



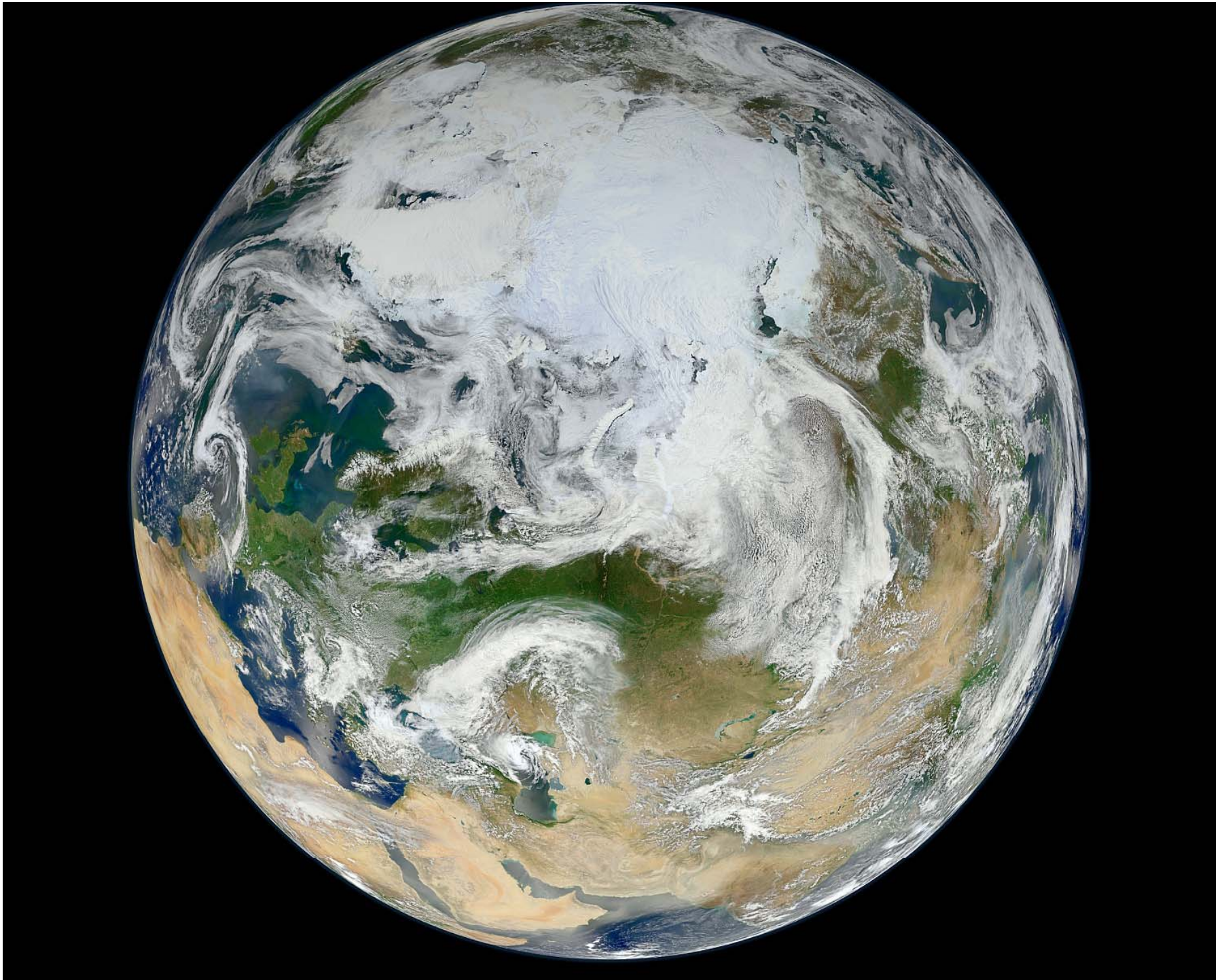
SÉANCE EXCEPTIONNELLE DE L'ACADÉMIE LORRAINE DES SCIENCES

"L'EAU : ENJEUX D'UNE RESSOURCE STRATEGIQUE"

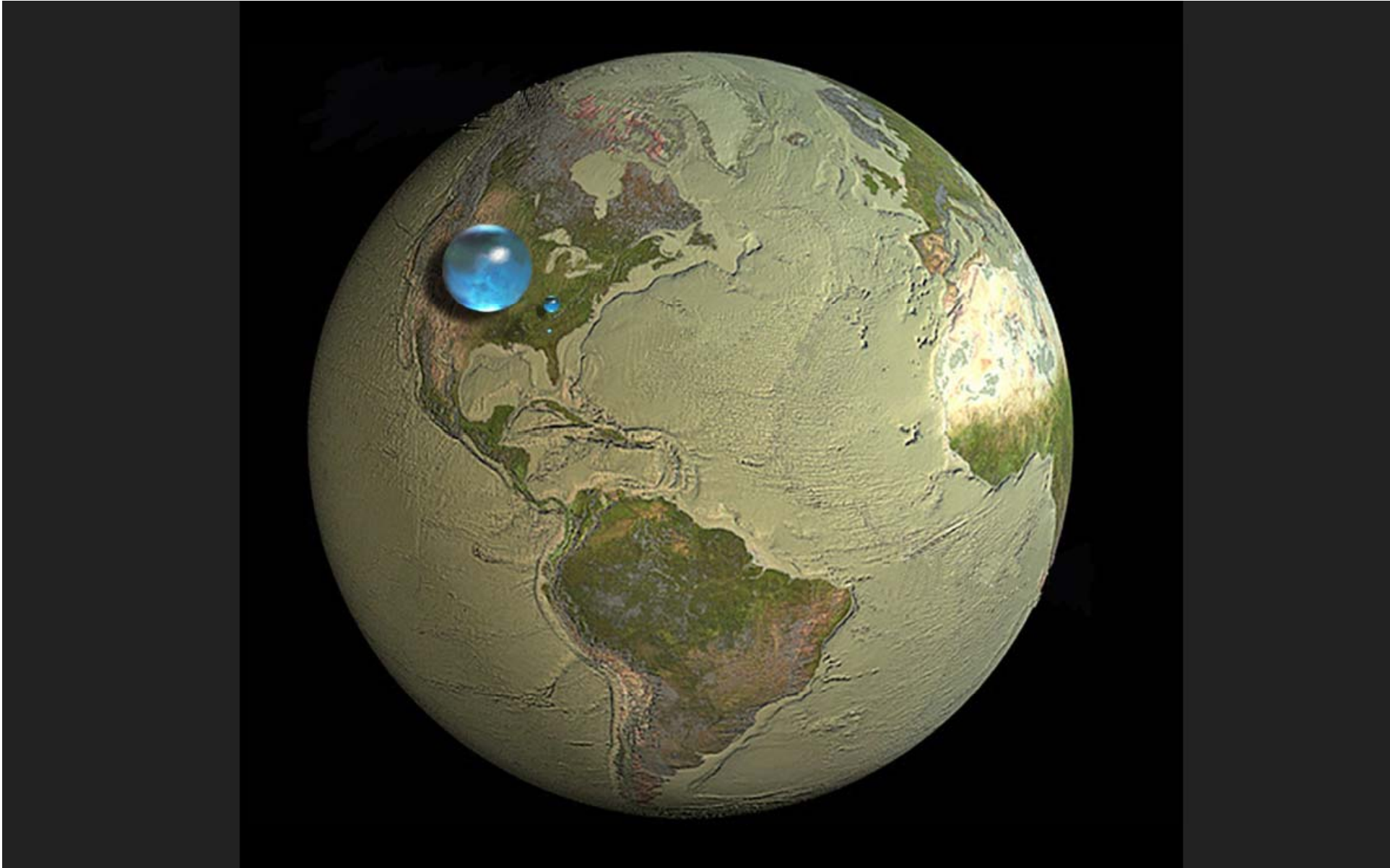
**Dimanche 17 novembre 2013**

# D'où vient l'eau que nous consommons ? La notion d'empreinte eau

**Ghislain de Marsily**







# **Bilan en eau de la Planète**

## **Stocks et Flux**

# 1. Stocks en eaux douces de la Planète

	km <sup>3</sup>	%
<b>Glaciers</b>	<b>28.250.000</b>	<b>64,9</b>
<b>Eaux Souterraines</b>	<b>15.000.000</b>	<b>34,4</b>
<b>Lacs intérieurs eau douce</b>	<b>176.000</b>	<b>0,4</b>
<b>Humidité du sol</b>	<b>122.000</b>	<b>0,28</b>
<b>Humidité de l'air</b>	<b>12.700</b>	<b>0,03</b>
<b>Rivières</b>	<b>1.700</b>	<b>0,004</b>
<b>Eau des cellules</b>	<b>1.100</b>	<b>0,003</b>

