

Eau et énergie sont indissociables

Marc Florette, Léon Duvivier

Marc Florette est membre du Comex et directeur Recherche et Innovation de GDF Suez.

Léon Duvivier est directeur des Technologies à la Direction Recherche et Innovation de GDF Suez.

L'objet principal de ce chapitre est de mettre en évidence l'importance de l'interdépendance entre l'eau et l'énergie (*Figure 1*), en tentant de démontrer comment l'énergie est utilisée et sur-utilisée dans toutes étapes du cycle de l'eau, et comment l'eau est utilisée et sur-utilisée dans toute la production d'énergie. L'eau est essentielle à la vie. Il n'existe pas de substitut. L'eau n'est pas renouvelable ; depuis l'époque des dinosaures, la quantité d'eau douce sur la Terre n'a pratiquement pas évolué. Il convient donc de la réutiliser au maximum. Le problème majeur est qu'avec l'accroissement de la population, l'augmentation des standards de vie, la production de nourriture et l'industrialisa-

tion sans cesse croissante, la pression sur les ressources en eau ne fait que croître au cours des décennies. La pollution et la contamination des ressources en eau douce ont comme conséquence une diminution continue des réserves de qualité disponibles. Comme clairement indiqué lors du UN Committee on Economic, Cultural and Social Rights (2002) :

« L'eau est fondamentale à la vie et à la santé. Le droit humain à l'eau est indispensable pour permettre une vie saine dans la dignité humaine. C'est un pré-requis à la réalisation de tous les autres droits humains. »

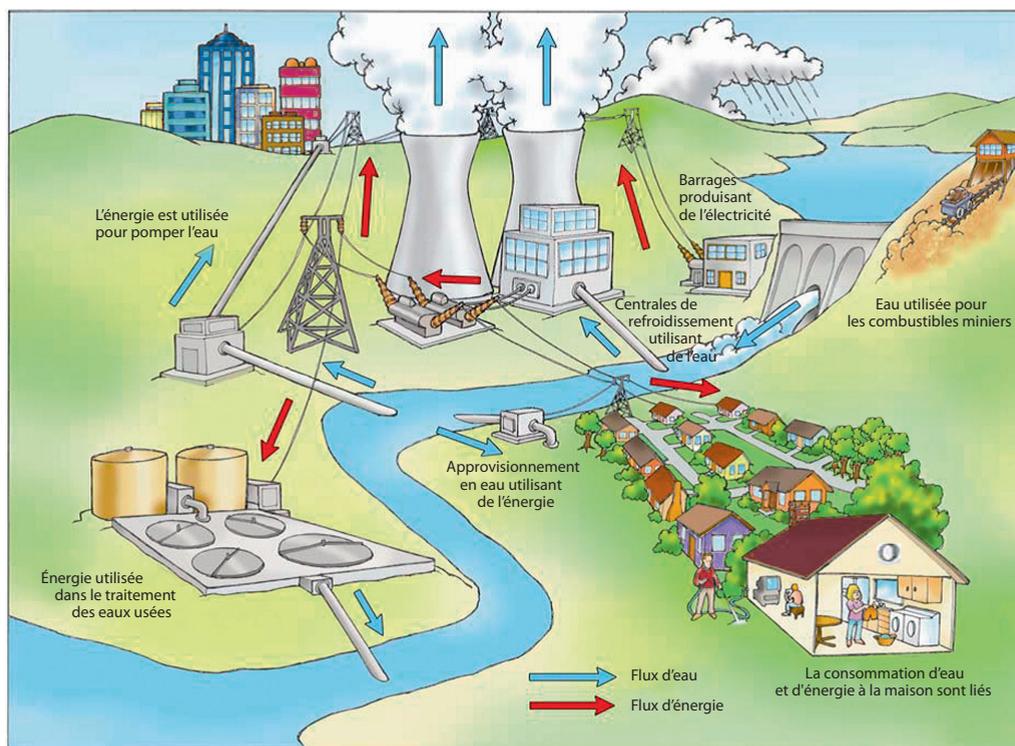


Figure 1

Les flux d'énergie et d'eau sont indissociables dans le cycle de production d'énergie.

L'énergie est une condition fondamentale à une vie décente. L'énergie est utilisée pour pomper, traiter et distribuer l'eau potable, aussi bien que pour collecter et traiter les eaux usées. Il est cependant beaucoup moins apparent de voir combien l'énergie dépend de la disponibilité en eau. Dans le cycle énergétique, l'eau est nécessaire pour extraire l'énergie primaire, pour le raffinage des combustibles et pour produire l'électricité. La production d'énergie a ainsi un impact important sur la qualité de l'eau.

Cependant, la différence fondamentale entre l'eau et l'énergie est que l'énergie peut être renouvelable alors que les ressources en eau ne le sont pas.

L'eau et l'énergie sont donc liées de façon inextricable. En anglais, le terme consacré est *water-energy nexus*. Nexus doit être compris comme une série de connexions au sein d'un système particulier.

