



Chaire ParisTech Modélisation prospective
au service du développement durable

MINES PARISTECH FRANCE
Centre Mathématiques Appliquées (CMA)
THESE 2009/2012

**Chaire Modélisation Prospective au service du
développement durable**



CAPITAL EAU-ENERGIE: QUELLE ALLOCATION OPTIMALE POUR UNE STRATEGIE DURABLE?

Aurelie DUBREUIL

RÉPARTITION MONDIALE DE L'EAU: UN CONSTAT ACCABLANANT.



Roulics

EAU ET ENVIRONNEMENT

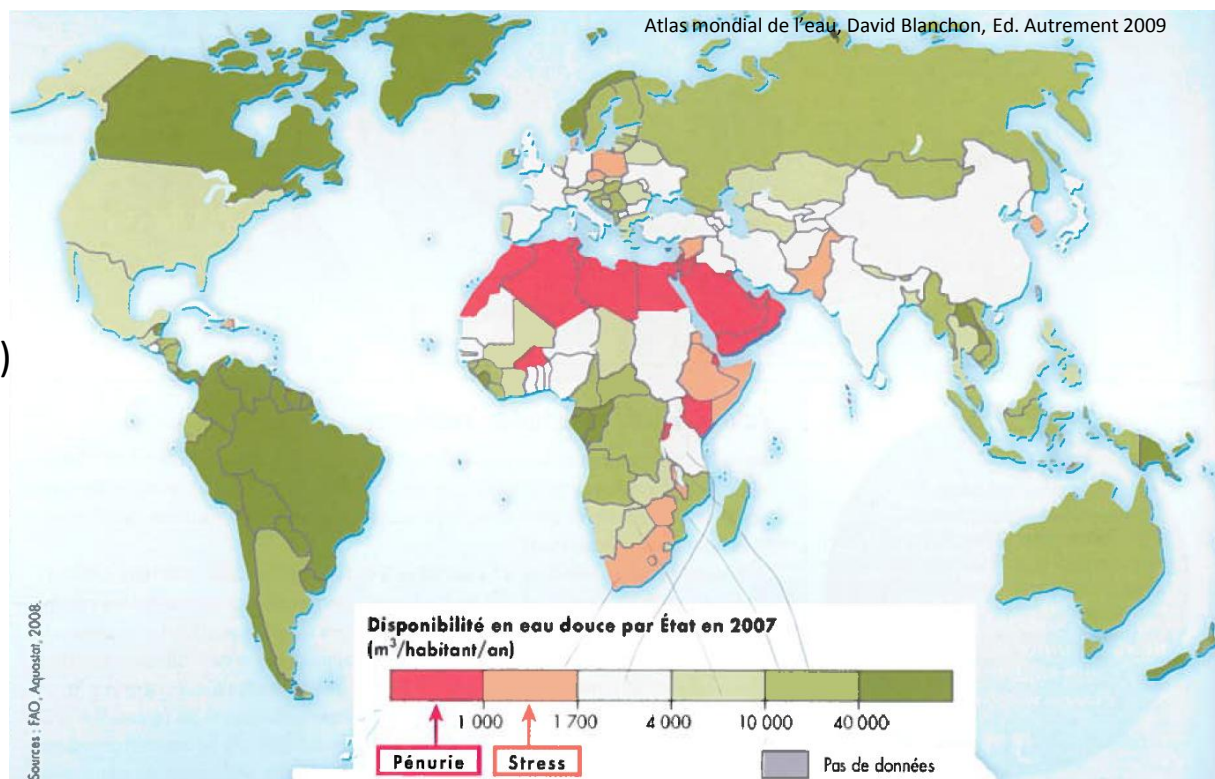


L'EAU... UN BIEN PRÉCIEUX



Disponibilité en eau douce

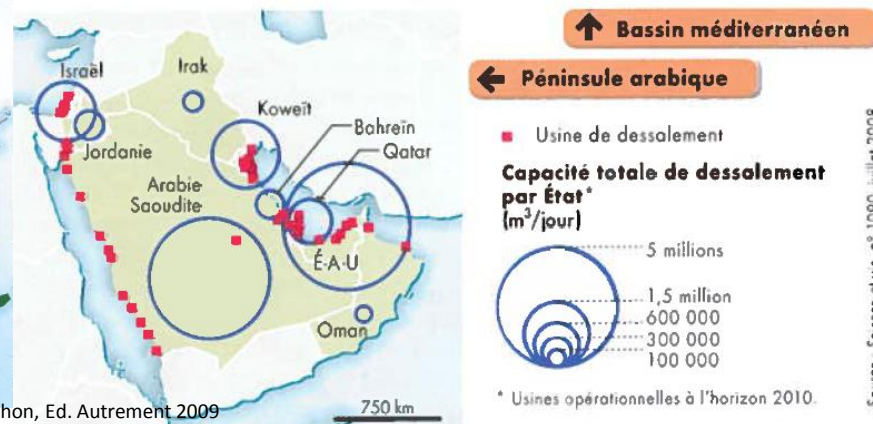
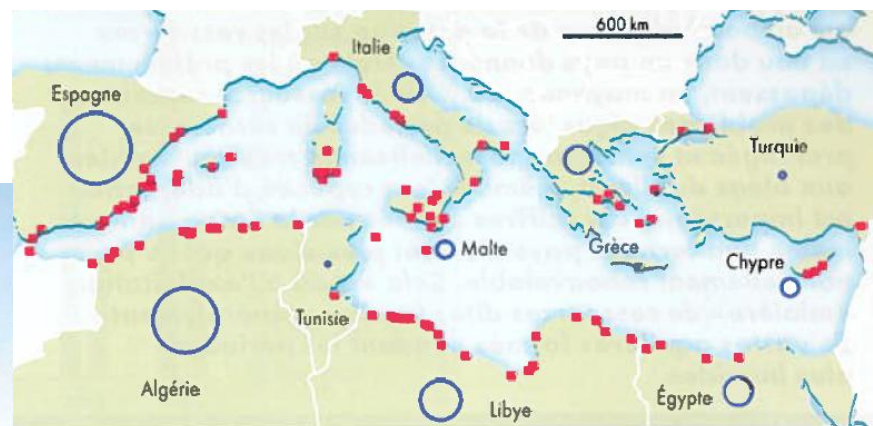
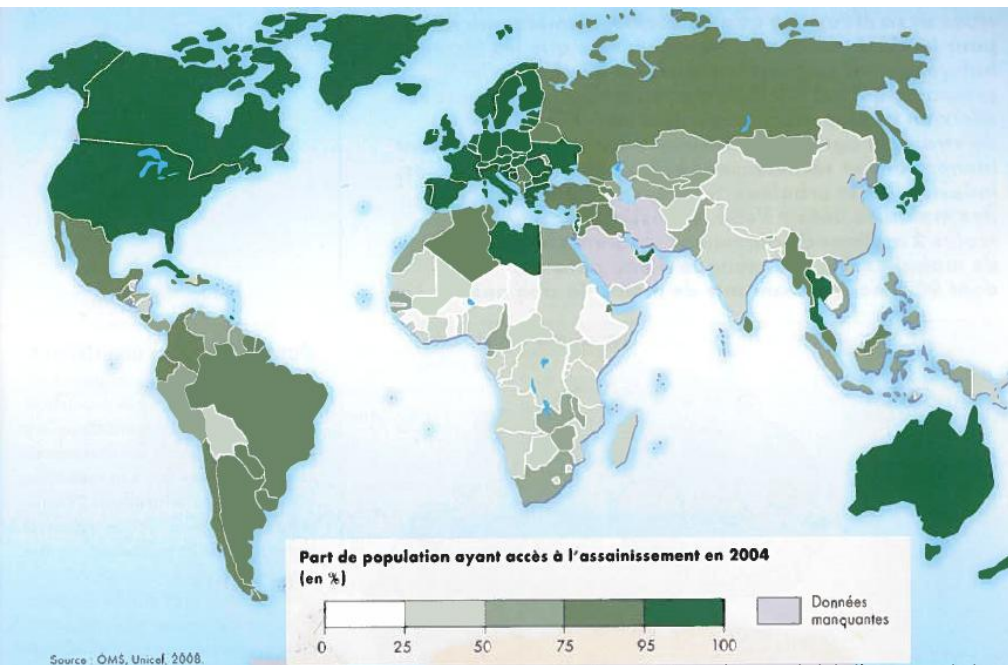
- **Seuils** (m³/hab/an)
 - Vulnérabilité : 2500
 - Stress : 1700
 - Pénurie : 1000
- **Contrastes** (m³/hab/an)
 - Islande : 500.000
 - Koweït : 7
 - Disparité internes
 - Namibie (8.800)
 - Australie (24.000)



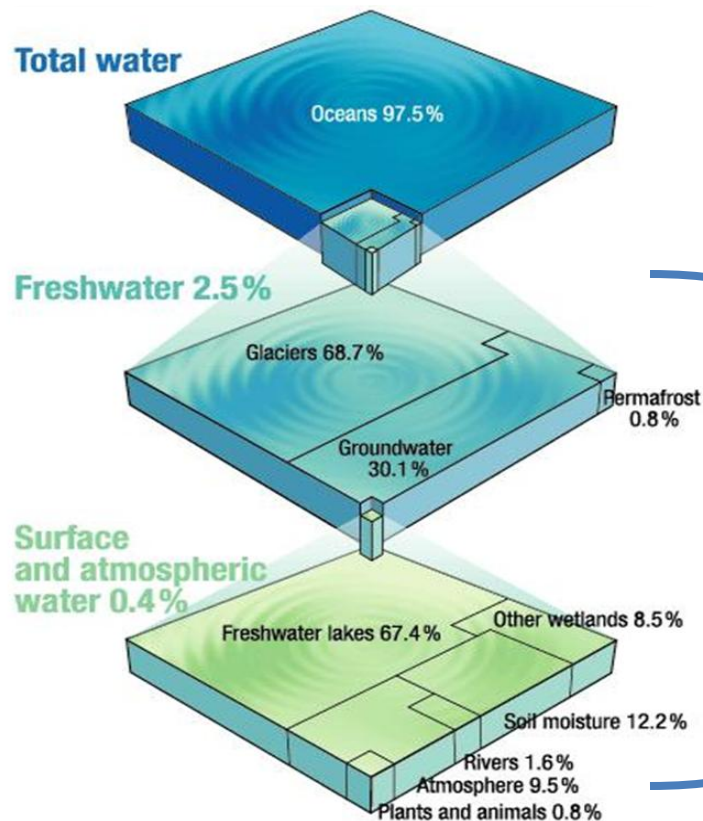
De l'énergie pour l'eau

Dessalement

Assainissement...