**Total eaux douces : 43.560.000 km<sup>3</sup>**

**Océans : 1.335.000.000 km<sup>3</sup> (30 fois plus)**

**Eau dans le manteau : à peu près autant que dans les océans**

# Rappel....

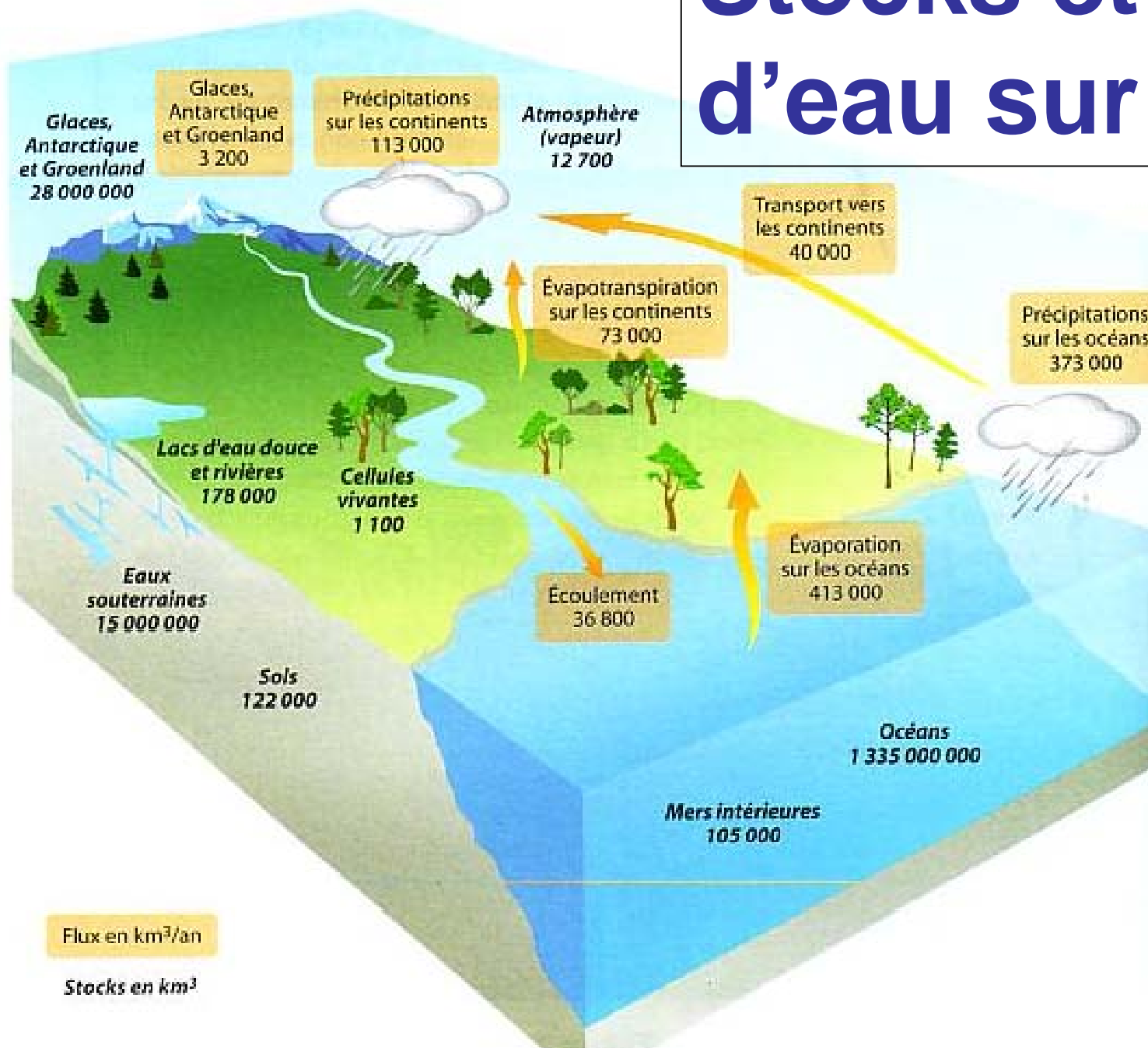
- Le stock total d'eau sur Terre est **à peu près constant...**

-Pertes dans la haute atmosphère :

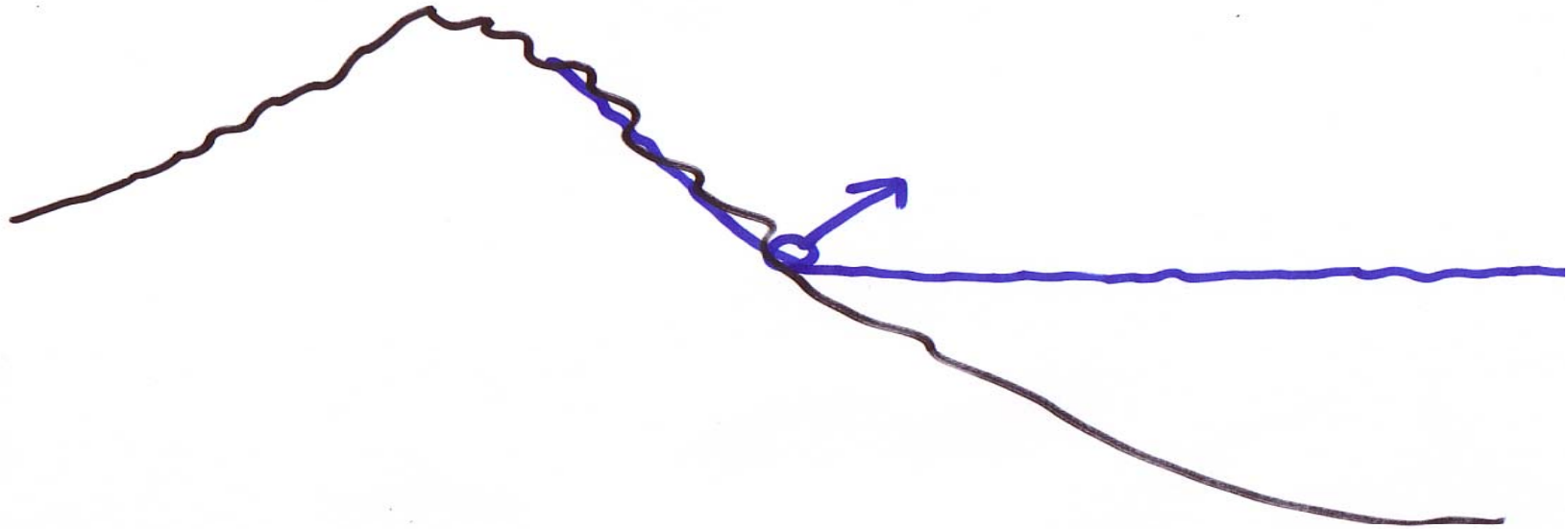


Perte de ~3 m d'eau en 4.6 milliards  
d'années...