Malgré cette interdépendance forte, historiquement, ces deux secteurs ont été régulés et gérés de façon indépendante. C'est au cours de la dernière décennie que l'importance de ce lien étroit entre l'eau et l'énergie a été reconnue par de nombreuses institutions internationales comme les Nations unies et le World Business Council for Sustainable Development. Le lien eau-énergie est une donnée essentielle dans les discussions relatives au concept de l'économie verte et était un des objectifs de la conférence

Rio +20 de 2012. Mieux comprendre et tirer parti des interactions entre eau et énergie pour préserver notre environnement est sans aucun doute un des défis du XXI^e siècle.

La prise de conscience internationale de cette interdépendance forte entre eau et énergie est apparue suite à la publication en 2004 de plusieurs documents d'Allan Hoffman de l'US Department of Energy :

« La sécurité énergétique des États-Unis est étroitement liée à l'état de ses ressources en eau. Les ressources en eau ne pourront plus être prélevées à ce rythme si les États-Unis veulent garantir leur sécurité énergétique dans les années et décades à venir.

De la même façon, la sécurité d'approvisionnement en eau des États-Unis ne pourra plus être garantie sans une attention particulière aux aspects énergétiques. Les deux aspects sont liés de façon inextricable. »

1 L'inter relation eau-énergie

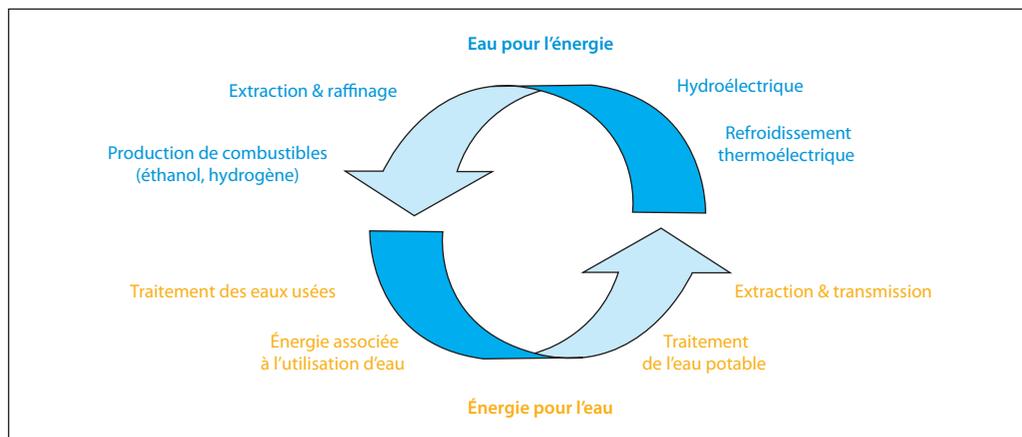
Le secteur de l'énergie est sans doute le secteur industriel consommateur d'eau le plus important. La plupart d'entre nous réalise intuitivement que la production d'eau nécessite une consommation énergétique. En revanche, à l'exception des grands barrages hydroélectriques, il est moins évident que la production et la conversion énergétiques sont également consommatrices de grandes quantités d'eau.

La **Figure 2** donne une représentation schématique des implications respectives de l'énergie dans le cycle de l'eau et inversement [1].

De plus en plus, la croissance de la population, le changement climatique, l'urbanisation, l'accroissement des standards de vie et la consommation de l'alimentation vont exiger une approche intégrée. La conception de nos villes et de nos habitations, notre style de vie ont des implications considérables sur les ressources en eau et la consommation énergétique.

Figure 2

Implications de l'énergie dans le cycle de l'eau et implication de l'eau dans le cycle de l'énergie.



Il ne s'agit donc pas uniquement d'un problème technologique ou d'un nouveau défi pour les ingénieurs.

Avant d'aller plus en avant dans l'exposé, quelques exemples chiffrés pour donner la mesure de l'interdépendance entre eau et énergie :

- entre 1 et 18 % de l'électricité dans les zones urbaines sont utilisés pour traiter et transporter l'eau potable et les eaux usées ;
- aux États-Unis, environ 40 % des prélèvements d'eau douce servent au refroidissement des centrales thermiques. La majorité de cette eau est restituée localement, mais les pertes locales par évaporation sont estimées à 3 %.

2 Les besoins en eau pour l'énergie

Les sources d'énergie primaire au niveau mondial sont le pétrole, le gaz naturel liquéfié, le gaz naturel, le charbon, l'hydroélectricité et l'électricité d'origine nucléaire. Actuellement, le pétrole et le gaz naturel restent les sources d'énergie primaire les

plus importantes. La consommation énergétique mondiale peut être estimée à environ 100 000 TWh (un térawatt-heure, TWh, vaut 10^6 MWh ou encore 86 000 tep) La **Figure 3** donne la répartition des diverses sources d'énergie primaire en 2009 [2].