Eau en quelques chiffres



*Ressources et stocks
totaux: $1,386.10^6$ km³*

*Réserves d'eau douce:
3% des ressources totales,*

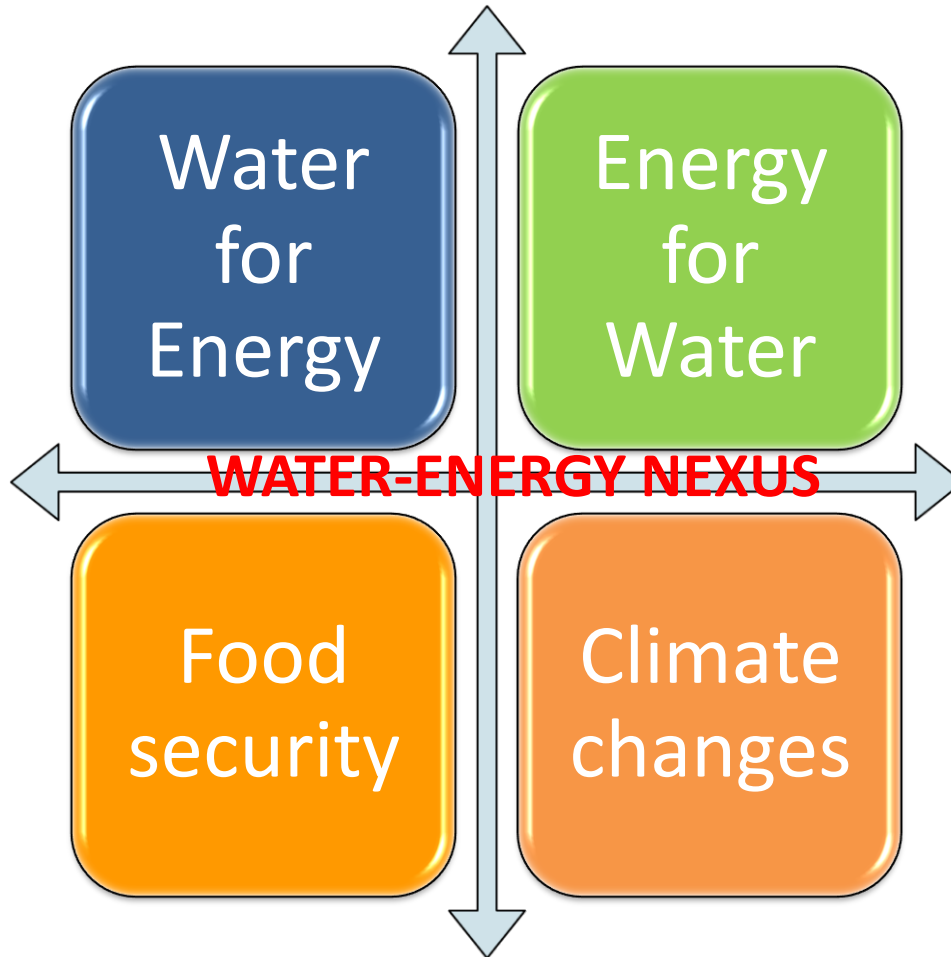
*Part mobilisable pour les
usages:
0,3% des réserves
d'eau douce*

Source: I. Shiklomanov 1999, UNESCO FAO

Enjeux

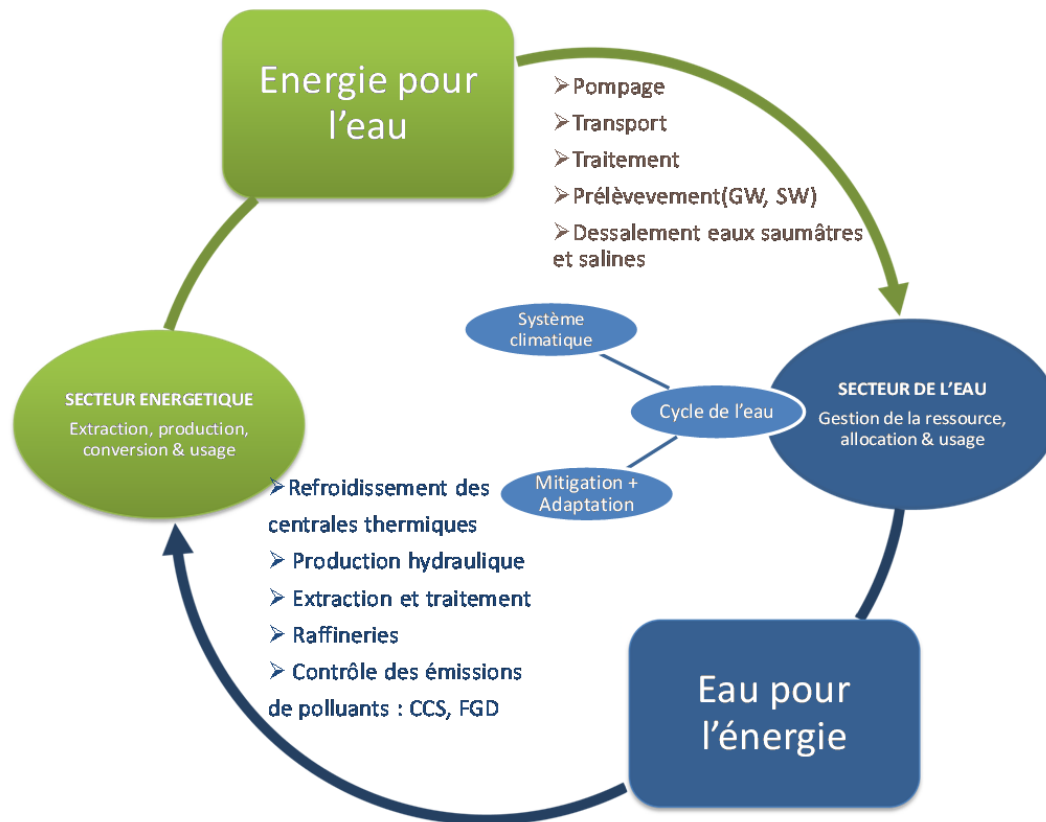
- Sécurité alimentaire à garantir face à la croissance démographique
- Forte tension sur la ressource en eau du fait de
 - sa raréfaction
 - sa surexploitation
 - la détérioration sa qualité
 - l'inégalité de sa répartition géographique et sociale
 - sa dépendance à la variabilité climatique (sècheresses/inondations)

