



Chaire Modélisation prospective
au service du développement durable

Analyse prospective des interactions Eau et Energie : Modélisation de l'eau dans la famille des modèles TIMES

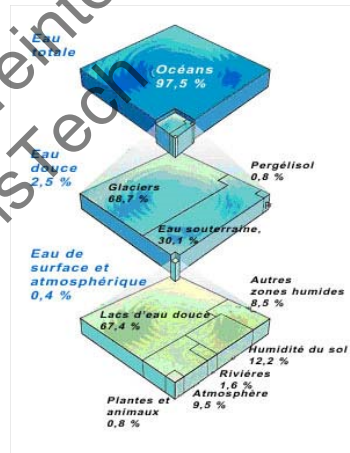
Stéphanie BOUCKAERT et Aurélie DUBREUIL¹

¹MINES ParisTech, Centre de Mathématiques Appliquées

Journée de la Chaire, mercredi 17 novembre 2010

Eau: les chiffres clés contextuels

- Ressources et stocks totaux : $1,386 \cdot 10^6 \text{ km}^3$
- Part mobilisable :
Rivières et nappes souterraines 0,7%
- Part renouvelée annuellement :
0,02%
- Ressource exploitable pour usages anthropiques :
 $40\,000 \text{ km}^3$ ce qui représente $6500 \text{ m}^3/\text{hab./an}$



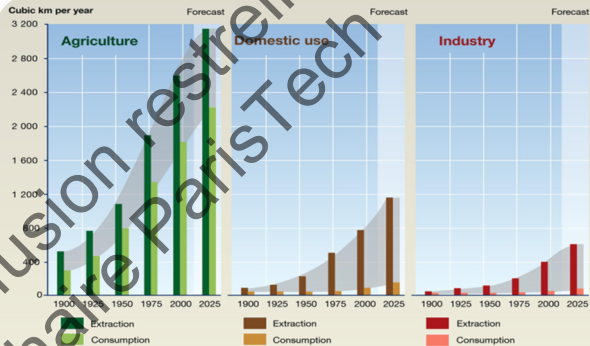
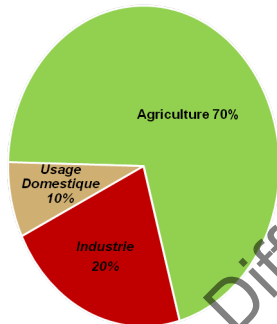
Source: Shiklomanov, I (1999), UNESCO, FAO.

Eau: les grands enjeux

Enjeux

- Sécurité alimentaire à garantir face à la croissance démographique
- Forte tension sur la ressource en eau du fait de
 - sa raréfaction
 - sa surexploitation
 - la détérioration sa qualité
 - l'inégalité de sa répartition géographique et sociale
 - sa dépendance à la variabilité climatique (sècheresses/inondations)

Eau: les grands usages



The grey band represents the difference between the amount of water extracted and that actually consumed. Water may be extracted, used, recycled (or returned to rivers or aquifers) and reused several times over. Consumption is final use of water, after which it can no longer be reused. That extractions have increased at a much faster rate is an indication of how much more intensively we can now exploit water. Only a fraction of water extracted is lost through evaporation.

Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999.

Source: Shiklomanov, I (1999).

Eau : les grands usages

Prélèvement :

quantité d'eau soutirée d'une source afin d'être utilisée.

Il comporte deux parties :

- 1 Une part restituée
- 2 Une part consommée

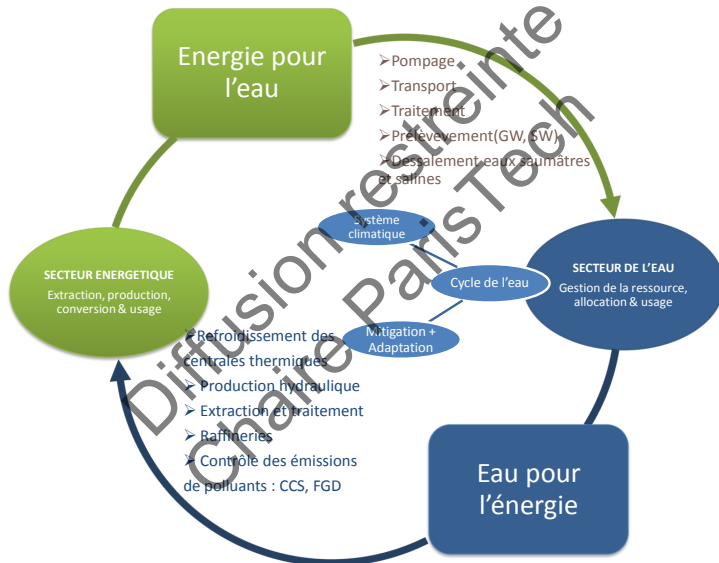
Consommation :

quantité d'eau consommée, donc une fraction de l'eau prélevée.