Une conclusion s'impose : les combustibles fossiles sont et resteront pour les décades à venir les sources d'énergie dominantes.

Cependant, cette consommation énergétique n'est pas répartie de façon uniforme. Actuellement, le continent nord-américain consomme de l'ordre de 25 % de l'énergie mondiale (10 % pour le Canada, 85 % pour les États-Unis et 5 % pour le Mexique). Les modèles pour les quarante prochaines années mettent en évidence le fait que la consommation énergétique pour la même partie du monde ne va pas s'accroître de plus de 5 % et le continent nord-américain ne représentera plus que 16 % de la consommation mondiale. L'Europe verra sa consommation se réduire de 5 %.

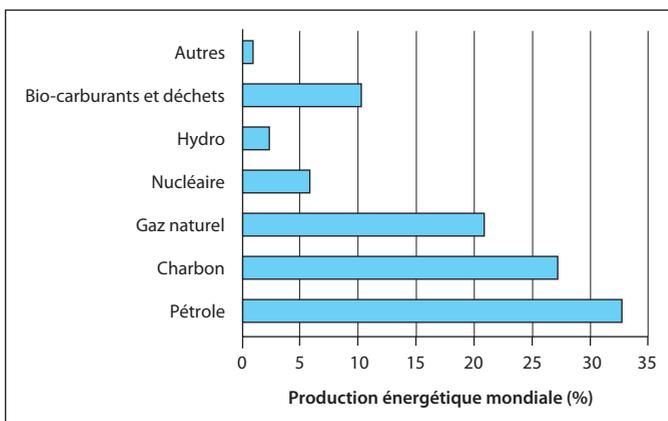


Figure 3

Répartition des sources d'énergie au niveau mondial.

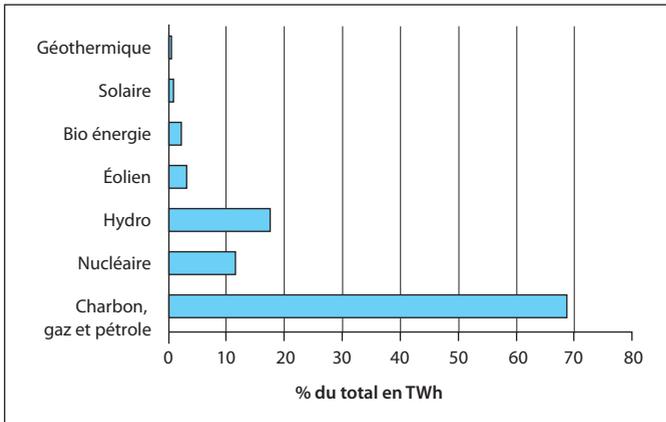


Figure 4

Répartition de la production d'électricité au niveau mondial en 2010.

En revanche, les économies émergentes comme la Chine, l'Inde et le Mexique verront leur consommation énergétique doubler au cours de la même période, les trois représentant environ 30 % de la consommation énergétique mondiale [4].

La **Figure 4** reprend la répartition de la production d'énergie électrique au niveau mondial en 2010 [2, 3]. Environ deux tiers de l'énergie électrique sont produits à partir de charbon, gaz et pétrole par les centrales électriques. La consommation électrique moyenne correspond à environ 3 000 kWh/personne.an. Bien entendu, la dispersion est relativement importante et varie de 9 kWh/personne.an au Tchad à 27 500 kWh/personne.an en Norvège.

Comme déjà mentionné auparavant, l'eau est indispensable au secteur énergétique. Nous nous proposons donc de voir tout au long de la chaîne de valeur de la production d'énergie comment évolue cette consommation d'eau et comment elle risque d'évoluer dans les prochaines décades.

2.1. L'extraction des combustibles

Le **Tableau 1** reprend les principales données relatives au potentiel d'extraction des combustibles primaires ainsi que la consommation en eau que cela implique [4, 5].

En guise de synthèse, la quantité d'eau pour l'extraction des combustibles varie fortement :

- pour le charbon : 0,164 m³/GJ ;
- pour le pétrole brut : 0,158 m³/GJ ;
- pour le gaz naturel : 0,109 m³/GJ ;
- pour l'uranium : 0,086 m³/GJ.

Et la biomasse dans tout ça... On ne peut parler d'extraction, mais la croissance de la biomasse exige de grandes quantités d'eau. Évidemment, la quantité d'eau requise pour produire de la biomasse est fortement influencée par le climat. Le **Tableau 2** reprend la production d'énergie primaire par biomasse pour les divers continents ainsi que les consommations en eau associées [4, 5]. On a estimé que 50 % de la biomasse produite l'est sous forme de granulés de combustible (voir aussi le

Tableau 1

Consommation en eau pour les diverses filières de combustibles (EJ = exajoule).