WATER
SCARCITY

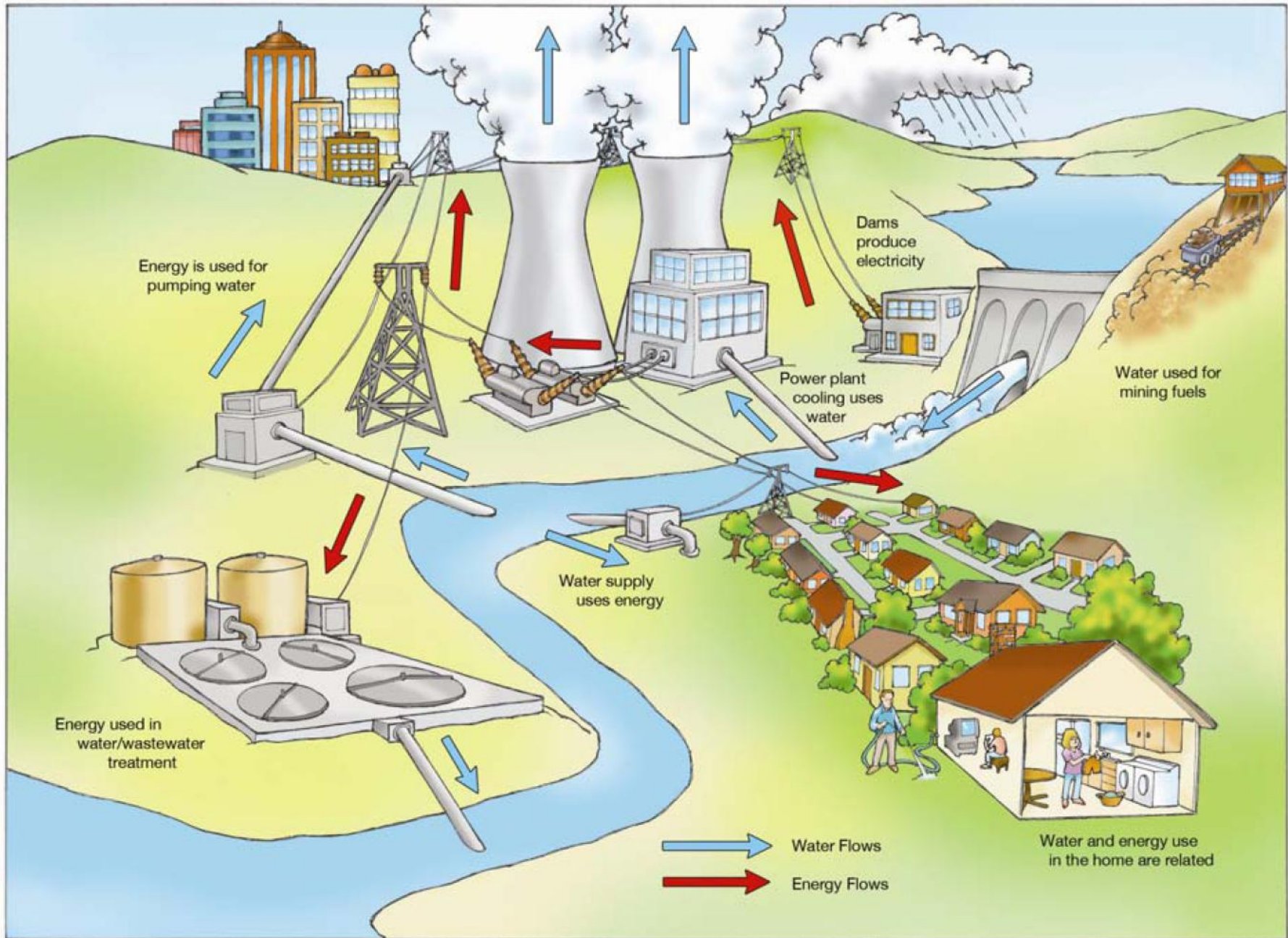


SUSTAINABILITY-
AVAILABILITY OF
WATER
RESOURCES

Intéractions eau-énergie « Water-Energy nexus »

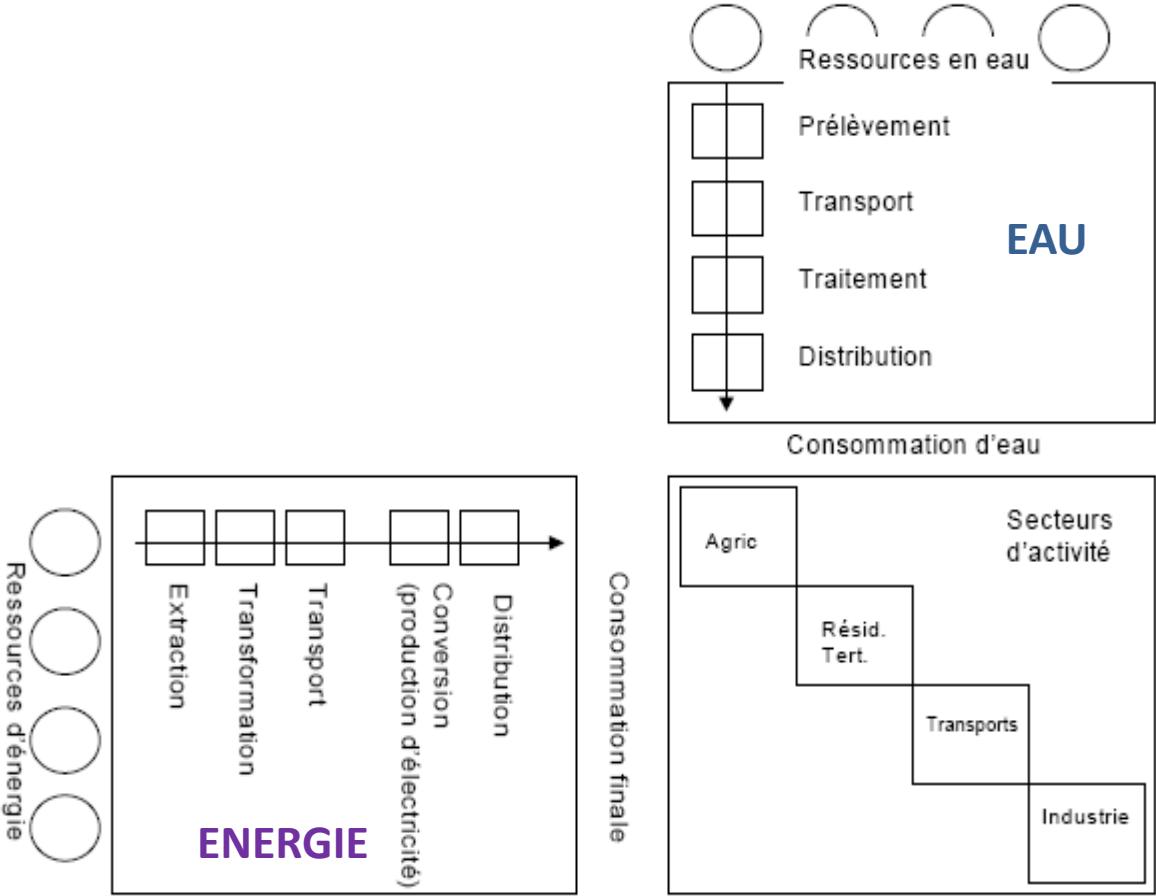


INTERRELATIONSHIP BETWEEN WATER AND ENERGY (DOE 2006)

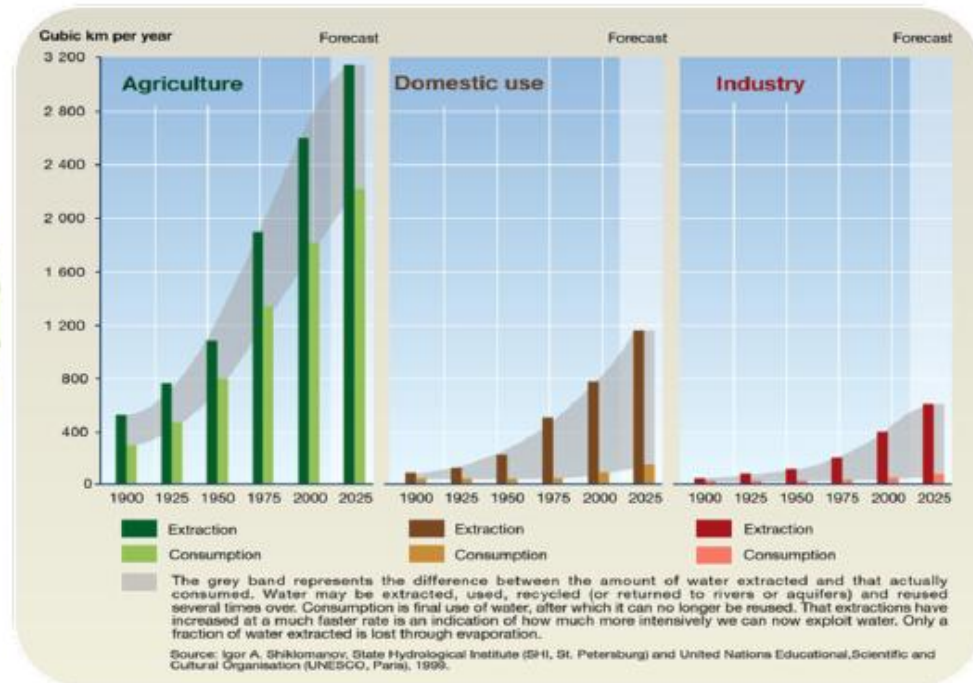
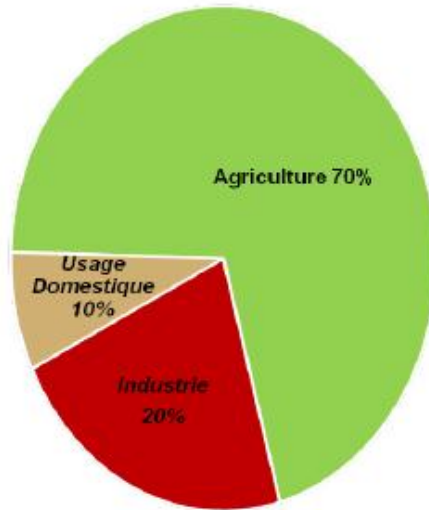


Matrice des interactions eau-énergie

(X.Goossens, JF.Bonnet 2001)