# Stocks et Flux d'eau sur Terre

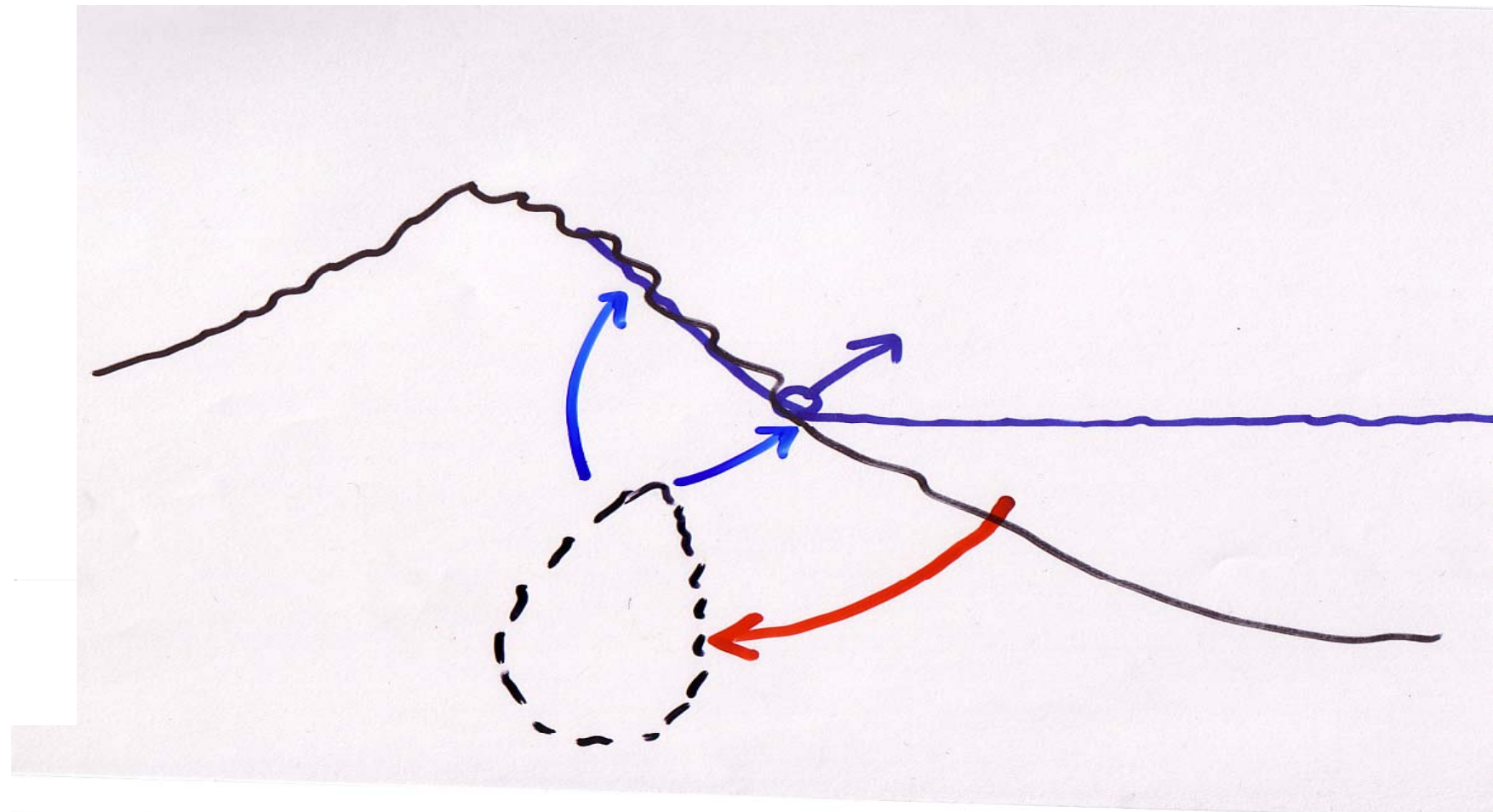


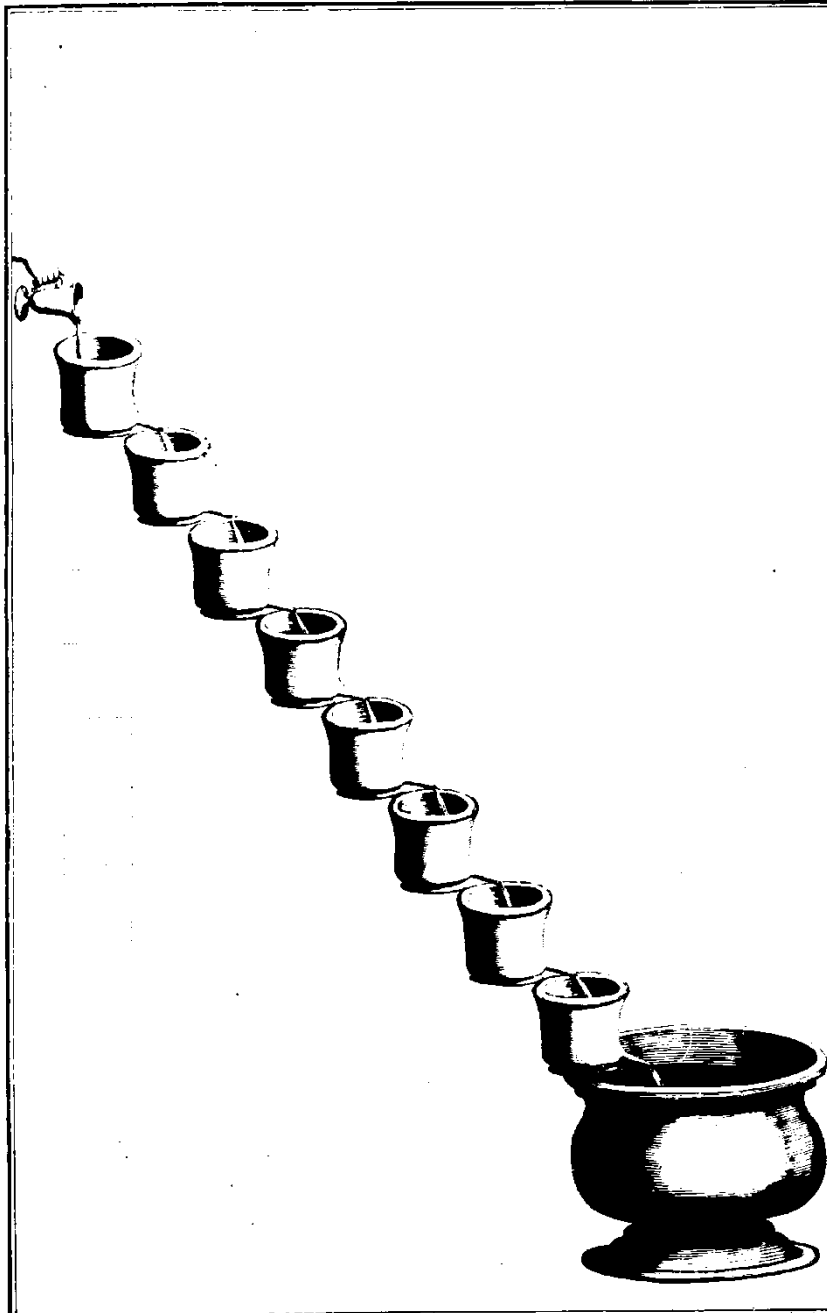
# Le Cycle de l'Eau...