Production primaire (EJ)	2005	2020	2035
Total mondial	460,4	561,5	769,6
Pétrole brut	161,2	179,5	176,1
Pétrole non conventionnel	3,8	24,1	62,7
Gaz naturel	97,8	137,7	181,6
Charbon	121,1	144	217,2
Uranium	29,6	22,7	74,7
Besoin en eau pour l'extraction (Mds m ³ /an)			
Total mondial	1 774,5	1 930	1 919,9
Pétrole brut	179,5	274,3	335,7
Pétrole non conventionnel	12,9	82,9	215,7
Gaz naturel	10,7	14,9	19,8
Charbon	19,9	23,6	23,6
Uranium	2,5	2,9	6,4

Tableau 2

Impact de la biomasse comme combustible sur la consommation en eau.

Production primaire (EJ)	2005	2020	2035
Total mondial	460,4	561,5	769,6
Biomasse traditionnelle	36,3	37,1	36,2
Afrique	9	10,5	11,3
Asie	23,2	22,5	21,0
Europe	1,8	1,8	1,8
Amérique latine et Caraïbes	1,6	1,6	1,5
Amérique du Nord	0,8	0,7	0,7
Besoin en eau pour l'extraction (Mds m ³ /an)			
Biomasse traditionnelle	1 562	1 641,2	1 640,3
Afrique	640,4	745,6	801,4
Asie	829,8	805,6	749,7
Europe	22,1	22,0	22,3
Amérique latine et Caraïbes	47,7	47,7	46,7
Amérique du Nord	21,3	20,4	19,3

Chapitre d'après la conférence de J.-F. Rous).

La production d'énergie à partir de biomasse nécessite nettement plus d'eau pour sa production primaire que les autres sources d'énergie. Ainsi, la production d'un litre de bioéthanol requiert en moyenne 1 100 litres d'eau, ce qui représente environ 45 m³/GJ ; ce qui est largement supérieur aux valeurs mentionnées pour l'extraction des combustibles traditionnels.

2.2. La production d'électricité

Selon le World Energy Council [6], la production d'électricité au niveau mondial devrait passer de 18 000 TWh en 2005 à 53 000 TWh en 2050. En matière d'utilisation d'eau pour la production d'électricité, il convient d'établir la différence entre le prélèvement et la consommation. Le prélèvement se réfère à la quantité d'eau extraite du milieu à proximité du site de production, essentiellement pour le refroidissement des condenseurs. La consommation peut être définie comme la quantité d'eau non restituée localement. Il s'agit de

l'évaporation dans les tours de réfrigération.

La quantité d'eau nécessaire au refroidissement des condenseurs est essentiellement dépendante du rendement de la filière technologique et donc du rendement. Ainsi, les centrales nucléaires ayant un rendement voisin de 30 % exigent par MWh produit beaucoup plus d'eau de refroidissement que les cycles combinés au gaz, dont le rendement approche les 60 %.

Le **Tableau 3** reprend à titre d'exemple les besoins en eau de refroidissement en simple passage de divers moyens de production thermiques.

Le **Tableau 4** donne une idée des consommations pour diverses filières de production thermique. On y a ajouté l'impact potentiel de la capture du carbone (CCS) dans les gaz de combustion afin de réduire l'effet de serre [7].

Comme indiqué dans ce tableau, la capture du CO₂ à la sortie des installations conduit à un accroissement de la consommation d'eau de l'ordre de 90 %. Cela signifie donc qu'une généralisation de ce procédé dans les années à venir risque de multiplier approximativement par

Tableau 3

Débit d'eau de refroidissement en simple passage pour divers moyens de production d'électricité.

Moyen de production	Débit d'eau de refroidissement en simple passage (m ³ /s)
Nucléaire Génération II (REP 900-1 450 MWe)	35 - 50
Nucléaire Génération III (EPR 1 800 MWe)	60 - 75
Cycle combiné au gaz (450 MWe)	6 - 7
Ultra Super Critique charbon (800 MWe)	25 - 60

Tableau 4

Consommation en eau pour diverses filières de production.

Filière de production	Sans CCS (m ³ /MWh)	Avec CCS (m ³ /MWh)	Impact du CCS sur la consommation d'eau (%)
Centrale classique sub critique	2	3,7	+ 91
Centrale classique super critique	1,7	3,2	+ 87
Cycle combiné au gaz	0,7	1,3	+ 70
Nucléaire	2,7	NA	NA

deux la consommation d'eau pour les centrales à combustible fossile et les cycles combinés.

L'hydroélectricité est perçue par l'opinion publique comme le plus grand consommateur d'eau. En fait, il n'en est rien. L'eau stockée dans les barrages passe au travers de turbines hydrauliques et est rejetée dans l'environnement avec peu de modification. La consommation se résume donc à l'évaporation naturelle au niveau du réservoir de stockage ; elle est essentiellement dépendante des conditions climatologiques locales, et l'on estime en moyenne qu'elle varie de 2,6 à 5,4 m³/MWh [5, 8, 9].