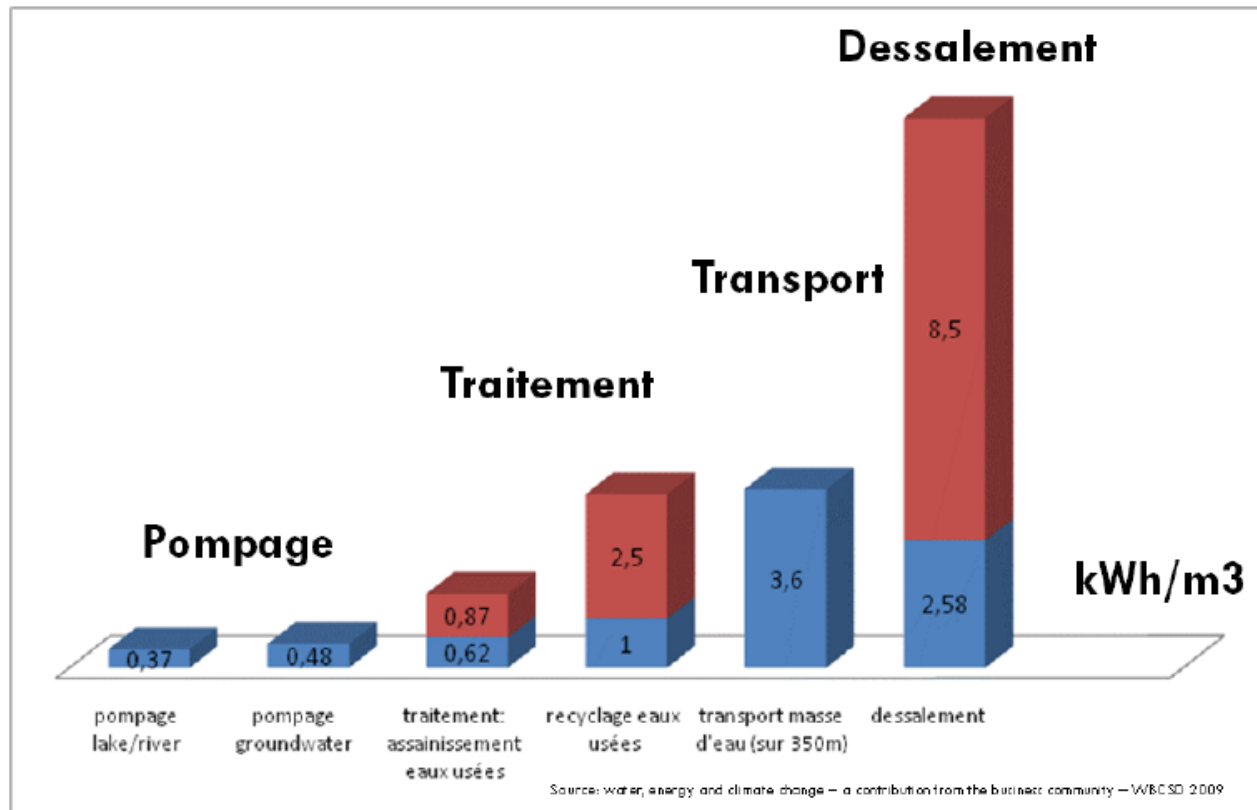


Les grands usages de l'eau



Source: Shiklomanov, I (1999).

Quelques ordres de grandeur...



Méthodes et modèles



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

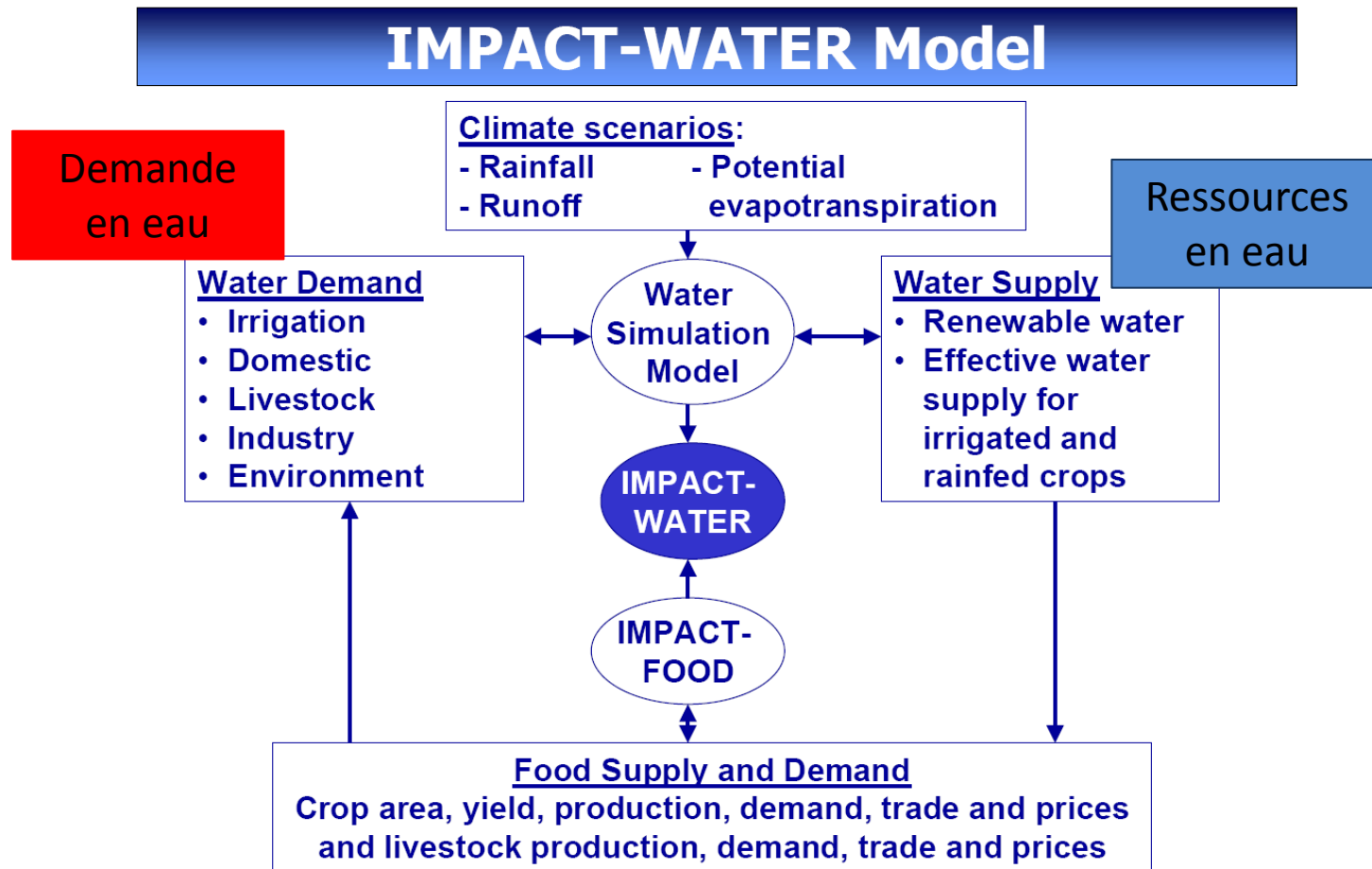


**Modèles Agro-Hydro-Economiques à l'horizon 2025-2050/ échelle bassin versant ou pays et subrégions
Ex:PODIUM/IMPACT /WATERSIM**