# Le Cycle de l'Eau Per descensum





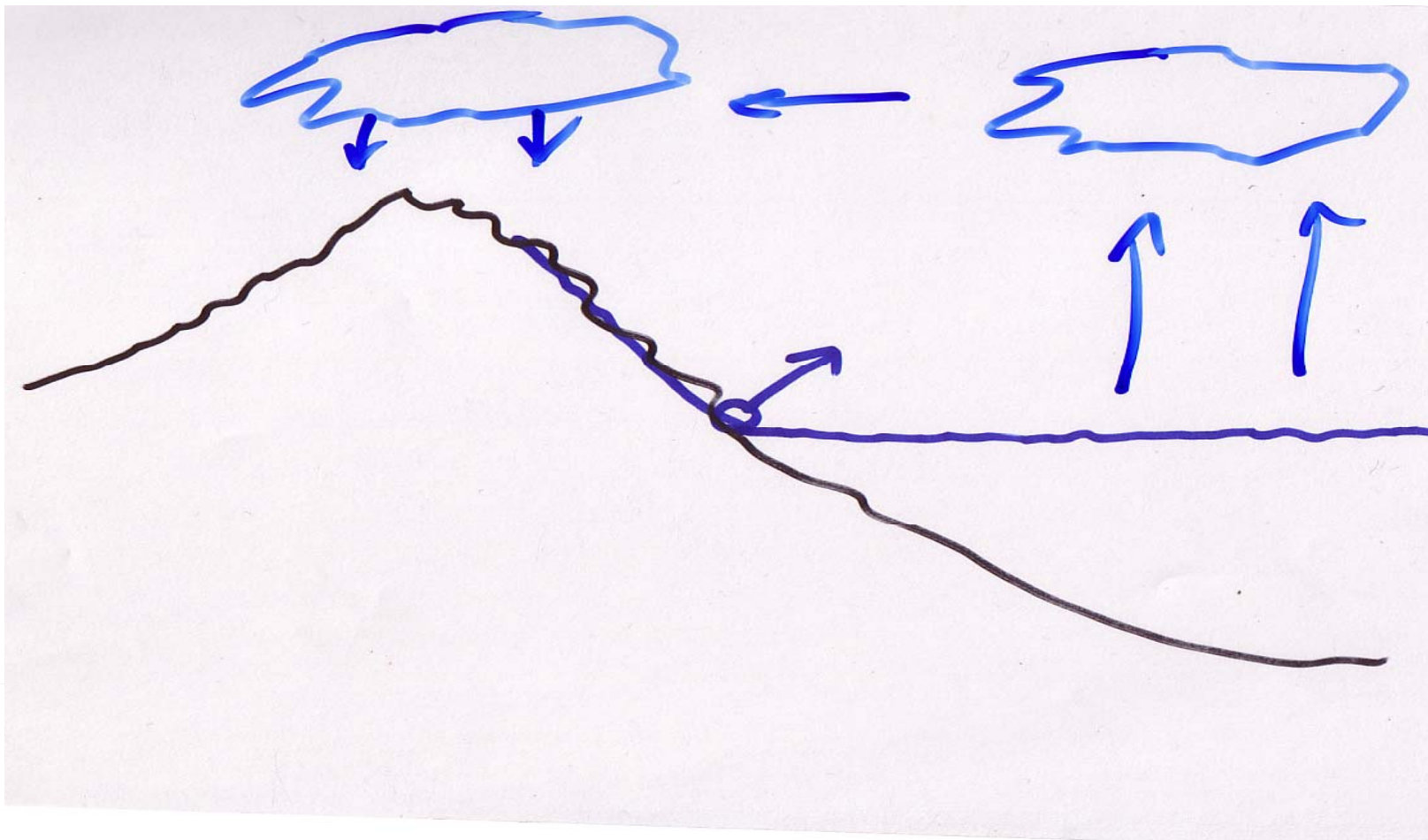
**1725....**

**Experience de**

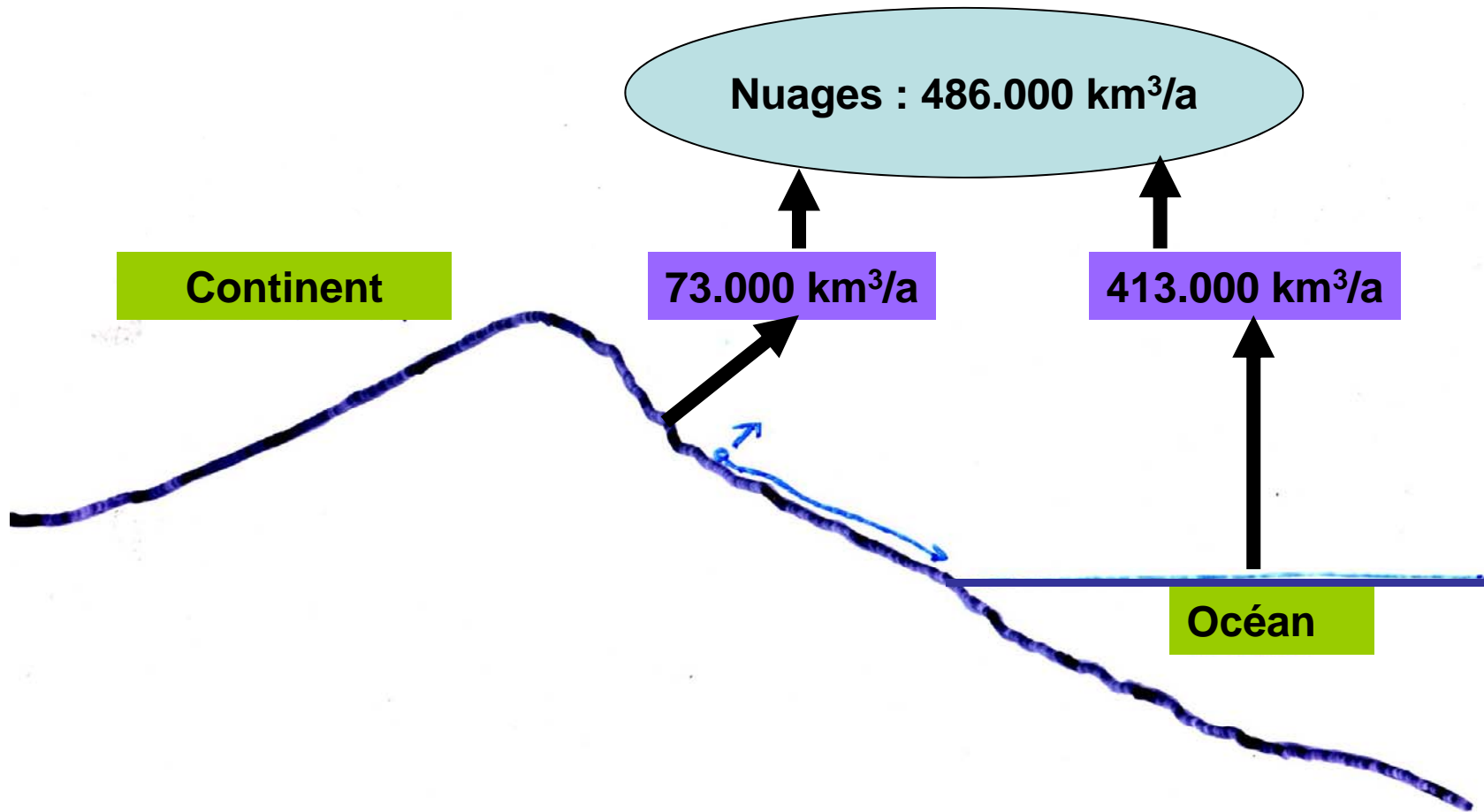
**dessalement de l'eau**

**de mer....**

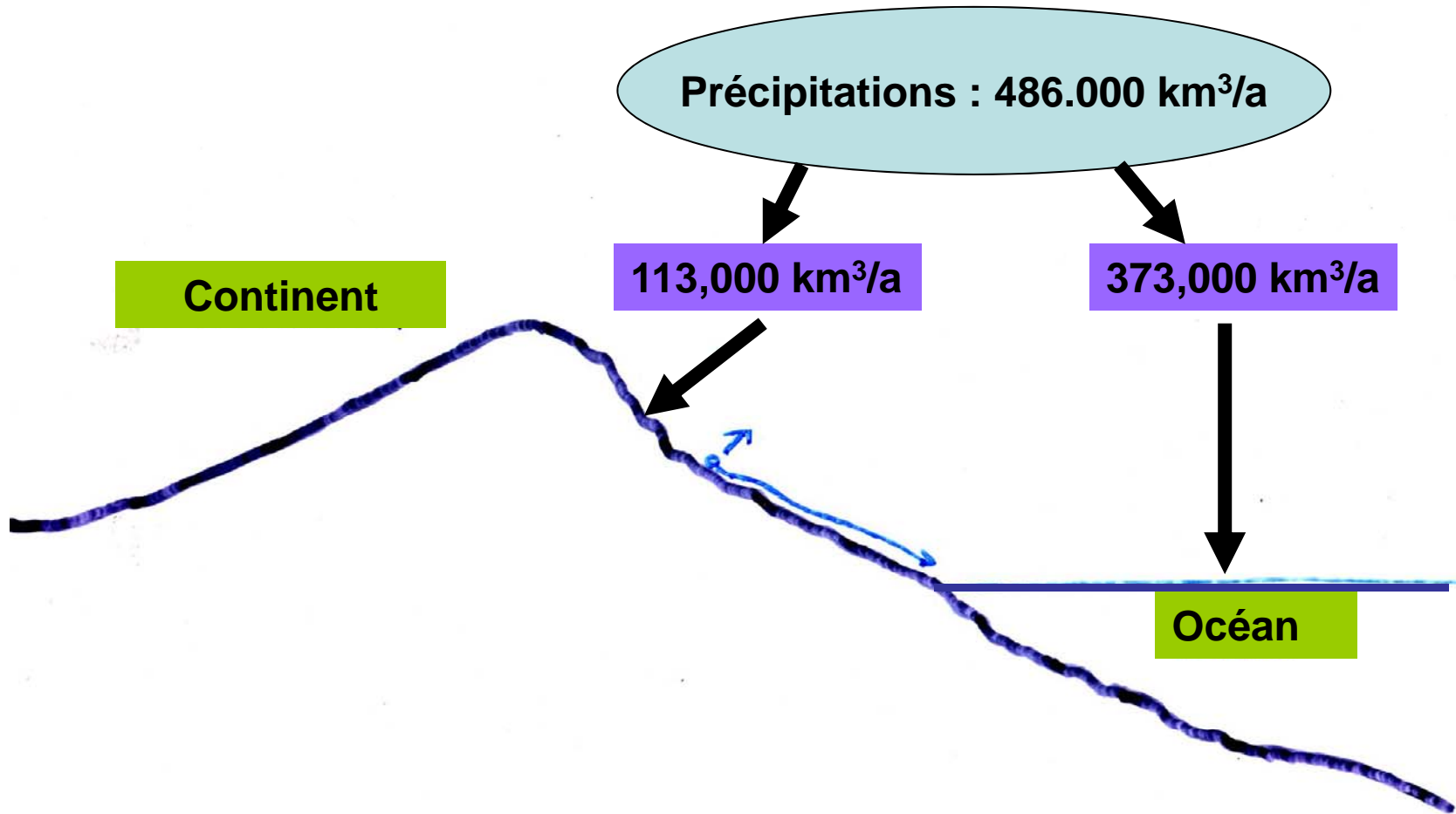