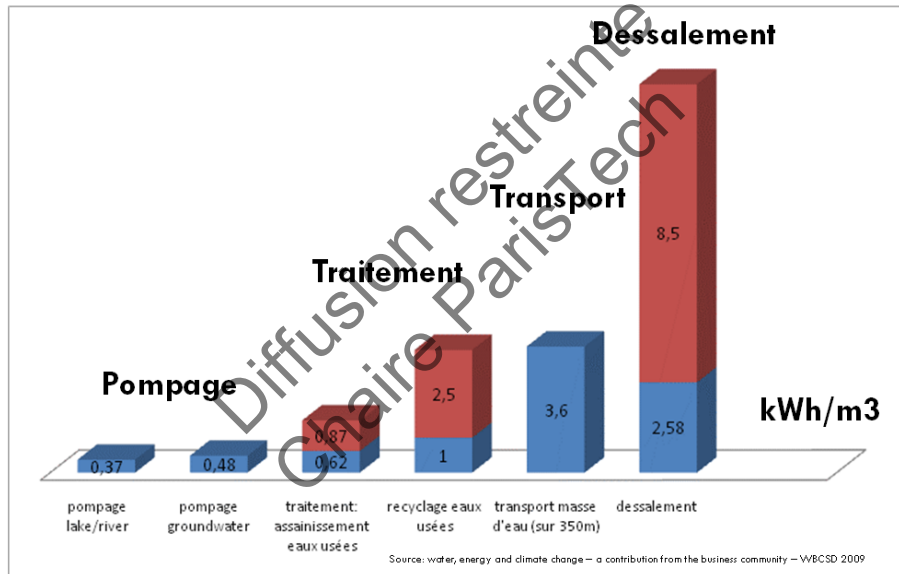
Elle correspond à la part :

- qui n'est pas restituée à la source
- qui n'est plus utilisable car elle s'est évaporée
- qui a été incorporée dans certains produits ou certaines cultures
- qui a été consommée par l'homme ou d'autres organismes vivants
- qui a été rejetée directement dans la mer

L'Eau pour l'Energie



L'Energie pour l'Eau



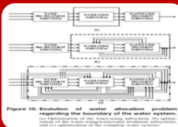
Les modèles qui parlent d'Eau



Méthodes d'évaluation des ressources en eau avec un focus sur l'usage de l'eau pour l'irrigation en agriculture : FAO – AQUASTAT est le système mondial d'information sur l'eau et l'agriculture de la FAO

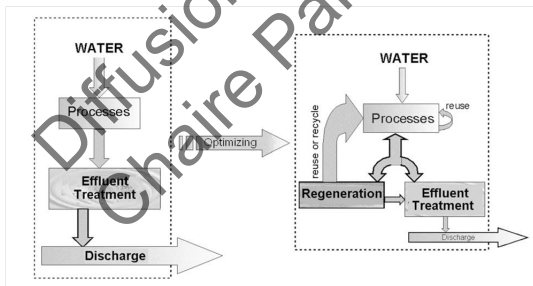
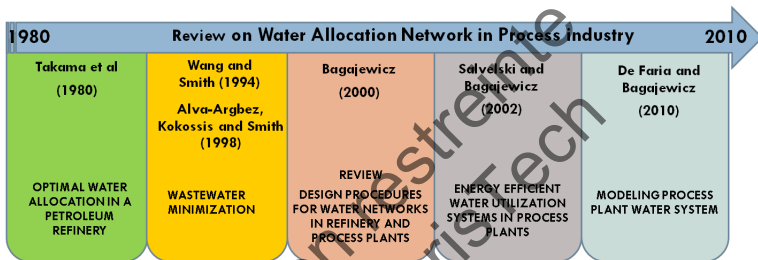


**Modèles Agro-Hydro-Economiques à l'horizon 2025-2050/ échelle bassin versant ou pays et subrégions
Ex:PODIUM/IMPACT/WATERSIM**