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

Exemples de Modèles agro-hydro-économiques: **IMPACT**



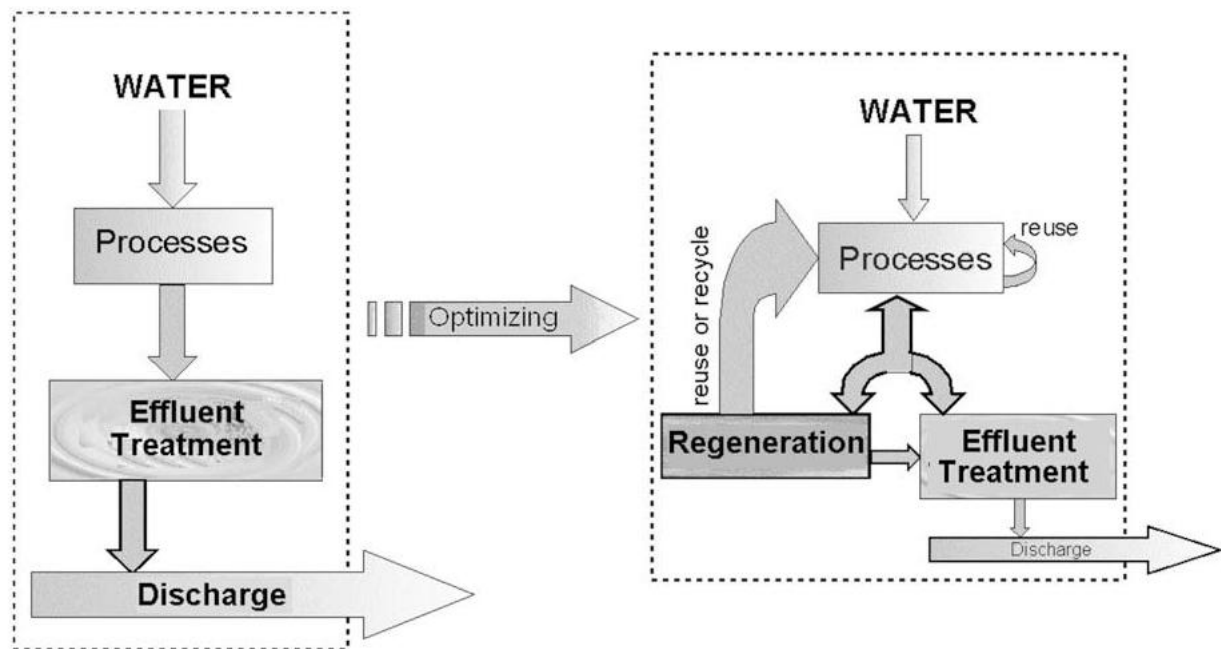
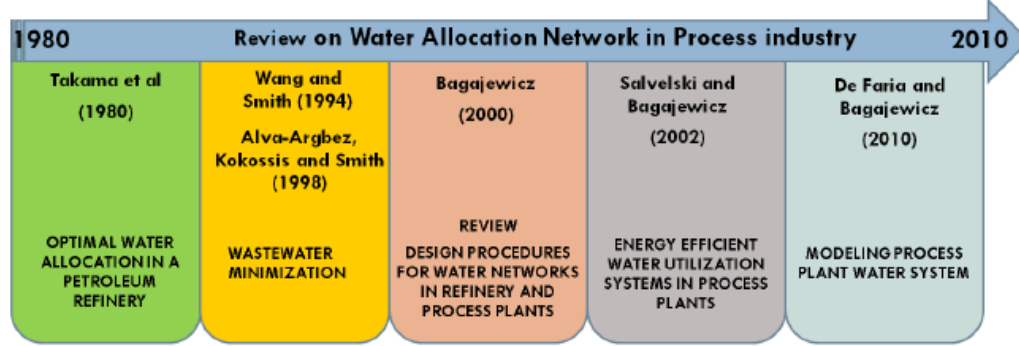
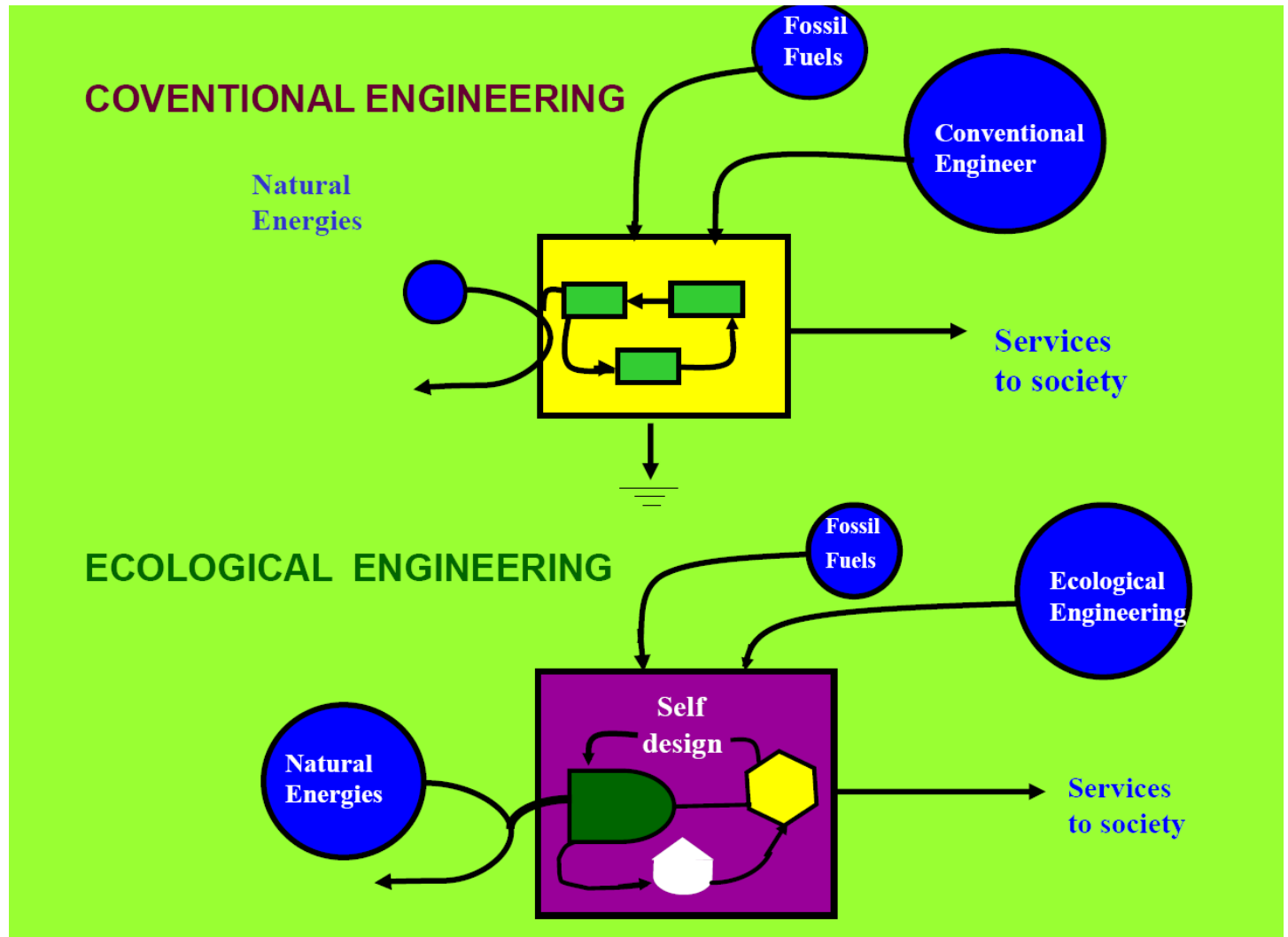


Fig. 1. Scheme of the network under study (adapted from Kuo and Smith [9]).

Vers un nouveau
paradigme!

The 4 R concept

- Reuse
- Refuse
- Recycle
- Rehabilitate



QUESTION

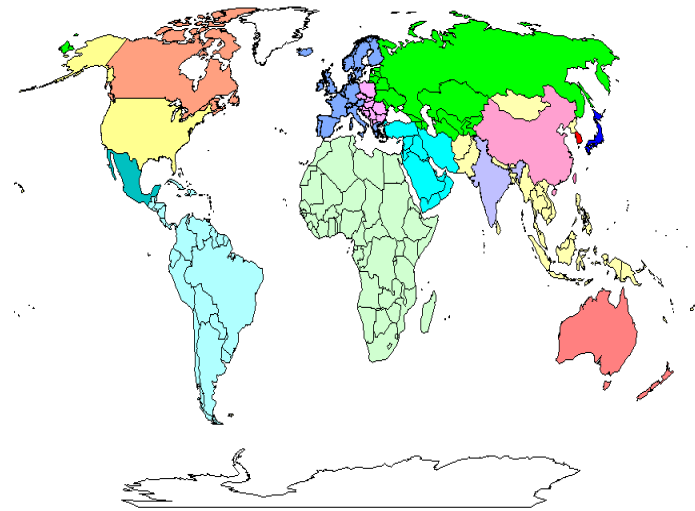
Si l'humanité venait à se priver de ses ressources en eau douce disponibles pour satisfaire la demande et les usages de l'eau, combien couterait-il à la société de trouver des solutions plus performantes, des substituts ou sources d'eau non-conventionnelles capables de réinstaurer un niveau de service équivalent à l'état de référence et/ou de produire un service plus soutenable?

3 Objectifs

- Construire un modèle d'allocation eau/énergie permettant d'optimiser les coûts énergétiques et économiques de des usages de l'eau.
- Développer un outil d'aide à la décision grâce à l'implémentation d'un module « eau » dans le modele énergétique TIAM –FR.
- Emergence d'un nouveau concept « Capital Eau-énergie » (WEC), extension de la théorie de capital naturel

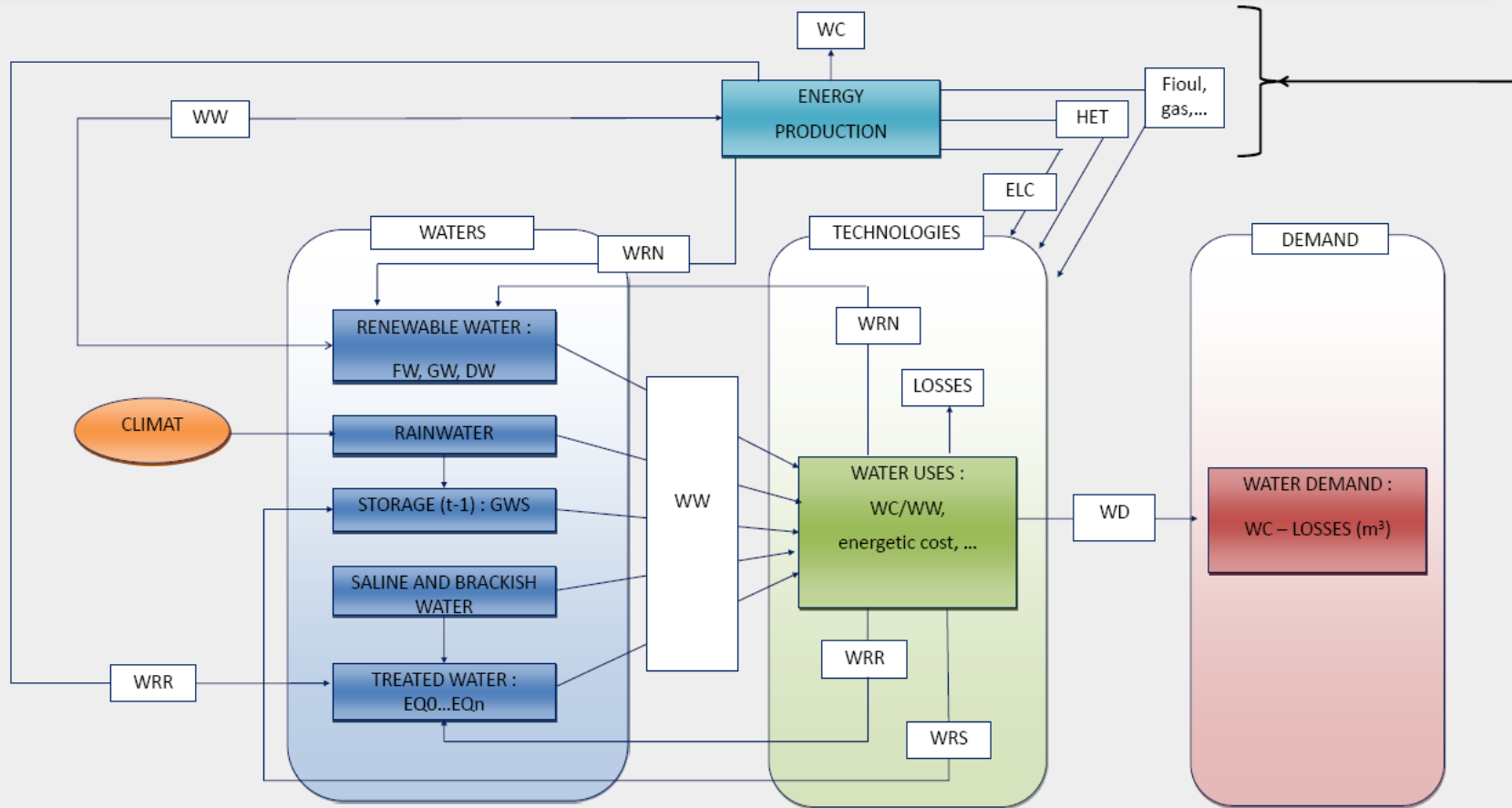
MODEL ETSAP/TIAM-FR

TIMES Integrated Assessment Model developed by ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) under the aegis of IEA:



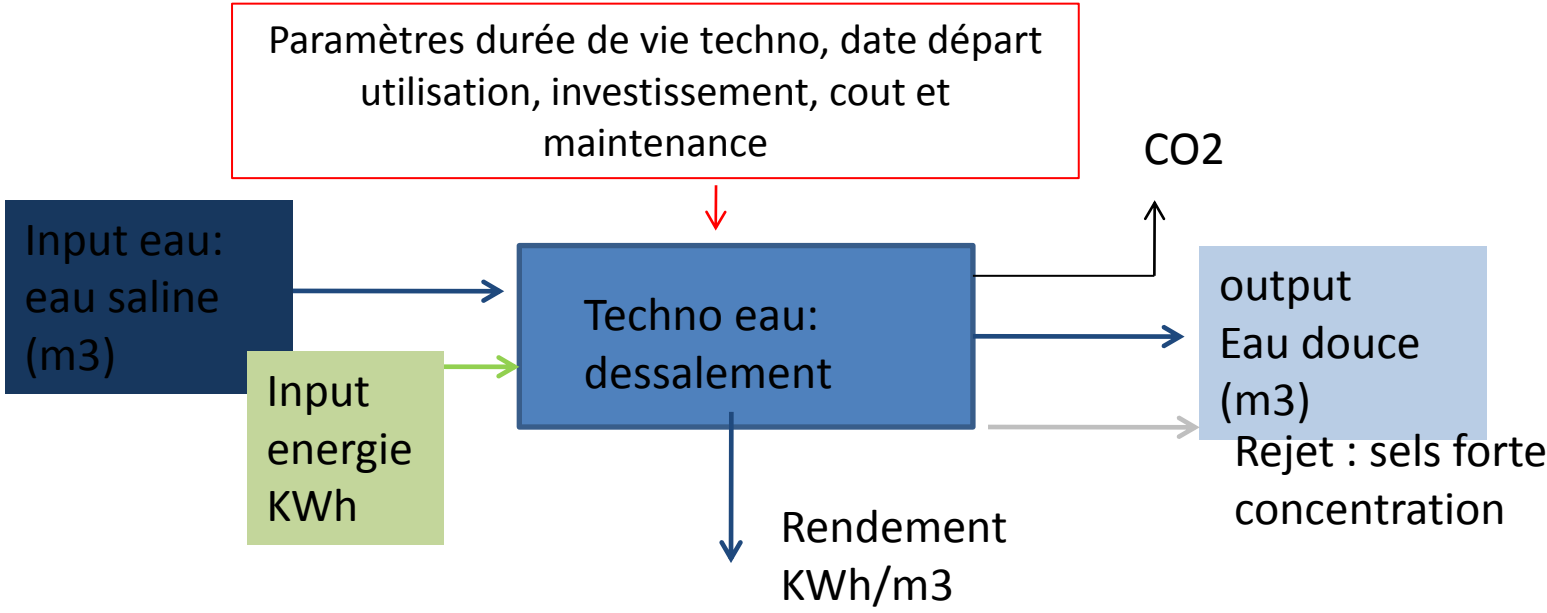
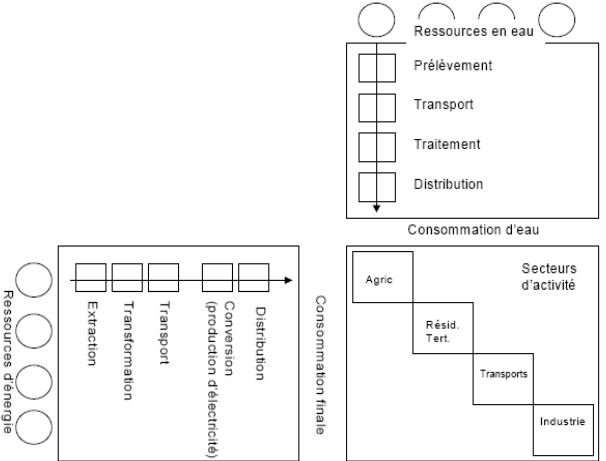
- **A technology-rich, bottom-up energy system model**
- **A linear programming model with objective function minimizing the total discounted system costs**
- **A time horizon from 2000 to 2100**
- **A geographically integrated model in 15 world regions/Linked by energy, material and by a global trade in emission permit, if desired.**
- **GHG emissions: CO₂, CH₄ and N₂O / Carbon capture and sequestration and mitigation options for CH₄ and N₂O.**
- **An integrated climate module: Atmospheric GHG concentrations and temperature changes**

WATER REFERENCE ENERGY SYSTEM (WRES)



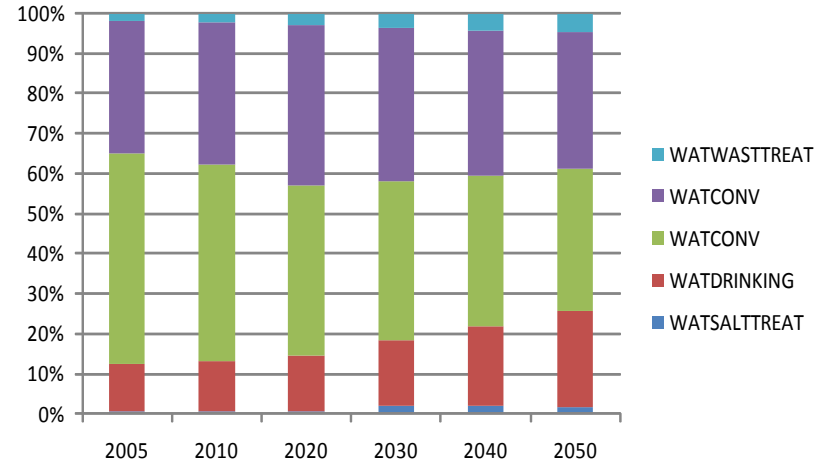
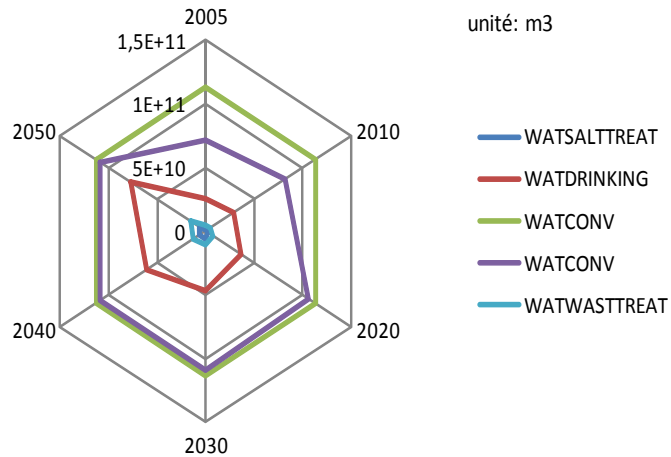
WW : water withdrawal WRS : water returned stored ELC : electricity TIMESLICES (SEASON or YEAR) for Water Demand, for Water Availability, and for Climat
 WD : water demand WRN : water returned renewable HET : heat
 WC : water consumption WRR : water returned recycled WC = WD + Losses with Losses > 0 for Agriculture demand

Exemple: procédé de dessalement

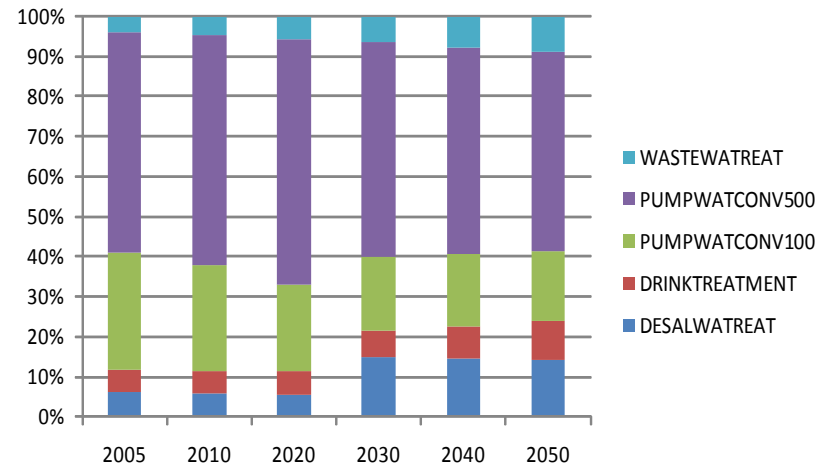
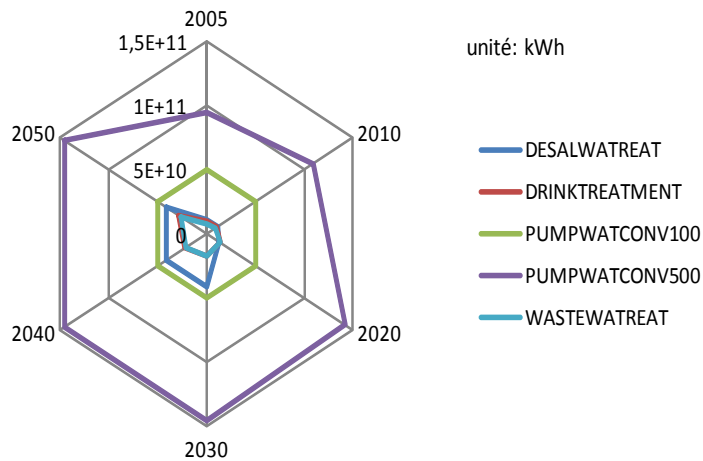