La production d'électricité d'origine solaire peut se faire de trois façons différentes : au moyen de cellules photovoltaïques, par des installations solaires concentrées avec production de vapeur ou au travers de collecteurs solaires avec production d'eau chaude. Généralement, les installations photovoltaïques n'utilisent pas d'eau sauf pour leur nettoyage. En revanche, la consommation d'eau des centrales solaires thermiques varie

fortement en fonction de la technologie mise en œuvre. L'eau sert ici au refroidissement du condenseur, comme pour une centrale thermique classique, et également au nettoyage des miroirs. La consommation en eau peut varier de 0,265 à 4 m³/MWh [8].

Quant à l'énergie éolienne, la consommation d'eau est très limitée et se résume éventuellement au nettoyage des pales.

Le **Tableau 5** reprend la consommation d'eau des divers moyens de production d'électricité [7].

Pour résumer :

- une centrale au charbon consomme en moyenne 1,834 m³/MWh ;
- une centrale au gaz en cycle combiné : 0,727 m³/MWh ;
- une centrale nucléaire : 2,726 m³/MWh ;
- une centrale hydroélectrique : 5,4 m³/MWh ;
- une centrale solaire : 9,54 m³/MWh.

Si on cumule la quantité d'eau nécessaire pour l'extraction des combustibles et celle qui est requise pour la production d'électricité, on peut

Tableau 5

Consommation en eau des diverses filières de production d'électricité.

Production d'électricité (TWh)	2005	2020	2035
Thermique	12 126	18 641	24 782
– Charbon	7 235	9 679	12 601
– Gaz	3 478	6 746	8 908
– Pétrole	1 102	995	983
– Biomasse et déchets	311	1 041	2 290
Nucléaire	2 792	3 406	5 423
Hydro et géothermie	3 057	4 130	4 956
Éolien et solaire	94	1 129	3 910
Consommation en eau (Mds m ³)			
Thermique	16,9	24,3	32,5
– Charbon	12,8	17,1	22,3
– Gaz	2,5	4,9	6,5
– Pétrole	1,3	1,1	1,1
Biomasse et déchets	0,4	1,2	2,6
Nucléaire	7,6	9,3	14,8
Hydro et géothermie	16,5	22,3	26,8
Éolien et solaire	0,0	0,5	1,9

obtenir pour chaque filière de production une estimation de son empreinte eau (*water footprint*, en anglais). La **Figure 5** synthétise l'ensemble de ces données [7].

2.3. Les études de GDF Suez

Au cours des dernières années, GDF Suez a développé une compétence forte afin de mieux connaître les besoins en eaux de son parc de production. Pas uniquement la consommation, mais aussi l'impact de la localisation (dépendance en eau plus ou moins forte) et de la qualité de l'eau.

Les résultats des modèles développés par GDF Suez condui-

sent à une plage allant de 0,45 m³/MWh à 0,87 m³/MWh pour le mix énergétique du groupe (Hydro-électricité non comprise). Ces valeurs plus faibles que celles mentionnées auparavant et peuvent être expliquées par :

- un grand nombre de centrales au gaz en cycle combiné équipées de condenseurs secs ;
- un grand nombre de cogénération ;
- une part significative d'éolien ;
- l'hydro-électricité absente de l'étude actuelle.

Les études mettent en évidence le fait que la préparation

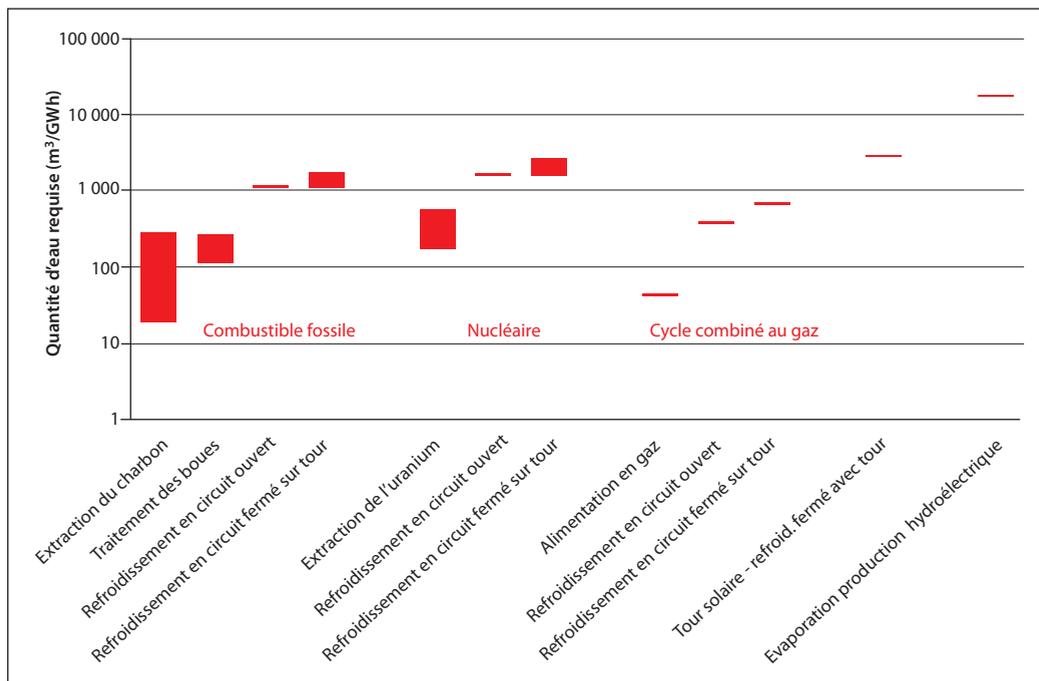


Figure 5

Estimation de l'empreinte eau des principaux moyens de production d'électricité.

du combustible représente environ 25 % de la consommation globale par MWh produit.