Optimisation des Réseaux et Allocation de l'eau dans les procédés industriels

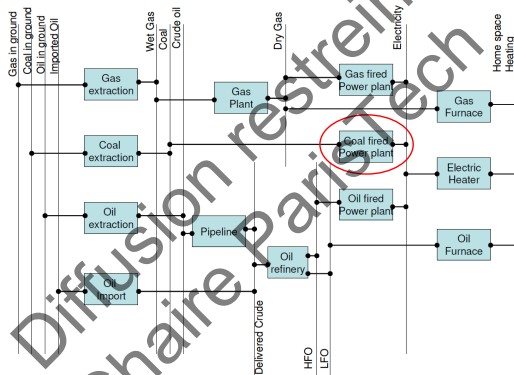
De l'Eau à l'Energie: évolution des modèles



TIAM-FR : un outil d'aide à la décision

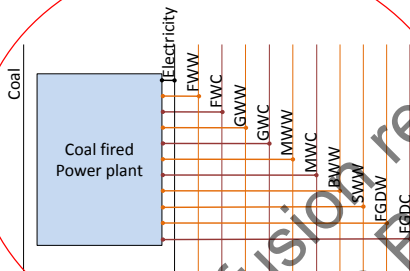
- TIMES Integrated Assessment Model développé par l'ETSAP (Energy Technology System Analysis Program) sous l'égide de l'AIE
- Modèle technico-économique d'équilibre partiel de représentation du système énergétique
- Importante base de données technologiques : modèle bottom-up
- Développement à long terme du système énergétique (2005-2100)
- Modèle mondial : 15 régions
- Optimum technologique : minimisation du coût total actualisé (maximisation du surplus global)

Reference Energy System : RES



Documentation for the TIMES Model, Loulou and al

Water RES



1 Consommation : *WC

2 Prélèvement : *WW

- F : Eau douce - *Fresh*
- B : Eau saumâtre - *Brackish*
- M : Eau des réseaux municipaux - *Municipal*
- G : Eau souterraine - *Ground*
- S : Eau saline - *Saline*
- FGD : Eau nécessaire aux procédés FGD

Attribution d'un facteur eau à chaque technologie :

- *Amont* : types de mines, ratio onshore/offshore etc.
- *Electricité* : systèmes de refroidissement, rendement, FGD etc.

Identification des facteurs d'influence

A l'aide de différents scénarios, il a été possible d'identifier les paramètres de variation de la consommation d'eau dans la chaîne énergétique :

- 1 Choix des installations des systèmes de refroidissement
- 2 Part croissante des systèmes FGD dans les consommations d'eau des centrales charbon
- 3 Réglementation environnementale et modification des coûts d'extraction
- 4 Prise en compte de l'amont dans les consommations d'eau douce
- 5 L'eau comme une contrainte

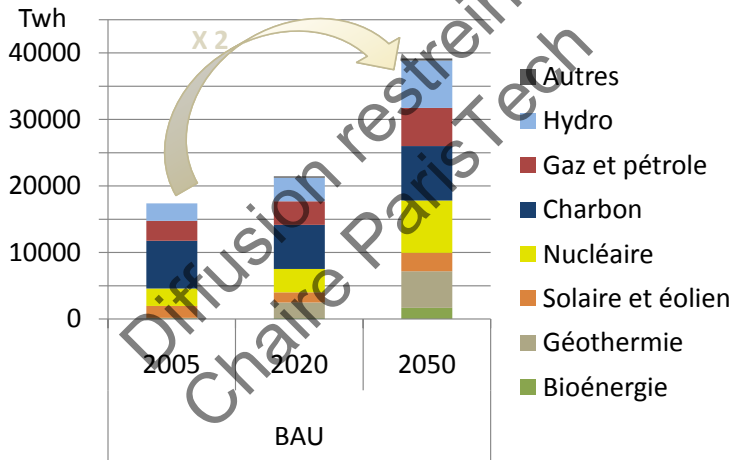
1. Choix des installations des systèmes de refroidissement

Scénarios sur les systèmes de refroidissement des nouvelles installations, aucune modification des facteurs eau des capacités existantes.