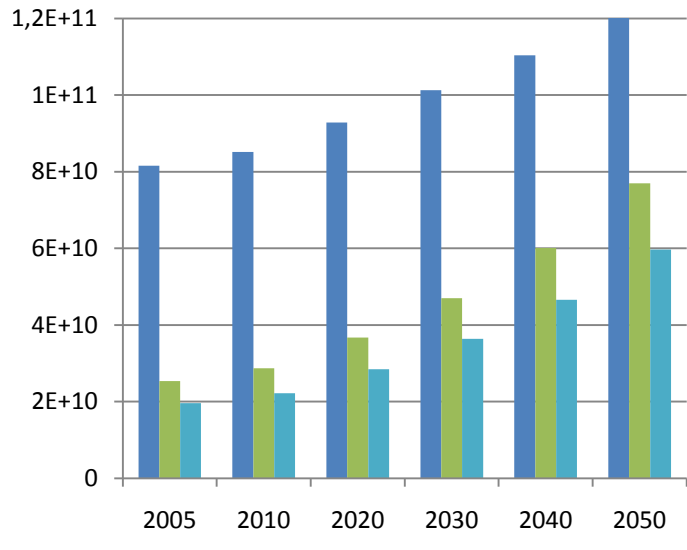
RESULTATS pour région MEA

EAU



ENERGIE

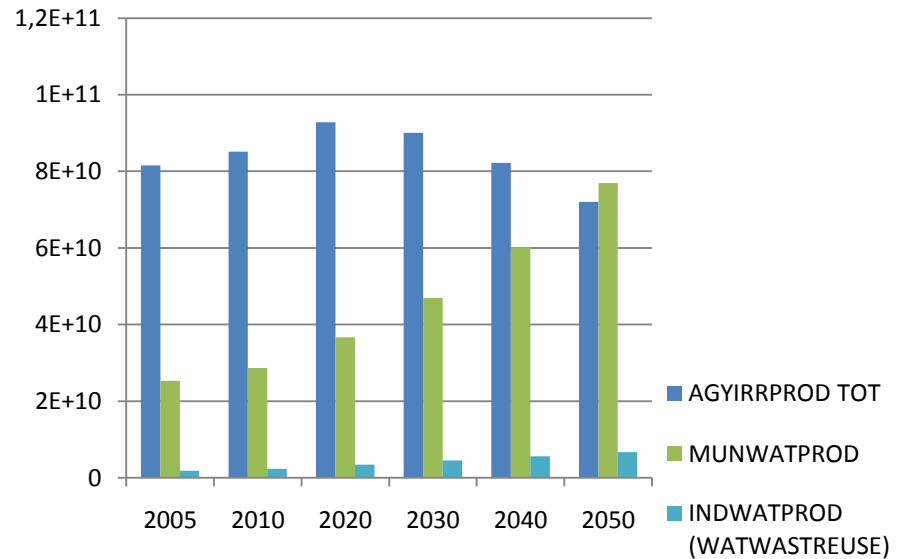




Demande –
selon drivers
évolution
2000-2050

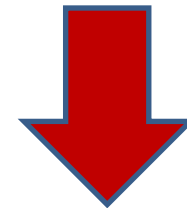
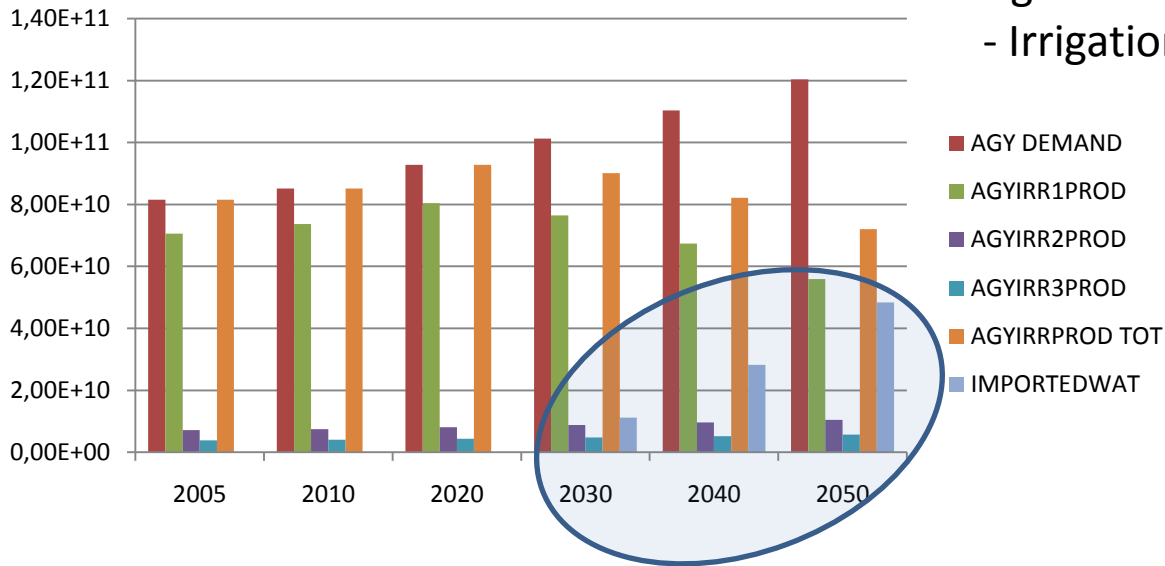
■ AGY DEMAND
■ MUN DEMAND
■ INW DEMAND

**Résultat du modèle
d'allocation:
pb satisfaction demande!!!!**

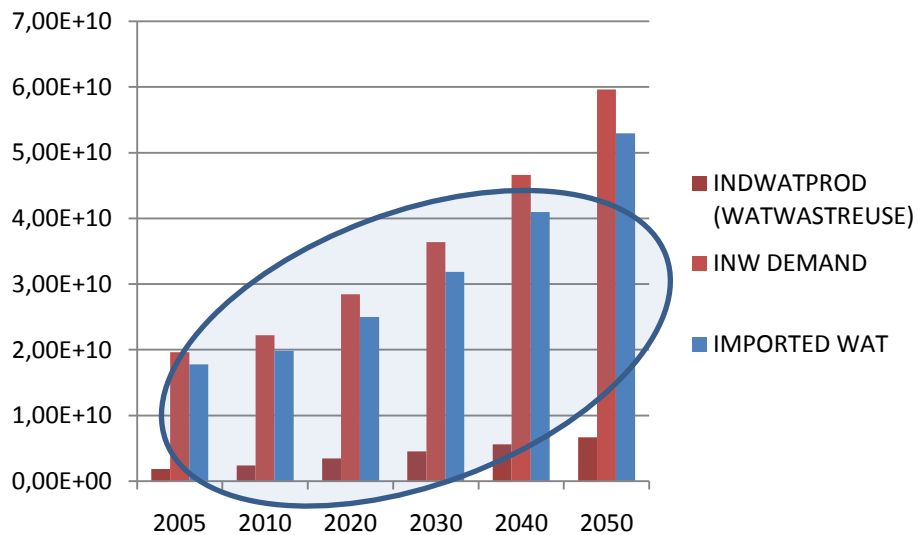


■ AGYIRRPROD TOT
■ MUNWATPROD
■ INDWATPROD (WATWASTREUSE)

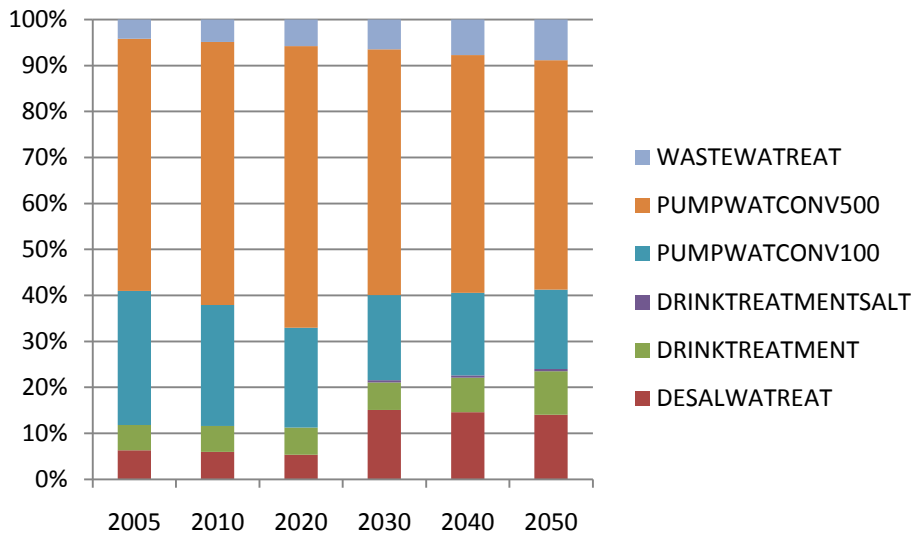
Agricultural demand - Irrigation



Industrial demand



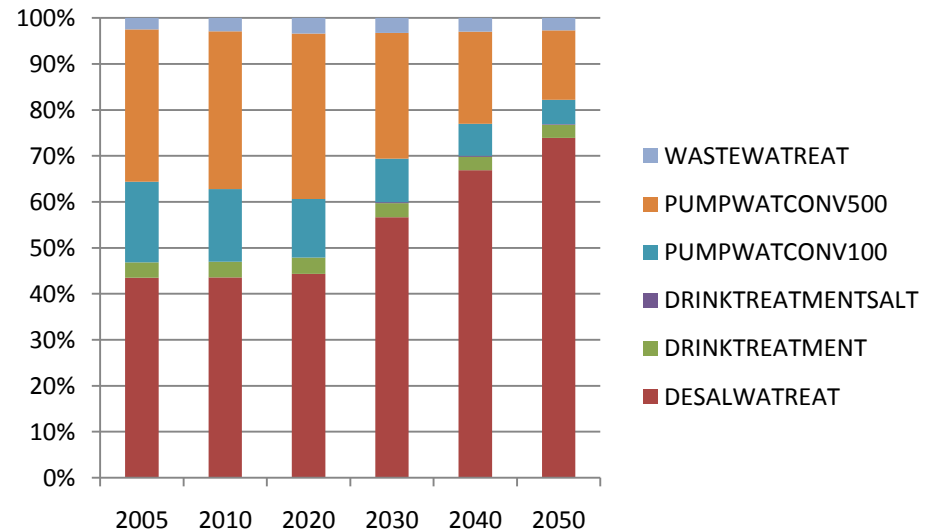
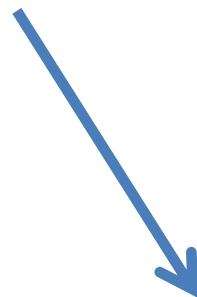
**IMPORTATION
D'EAU!!!!
COMMENT????**