3 Les besoins en énergie pour l'eau

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

Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- les eaux de précipitation : 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. Le **Tableau 6** reprend la répartition des volumes et des pourcentages d'eau sur la Terre.

La consommation en eau, comme la consommation en énergie, est un bon indicateur du niveau de vie d'un pays ou d'une région. Il en découle qu'elle est très variable d'un pays à l'autre (**Figure 6**).

Même pour un non-expert, il apparaît clairement que tout le cycle de l'eau – son prélèvement, son transport, sa consommation, la collecte et le traitement des eaux usées – est fortement dépendant de l'énergie.

On estime que 2 à 3 % de l'énergie mondiale est utilisée pour l'alimentation et l'épuration des eaux. En Europe, cette consommation est estimée à 1 %. Il existe suffisamment de marge pour réduire

Tableau 6

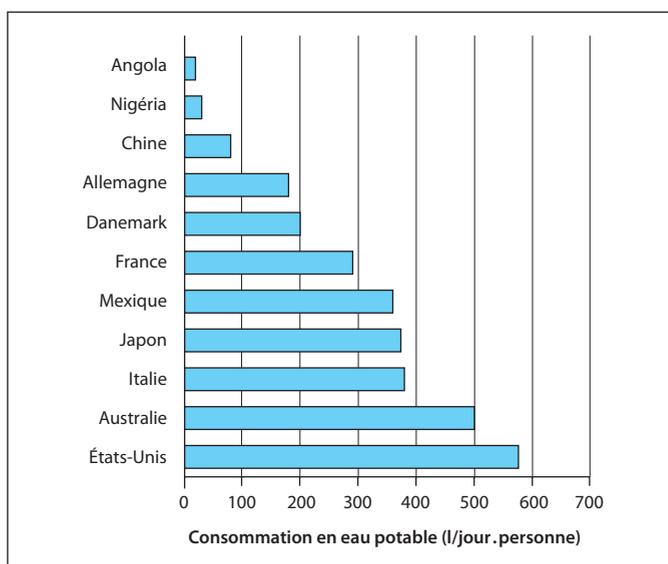
Répartition des volumes et des pourcentages d'eau sur la Terre.

Stocks totaux en eau	1,4 milliard de km ³	
Océans, mers	1,35 milliard de km ³	97,3 %
Glaces	27,5 millions de km ³	2,15 %
Eaux souterraines	8,2 millions de km ³	0,63 %
Lacs, rivières	207 000 km ³	0,01 %
Humidité du sol	70 000 km ³	0,005 %
Eau contenue dans les cellules vivantes	1 100 km ³	0,0001 %
Humidité de l'air	13 000 km ³	0,001 %

la consommation énergétique dans ce secteur. Dans les pays industrialisés, le coût énergétique dans le cycle de l'eau arrive en deuxième position après le coût de la main d'œuvre.

La consommation électrique dans tout le cycle de l'eau peut être compensée par la récupération d'énergie dans les stations d'épuration. En effet, la matière organique contenue dans les eaux usées peut être utilisée pour produire de la biomasse, qui peut à la fois produire de la chaleur et de l'électricité. L'énergie thermique contenue dans l'eau usée peut être récupérée pour préchauffer l'eau sanitaire. Enfin, les effluents liquides épurés peuvent être utilisés pour alimenter les circuits de refroidissement industriels.

Le temps est venu de considérer les systèmes de traitement des effluents non plus comme une solution « *end of pipe* », mais bien comme une ressource énergétique produisant du biogaz, utilisant les nutriments, les graisses, les huiles présents dans l'eau usée comme ressource énergétique.



3.1. La consommation en électricité tout au long du cycle de l'eau

Nous nous proposons maintenant de passer en revue la consommation d'électricité sur l'ensemble du cycle de l'eau, du pompage à son épuration, en passant par sa potabilisation et sa distribution.

Le **pompage** de l'eau souterraine nécessite généralement plus d'énergie que le prélèvement dans les eaux de surface. En revanche, suivant

Figure 6

Consommation moyenne d'eau par personne et par pays.

la localisation du site de captage, il est parfois nécessaire d'acheminer l'eau prélevée sur de très longues distances. La synthèse des données en notre possession montre que l'énergie de pompage peut varier de 0,04 kWh/m³ (limite basse en Suède) à 4,2 kWh/m³ (limite haute en Californie) [10, 11]. Au Royaume-Uni, on estime que l'énergie de pompage de l'eau à potabiliser représente 60 % de l'ensemble de l'électricité consommée sur le cycle de l'eau.