# Le Cycle de l'Eau per ascensum



# Cycle de l'Eau

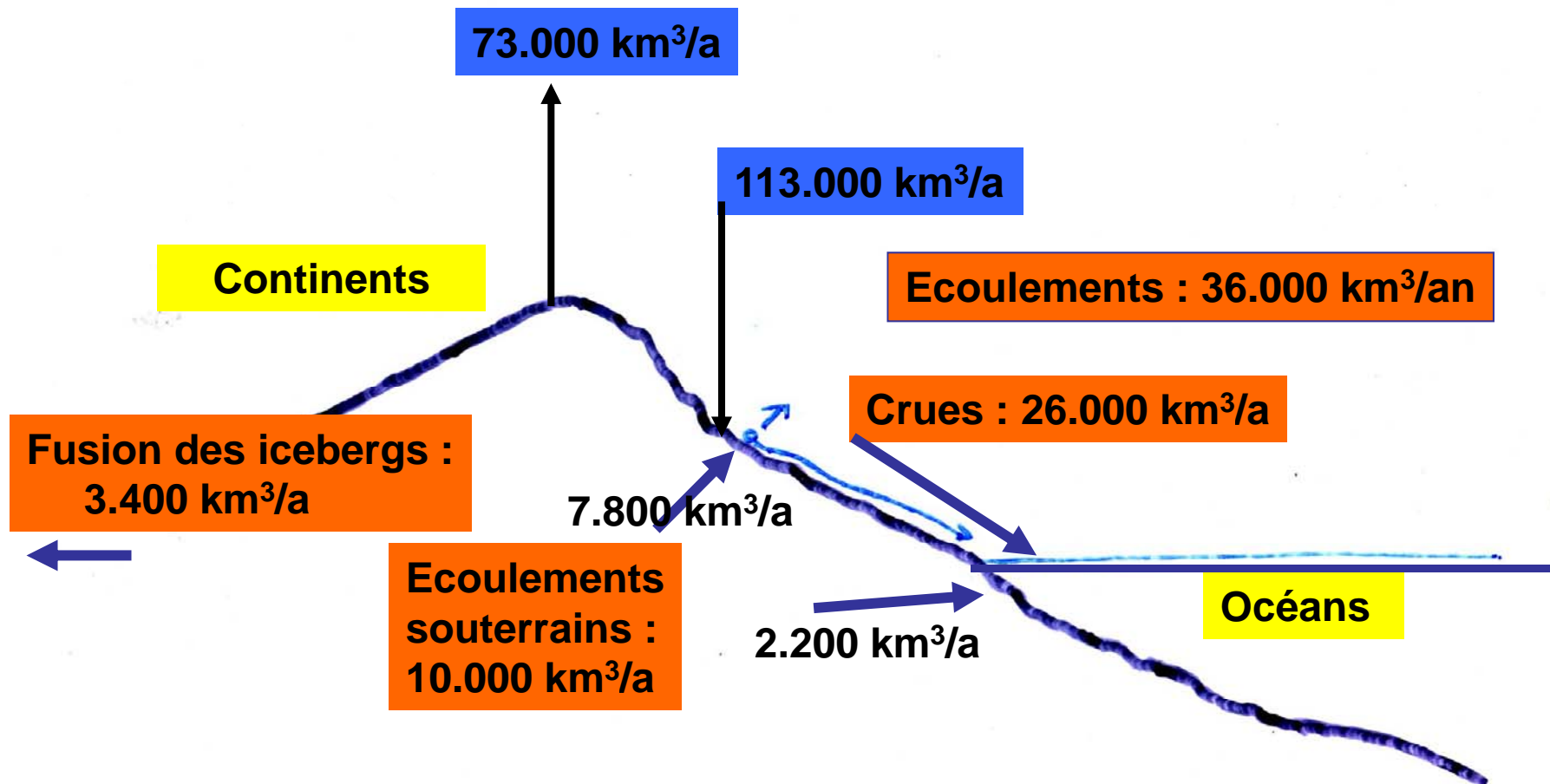


# Le Cycle de l'Eau





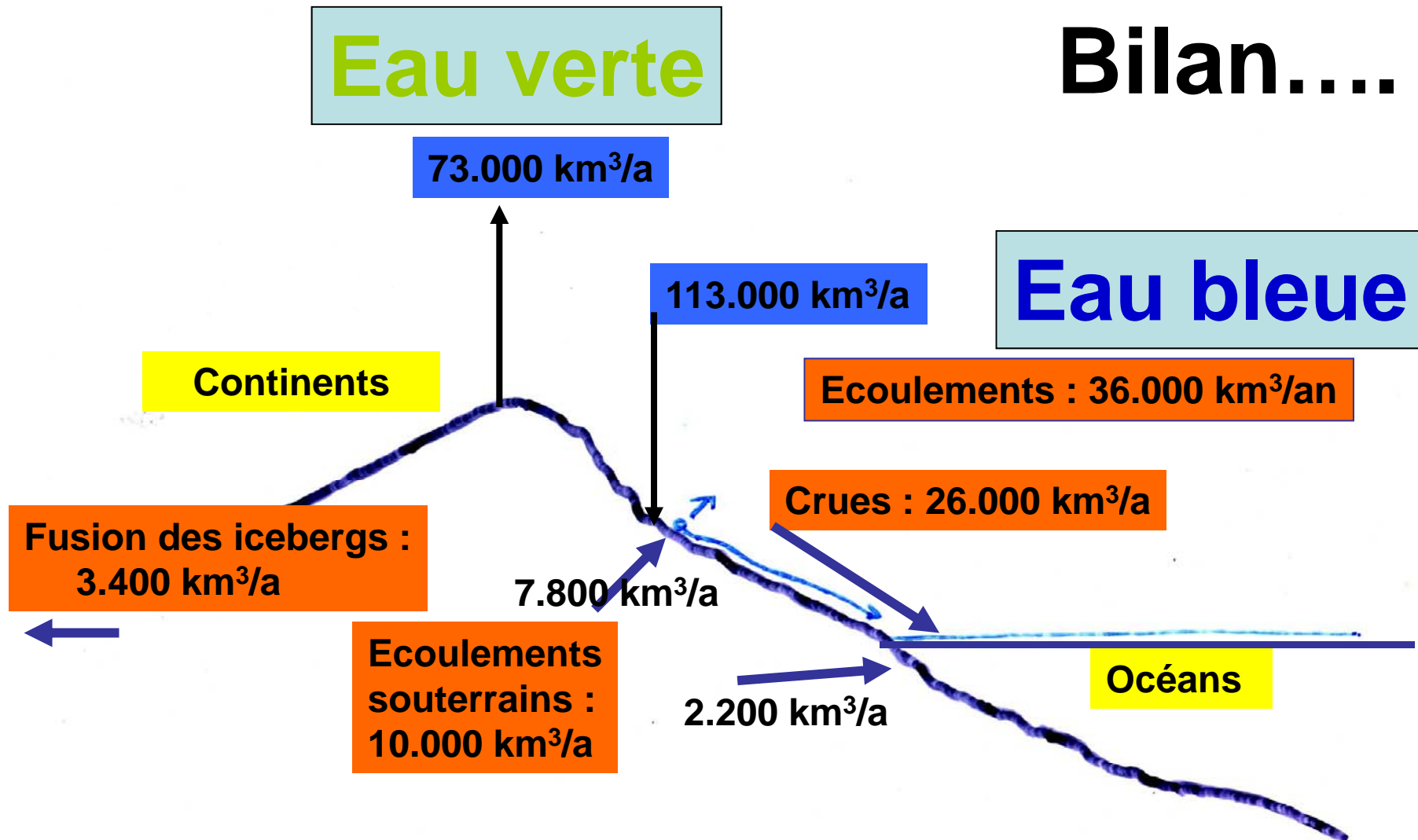
# Bilan....