- BAU (Business as usual scenario): Facteurs eau des nouvelles installations = facteurs eau des capacités existantes
- CL: Les nouvelles installations utilisent uniquement des systèmes en boucle fermée
- CL+NR: Les nouvelles installations utilisent uniquement des systèmes en boucle fermée et l'amélioration du rendement est prise en compte pour diminuer les quantités d'eau nécessaires

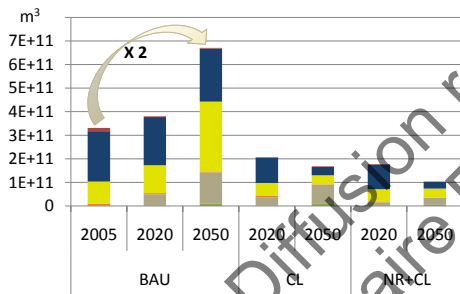
1. Choix des installations des systèmes de refroidissement

Production d'électricité mondiale par source d'énergie



1. Choix des installations des systèmes de refroidissement

Prélèvements d'eau douce



Bioénergie

Géothermie

Solaire

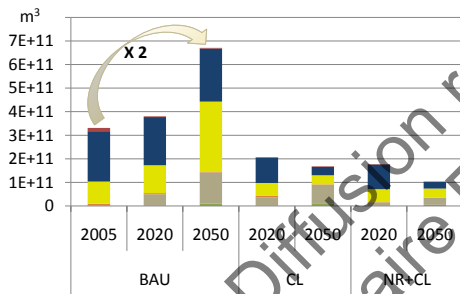
Nucléaire

Charbon

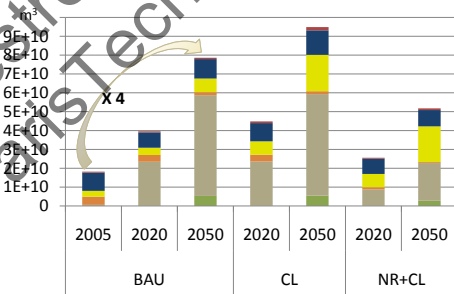
Gaz et pétrole

1. Choix des installations des systèmes de refroidissement

Prélèvements d'eau douce



Consommations d'eau douce



Bioénergie

Géothermie

Solaire

Nucléaire

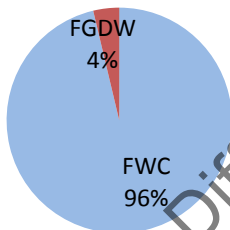
Charbon

Gaz et pétrole

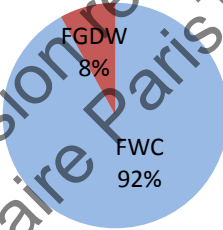
2. Part croissante des systèmes FGD

Consommations d'eau des centrales thermiques charbon :

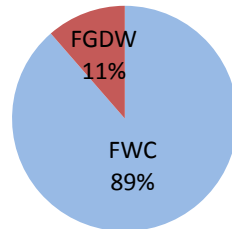
BAU 2005



BAU 2020

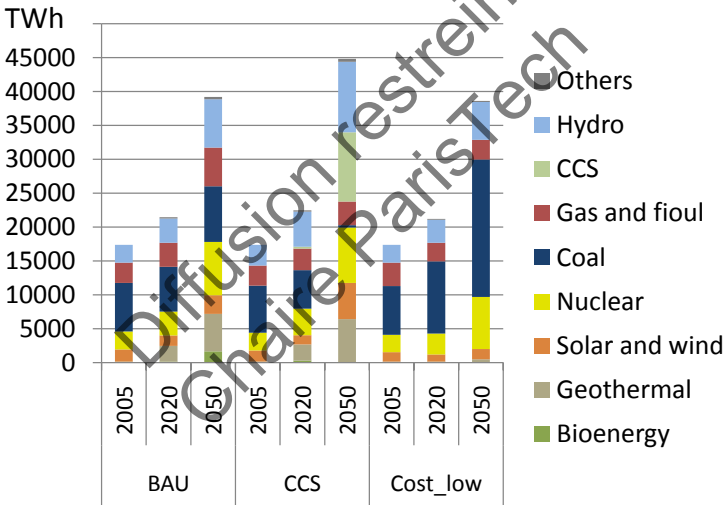


BAU 2050



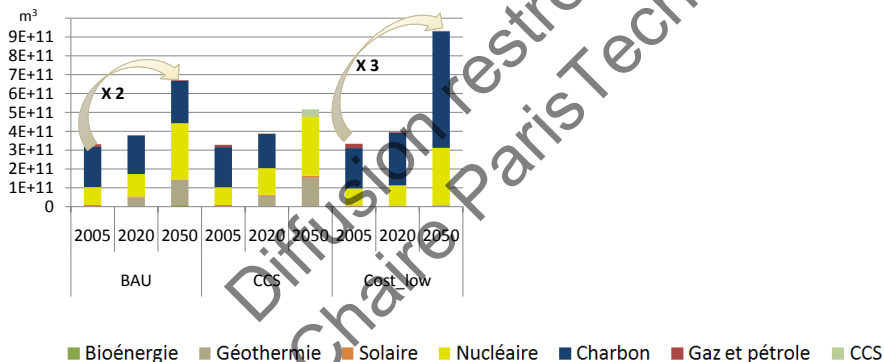
3. Réglementation environnementale et coûts d'extraction