La consommation énergétique en vue de la **potabilisation** de l'eau est fortement dépendante de son origine et des procédés utilisés. Le **Tableau 7** reprend les consommations énergétiques associées à l'origine de la source d'eau [12].

Au cours des dernières années, on a pu remarquer un intérêt croissant des producteurs d'eau potable pour l'installation de sources d'énergie renouvelable comme le photovoltaïque, l'hydraulique de faible différence de hauteur, ou l'éolien sur leurs sites de production, afin de réduire leur empreinte carbone. De plus, la recherche de technologies moins voraces en élec-

tricité comme l'UV LED sera bientôt industrielle et permettra ainsi de réduire de façon considérable les consommations électriques dans l'étape de désinfection.

La **distribution** requiert en général peu d'énergie, on estime généralement que la consommation est de l'ordre de 0,1 kWh/m³.

L'énergie nécessaire au **traitement des eaux usées** correspond à la somme de ce qui est nécessaire pour acheminer l'eau jusque la station d'épuration et son épuration proprement dite. En général, les besoins énergétiques pour le transport de l'eau usée sont faibles, de l'ordre de 0,06 kWh/m³.

L'énergie nécessaire à l'épuration des effluents liquides dépend de la nature et de la concentration des polluants présents. L'étape d'aération au cours du traitement primaire est prédominante, elle est de l'ordre de 0,2 kWh/m³. Les éliminations poussées du carbone, de l'azote et du phosphore sont également très énergivores et représentent environ 0,9 kWh/m³.

La **Figure 7** synthétise l'ensemble des diverses consommations énergétiques tout au long du cycle de l'eau. Selon les cas de figure, le captage, la potabilisation, la distribution, la collecte et l'épuration d'un mètre cube nécessitent entre 1,8 et 9,5 kWh [12].

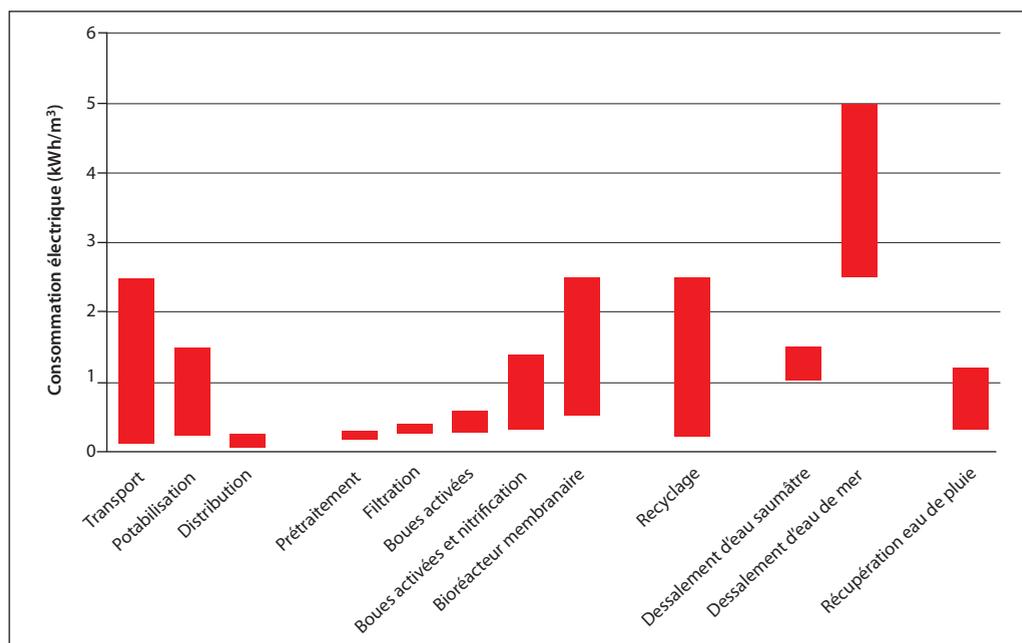
Tableau 7

Consommation énergétique en fonction de l'eau à traiter.

Alimentation en eau brute	Énergie nécessaire pour l'alimentation et le traitement (kWh/m ³)
Eau de surface	0,5 - 4
Eau recyclée	1 - 6
Dessalement	4 - 8
Eau en bouteille	1 000 - 4 000

3.2. Économiser... produire de l'énergie dans le cycle de l'eau

Il existe trois angles d'attaque pour réaliser des économies



d'énergie dans le cycle de l'eau :

- économiser l'eau : toute réduction de la consommation en eau se traduit par une économie d'énergie ;
- augmenter l'efficacité dans chacune des opérations liées au cycle de l'eau ;
- utiliser les « ressources » présentes dans l'eau usée comme la chaleur résiduelle, les nutriments, produire du biogaz...