Ecoulement généralement dit "récupérable": 13.500 km³/a  
(consommation actuelle : 2.000 km³/an)

1 km³ = 1 milliard de m³; 1 m³ = 1000 litres

# Bilan....



Écoulement généralement dit "récupérable": 13.500 km<sup>3</sup>/a  
(consommation actuelle : 2.000 km<sup>3</sup>/an)

1 km<sup>3</sup> = 1 milliard de m<sup>3</sup>; 1 m<sup>3</sup> = 1000 litres

# **Resources en eau provenant de stocks d'eau (« eau fossile »):**

- 1. Aquifères**
- 2. Glaciers**

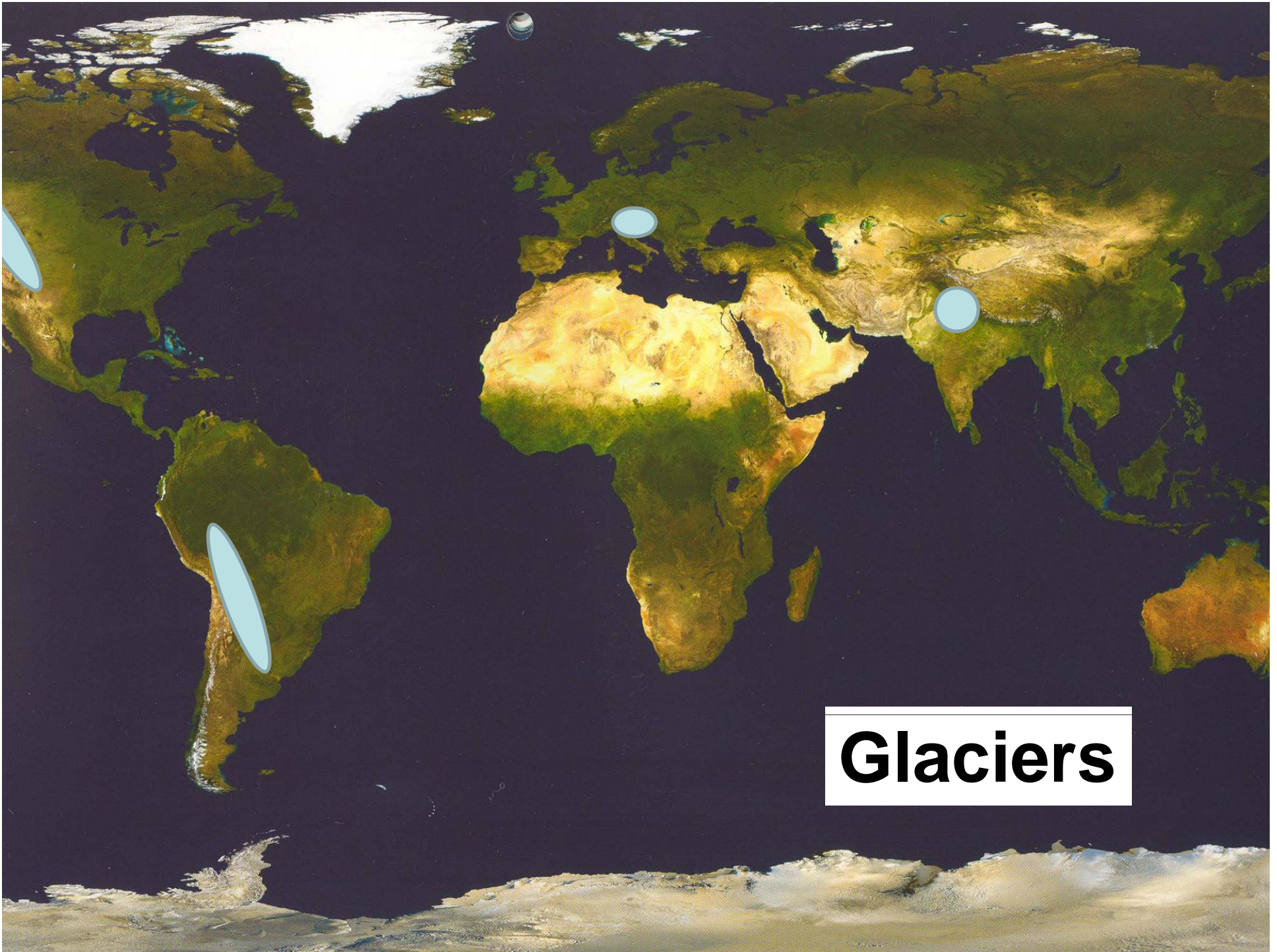


**Aquifères**

## Pompage et sur-pompage dans les nappes, consommation en eau des cultures zones irriguées en 2000, en km<sup>3</sup>/an

Pays	Quantités d'eau pompées annuellement	Sur-pompage annuel	Consommation totale de l'irrigation
Inde	190	71	600
Etats-Unis	115	32	204
Chine	97	22	403
Pakistan	55	37	183
Iran	53	27	59
Mexico	38	11	71
<b>Planète</b>	<b>734</b>	<b>256</b>	<b>2510</b>





**Glaciers**

# Ressources mondiales

Extrait du World Water Development Report III (2009)

1000. km3	Asie	Europe est	Amér. Latine	MENA	Afrique SS	OCDE	Total
Ressour ces eau totales	9,8	4,0	13,2	0,2	4,4	8,1	39,6
Ressour ces eau access.	9,3	1,8	8,7	0,2	4,1	5,6	29,7
%	95	45	66	96	93	69	75

L'eau est-elle disponible pour  
l'homme ?





**Delta de l'Okavango**



## 2. Répartition des précipitations sur Terre





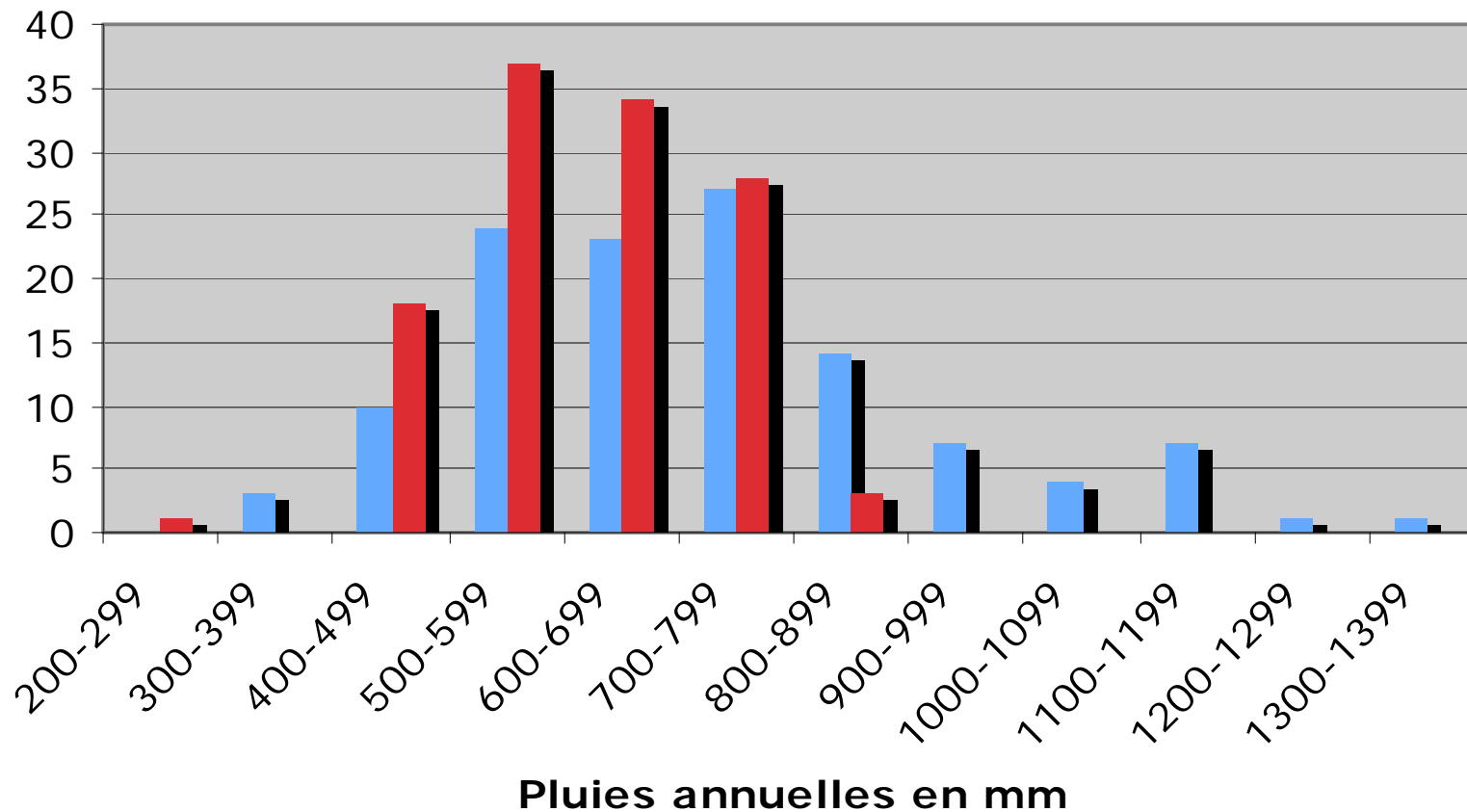
# Effet de la géographie...