- CCS : contraint le système à une élévation max. de température de 2°C en 2100
- *Cost_low* : coûts d'extraction des ressources fossiles plus faibles



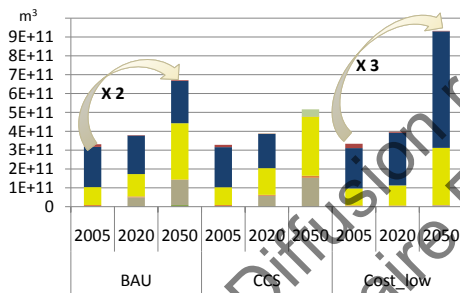
3. Réglementation environnementale et coûts d'extraction

Prélèvements d'eau douce

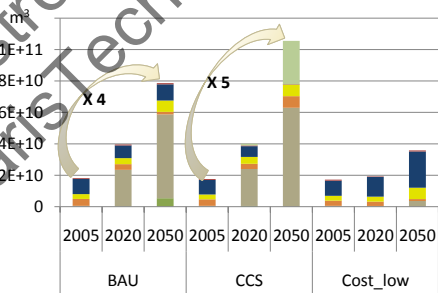


3. Réglementation environnementale et coûts d'extraction

Prélèvements d'eau douce

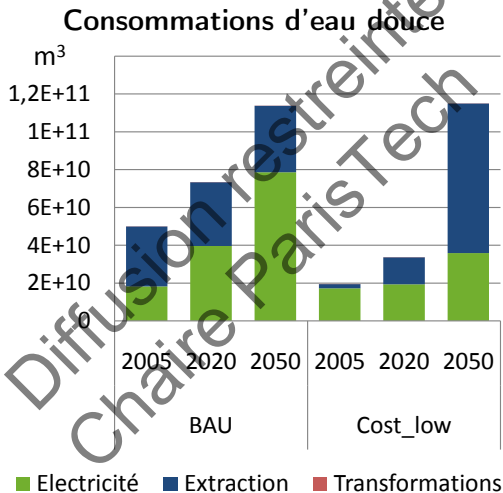


Consommations d'eau douce



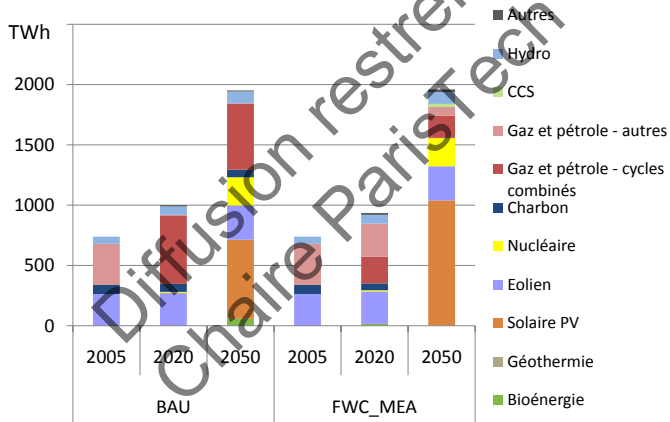
■ Bioénergie ■ Géothermie ■ Solaire ■ Nucléaire ■ Charbon ■ Gaz et pétrole ■ CCS

4. Prise en compte de l'amont de la chaîne énergétique



5. L'eau comme une contrainte

- *FWC_MEA* : consommations d'eau douce du Moyen-Orient jusqu'en 2100 \leq consommations en 2005



Conclusion

Identifier les facteurs clés

- Empreinte en eau importante de certaines technologies
- Choix du système de refroidissement
- Contrôle des émissions : FGD (+10%), CCS(+90%)
- Procédés d'extraction utilisés

Evolution de la perception de la ressource eau

- L'eau en tant que commodité du modèle
- L'eau en tant que contrainte du modèle

Vers un optimum commun ?

Conclusion

Identifier les facteurs clés

- Empreinte en eau importante de certaines technologies
- Choix du système de refroidissement
- Contrôle des émissions : FGD (+10%), CCS(+90%)
- Procédés d'extraction utilisés

Evolution de la perception de la ressource eau

- L'eau en tant que commodité du modèle
- L'eau en tant que contrainte du modèle

Vers un optimum commun ?

Perspectives de développements : le RWS

