2007, p. 1-9
- KAORUKO S., TAKEHITO T., NGUYEN K., QUANG L., MASAFUMI W., TOMOKO I. & KEIKO N. (2008)** : Bacterial quality of drinking water stored in containers by boat households in Hue City, Vietnam. *Environ Health Prev Med.* 13:198–206.
- LECOMTE P. (1998)** : Les sites pollués : traitement des sols et des eaux souterraines. 2<sup>ème</sup> Édition. Ed. Broché. Paris. 204 p.
- L'ETAT DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE MONDE**, ouvrage collectif, Editions la Découverte/ Fondation pour le progrès de l'Homme, Paris 1993
- LENGLET R. et TOULY J-L. (2004)** : “l'Eau de Vivendi-des vérités inavouables”. Alias. Paris 2004
- MARY H. DICKSON et MARIO FANELLI (2004).** *What is Geothermal Energy?*, Pise, Istituto di Geoscienze e Georisorse,
- MAYOR F. (1997)** : Water and civilization In: Actes du Premier Forum mondial de l'eau. Elsevier Science, Oxford.
- MONASSIER P. (2009)** ."Pompe à chaleur sur doublet de forages, Maintien du potentiel thermique des nappes et stockage d'eau chaude" ; Hydrogéologie-géologie de l'Ingénieur, 2, 1984, p. 133-143 - BRGM éd.
- O.M.S (1998)** : Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol. 3 : contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités.
- O.M.S (2004)** : Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres - mise à jour de novembre 2004.
- O.M.S (2007)** : Faire face à la pénurie d'eau. *Journée Mondiale de l'Eau*, Décennie Internationale d'Action « l'Eau source de vie » 2005-2015.
- ONU** : Annuaire démographique, vol. 46 ; 1996.
- PAQUEROT S. (2002)**: “Le Statut des ressources vitales en droit international”. Editions Bruylant. Bruxelles.

**PETRELLA R. (2004)** : ‘‘L’Eau, bien commun public’’. Editions de l’Aube. La Tour d’Aigues/France.

**PETER H. GLEICK (2017)**. , Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security.

**PHILIPPE D. (2001)** : .l'eau au tour de la méditerranée. L’Harmattan.

**PNUD** : Rapport sur le développement humain (2001/2003).

**RAFFAELE C. (1992)**. « Review of historiographic aspects of geothermal energy in the Mediterranean and Mesoamerican areas prior to the Modern Age », *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, Oregon, Oregon Institute of Technology, vol. 18, n° 1, août 1992, p. 13-16 , consulté le 1<sup>er</sup> novembre 2009)

**RUGGERO B. (2007)**. « World Geothermal Generation in 2007 », *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, Oregon, Oregon Institute of Technology, vol. 28, n° 3, septembre 2007, p. 8-19 , consulté le 12 avril 2009)

**TENIERE B. (2006)**. Interventions économiques pour améliorer l'usage de l'eau, p427- 433, en UNISCO, Water

**TIERCELIN J.R. (1998)** : L’EAU EN QUESTIONS : Enjeu du XXI<sup>e</sup> siècle. *Ed. ROMILLAT*. Paris. 301 p.

**TIWARI, G. N. et GHOSAL, M. K. (2005)**. *Renewable Energy Resources: Basic Principles and Applications*, Alpha Science, 2005 ([ISBN 978-1-84265-125-4](https://www.alpha-science.com/ISBN-978-1-84265-125-4))

**U.N.E.S.C.O. (2003)** : L’eau pour les hommes, l’eau pour la vie. *Rapport mondial pour l’évaluation des ressources en eau*. 36 p.

**Villiers M (2000)** : L’EAU, éditions Solin/Actes sud/Leméac, Paris.

**YVES J. (2015)**. (*Professeur à l’université Robert Schuman, Strasbourg. Une conférence sous titre (vers l’hydrastratégie. essai de théorisation stratégique*

**ZOGG M. (2008)**. « History of Heat Pumps Swiss Contributions and International Milestones », *9th International IEA Heat Pump Conference*, Zürich,

.....

**Webmaster 1:** <https://www.usgs.gov/media/images/le-cycle-de-leau-water-cycle-french>

**Webmaster 2:** <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/cycle-de-leau/>

**Webmaster 3:** [www.iea.org](http://www.iea.org)

**Webmaster 4:** [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr).

**Webmaster 5:** [www.cder.dz](http://www.cder.dz).

**Webmaster 6:** [www.geothermie-soultz.fr](http://www.geothermie-soultz.fr).

**Webmaster 7:** [www.local.atac.org](http://www.local.atac.org)

**Webmaster 8:** [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource\\_hydrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource_hydrique)

**Webmaster 9:** [https://fr.wikipedia.org/wiki/Source\\_chaude](https://fr.wikipedia.org/wiki/Source_chaude)

**Webmaster 10:** <https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9othermie>

**Webmaster 11:** [geothermal-energy.org](http://geothermal-energy.org).

**Webmaster 12:** <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/assainissement-eau-usees/>