- En montagne, les précipitations doublent environ tous les 2.000 m
  - Les montagnes sont les “châteaux d’eau” des plaines en aval (Himalaya, Alpes, Rocheuses, Cordillère des Andes, Ethiopie...)
- Il pleut plus près des côtes qu’à l’intérieur des continents...

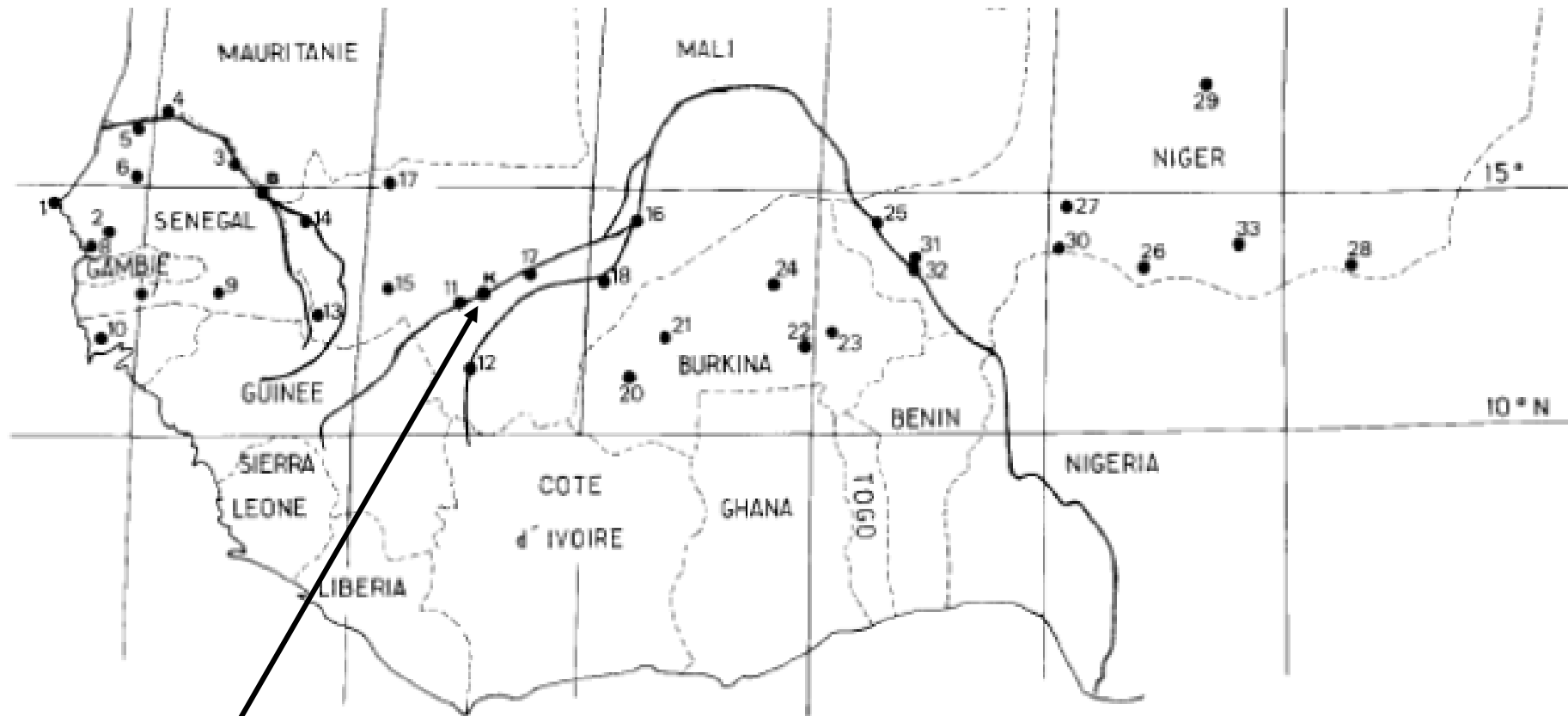
# 3. Variabilité inter-annuelle des précipitations

Histogrammes des pluies annuelles  
à Montpellier et à Paris (1873-1993) ■ Montpellier ■ Paris

**Moyennes : Paris : 611 mm, écart-type 108 mm Min-Max :270-880 mm**  
**Montpellier : 722 mm, écart-type 224 mm Min-Max: 311-1352 mm**