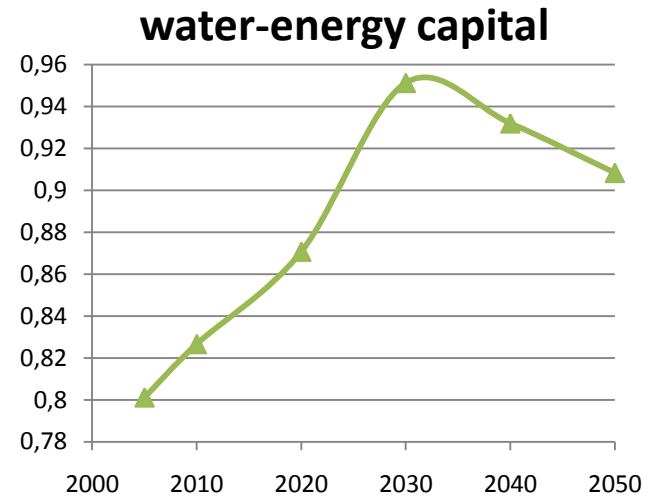
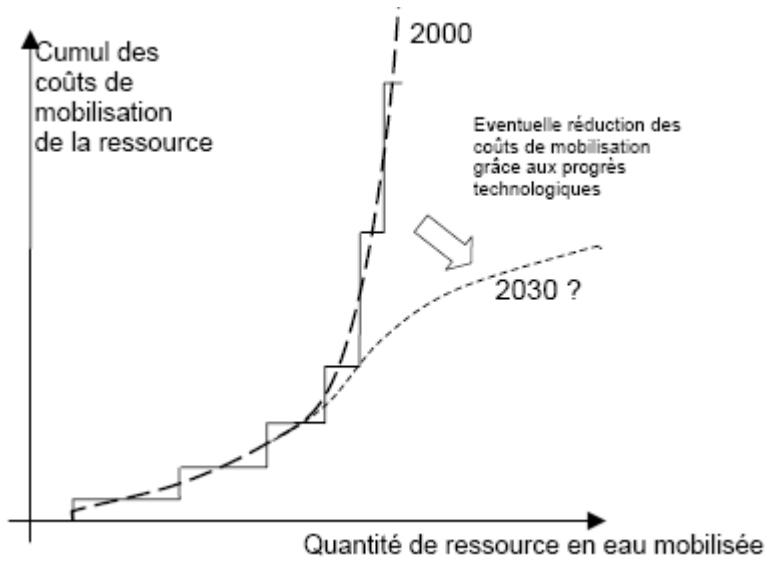


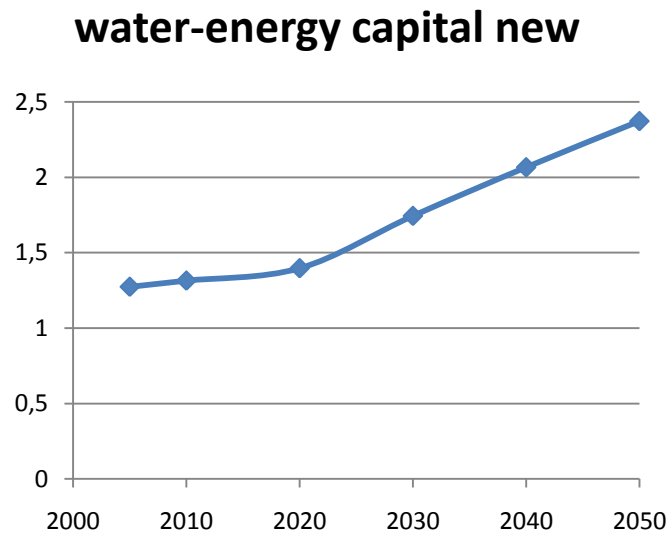
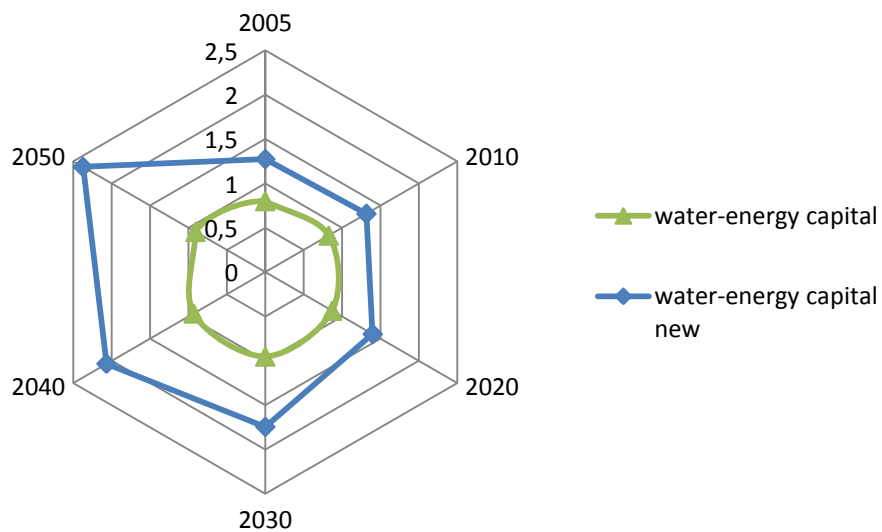
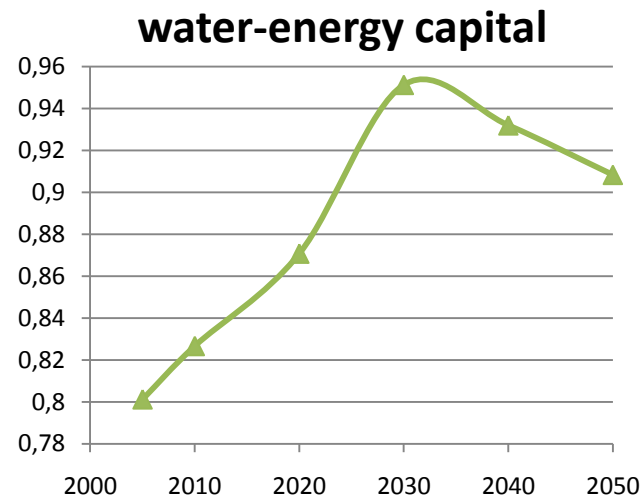
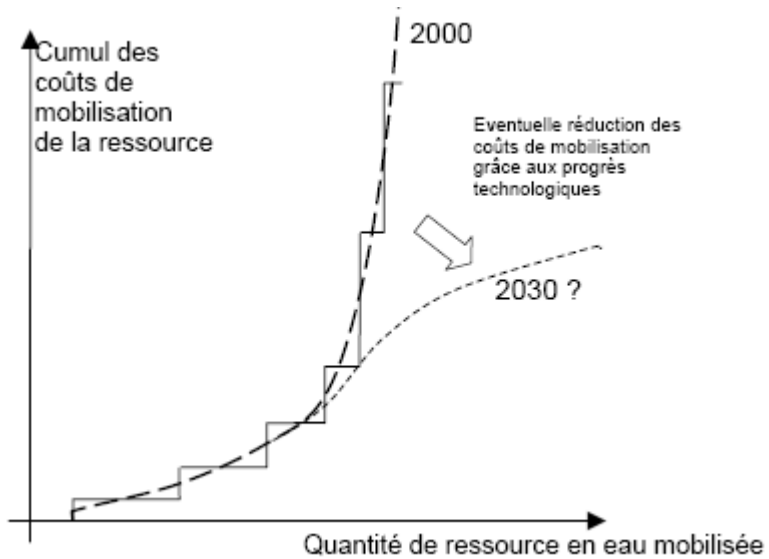
**IMPORTATION D'EAU
VIA LE DESSALEMENT**



**Augmentation
Consommation
énergétique**







WATER-ENERGY CAPITAL

la construction du capital Eau/énergie intègre à la fois la volonté

- d'élaborer un exercice de prospective qui permette d'équilibrer sur le long terme offre et demande en eau et,
- d'assurer une allocation des ressources en eau selon l'énergie consommée et d'évaluer l'empreinte énergétique des usages de l'eau
- d'estimer les coûts et bénéfices provenant de l'exploitation, la conservation et la distribution de ces ressources.

Conclusion

Explorer le problème de l'allocation de la ressource en eau sur le long terme au regard du vecteur énergétique nécessite de désagréger les technologies de l'eau, et de coupler les productions de bioénergies associées.