Au cours des dernières années, le concept de **station d'épuration à énergie positive** s'est fortement développé. Les stations d'épuration deviennent ainsi potentiellement des plateformes environnementales qui peuvent produire une partie de l'énergie nécessaire aux éco-cités de demain, réduisant ainsi leur empreinte écologique. Au niveau mondial, le nombre de stations d'épuration muni-

cipales auto-suffisantes en énergie s'accroît sans cesse. En général, le biogaz produit lors de la digestion des boues alimente une cogénération. En cas de pic de demande d'énergie, l'électricité est fournie par le réseau ; inversement, en cas de surproduction, l'excès d'électricité est injecté sur le réseau. L'expérience australienne montre que le surplus d'électricité produit par la station d'épuration représente de l'ordre de 6 à 7 % de ses besoins propres [15].

Suez Environnement recherche systématiquement dans ses nouveaux projets à maximiser l'utilisation du potentiel énergétique du biogaz dans un contexte d'énergie chère et de besoin de diversification des sources. À titre d'exemple, la consommation énergétique de la station d'épuration de Mapocho au Chili a été réduite à 0,33 kWh/m³ traité. 60 % de l'électricité utilisée

Figure 7

Besoins en électricité dans le cycle de l'eau.

sur la station sont produits à partir de ses ressources au travers de la cogénération de biogaz, ce qui permet d'économiser 4 600 tonnes de CO₂ chaque année grâce à une réduction du volume de boues produites (-26 %).

L'importance de la recherche et développement

Dans un tel contexte, la recherche et le développement jouent un rôle essentiel. En effet, pour garantir la durabilité des cycles de l'eau et de l'énergie, il faut développer de nouveaux procédés et de nouvelles technologies, d'une part, pour réduire la consommation d'eau tout au long de la chaîne de valeur de la production d'énergie et, d'autre part, pour réduire la consommation d'énergie dans les diverses applications liées au cycle de l'eau.

Quatre grands axes de recherche sont nécessaires pour maîtriser la consommation d'eau dans le secteur de l'énergie, ils ont pour objet :

- d'anticiper et de réduire l'impact du réchauffement climatique sur les unités de production d'électricité ;
- d'utiliser de plus en plus des sources d'eau « dégradée » pour l'alimentation en eau de refroidissement ou d'eau ultra-pure ;
- de développer de nouveaux concepts pour les systèmes de refroidissement ;
- de développer de nouvelles molécules chimiques « vertes » nécessaires au cours des diverses étapes du cycle de l'énergie, de l'extraction des combustibles, au fonctionnement des circuits de refroidissement en passant par la protection contre la corrosion.

On peut identifier trois axes principaux pour réduire la consommation d'énergie dans le cycle de l'eau :

- développer de nouveaux concepts de stations d'épuration permettant de limiter au maximum

la consommation énergétique (récupération de chaleur, moteurs à vitesse variable, optimisation de l'oxygène...) et produire de l'électricité à partir du biogaz ;

- mettre au point des membranes d'ultra-filtration et d'osmose inverse moins énergivores ;
- identifier tous les moyens de récupération de l'énergie de pression au sein des procédés.

Références

- [1] World Energy Council (2010).
- [2] IEA (2011) – World Energy outlook 2011, International Energy Agency, Paris Cedex 15, France – www.iea.org/textbase/npdf/free/2011/key_word_energy_stats.pdf
- [3] IHA (2011) – International Hydropower Association, 2011 activity report – www.hydropower.org/downloads/activityreports/2011_Activity_Report-web.pdf
- [4] WEC Scenarios 2007 – updated in 2009.
- [5] UNESCO – IHE 2008.
- [6] World Energy Council (2010) – Water for Energy. World Energy Council, London, UK, ISBN: 978-0-946121-10
- [7] DOE-NETL (2008) – Estimating Freshwater Needs to Meet Thermoelectric Generation requirements. National Energy Lab. Report, 2008. Available at www.netl.doe.gov
- [8] GLEICK (1994) – Water and Energy. *Ann Rev Ener Environ* 19: 267-299.
- [9] DOE (2006) – Energy Demands on Water Resources: Report to Congress on the Interdependencies of Energy and Water.
- [10] Lingsten *et al.* (2008) – Description of the Current Energy Use in Water and Wastewater Systems in Sweden. SWWA, Stockholm
- [11] Kenway *et al.* (2008) – Energy use in the Provision and Consumption of Urban water in Australia and New Zealand. CIRSO: Water for a Healthy Country National Research Flagship?
- [12] WsstP (2011) – Water and Energy. Strategic Vision and Research Needs – www.wsstp.eu
- [13] Water 2001 (April 2012)
- [14] United Nations Development Program 2006.
- [15] O. Nowak, S. Keil, C. Fimmel (2011) – Examples of energy self-sufficient municipal nutrient removal. *Water Science & Technology* 64(1): 1-6