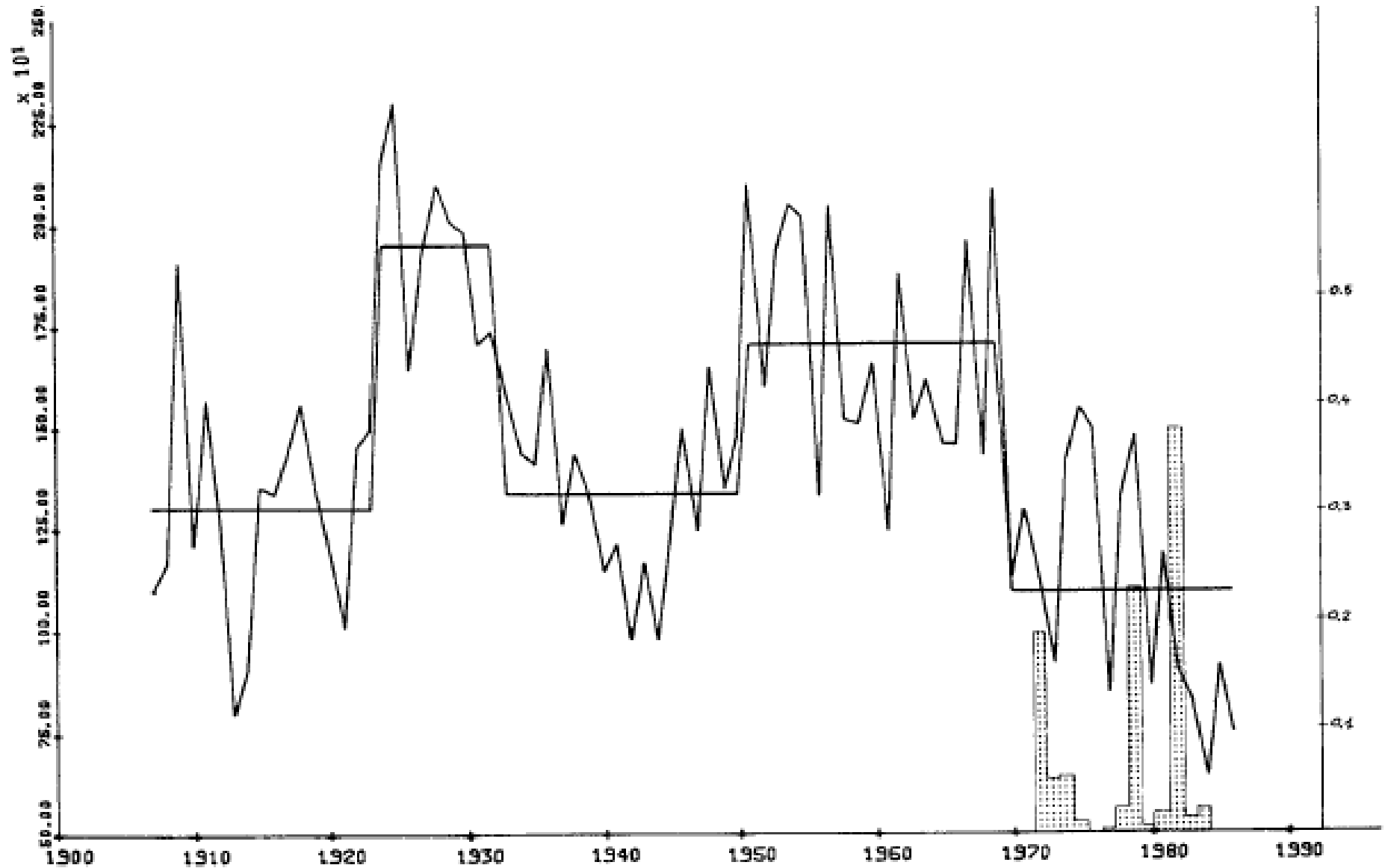


# Sécheresse au Sahel...



**Koulikoro, Niger**

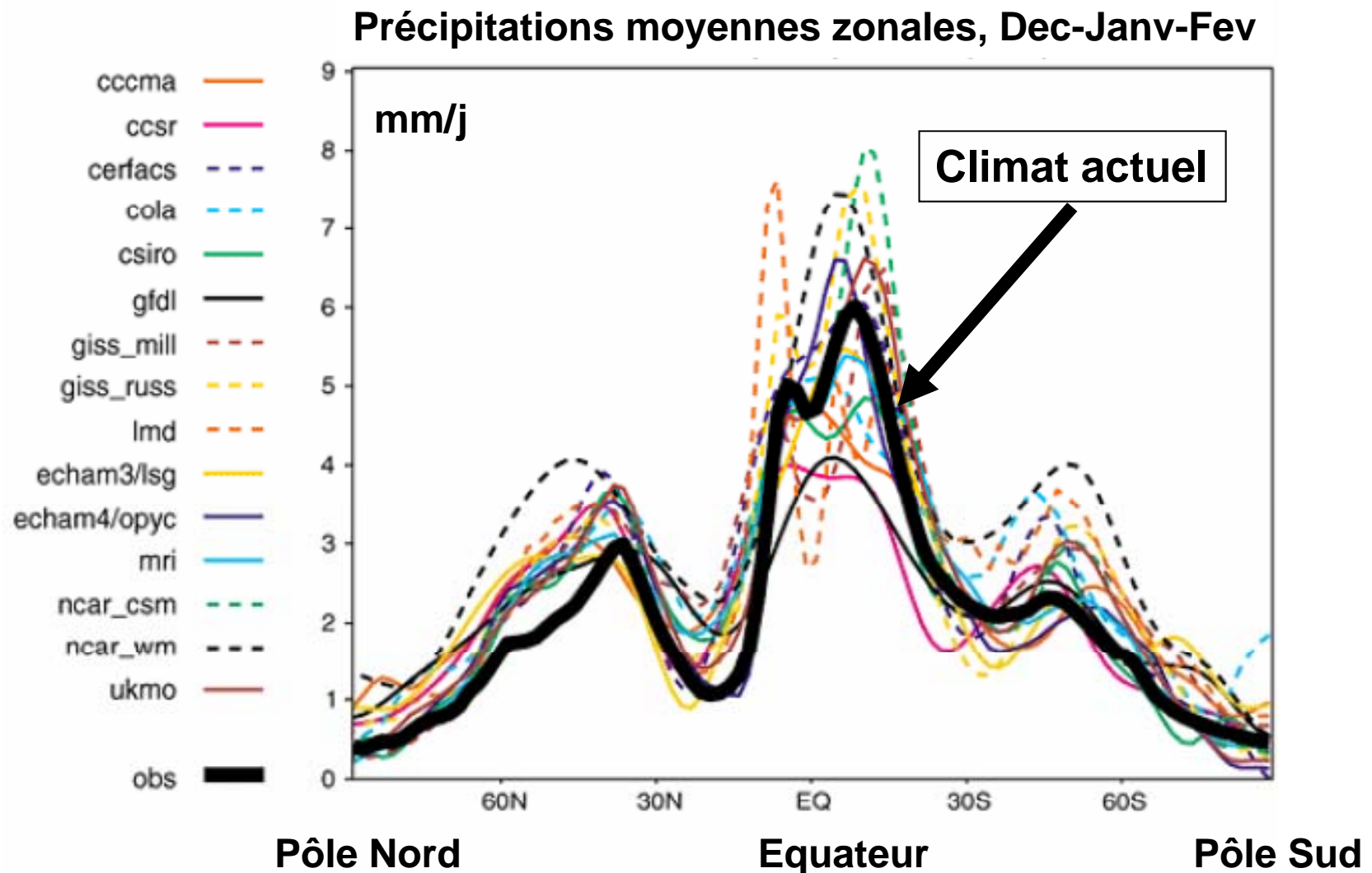
# Débit moyen annuel du fleuve Niger à Koulikoro, 1900-1990



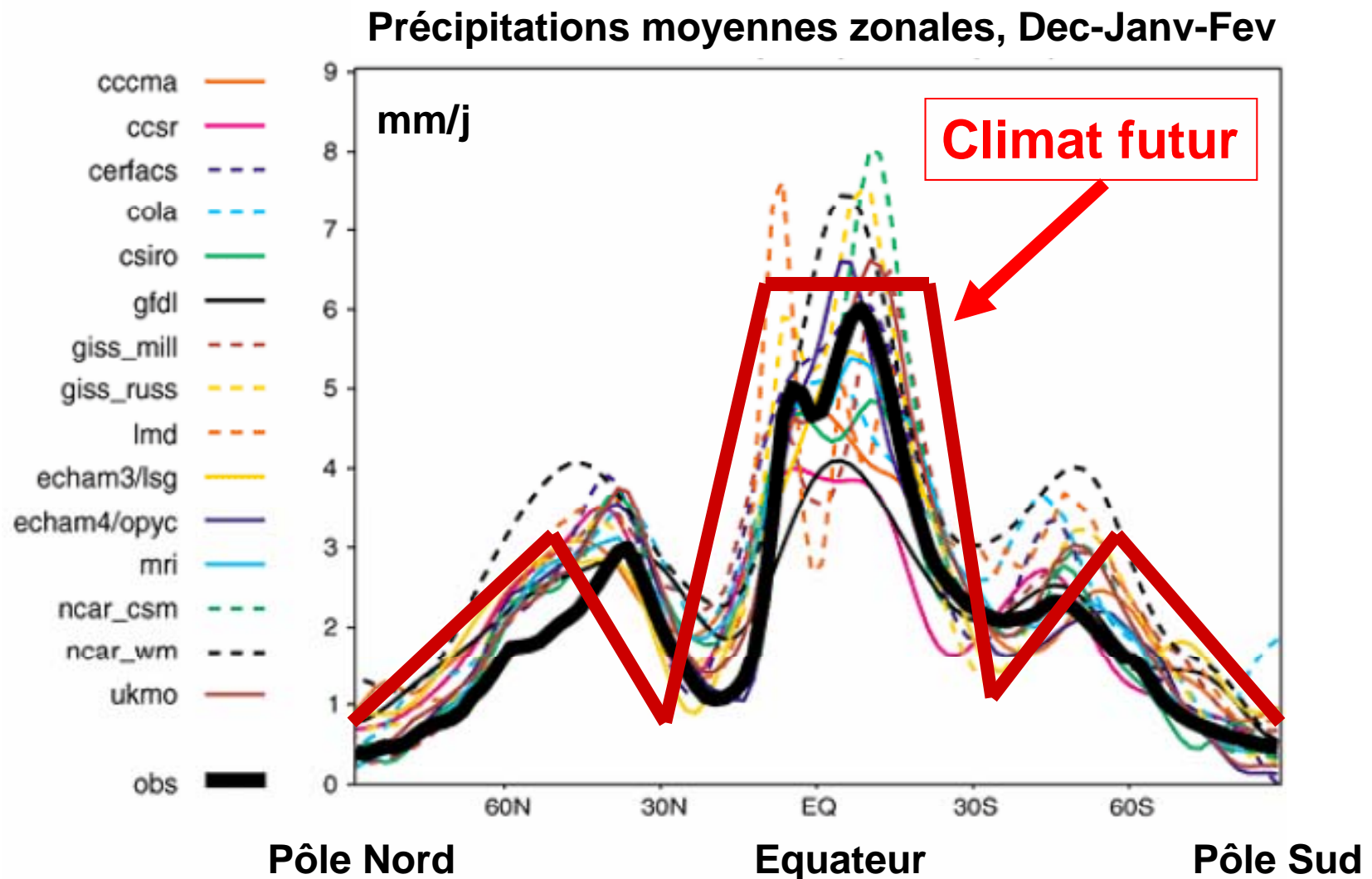
**4. Conséquences du réchauffement  
sur le régime hydrologique :  
grosses incertitudes...**



# Variation de la pluie (de pôle à pôle) pour 15 modèles de climat, et observations



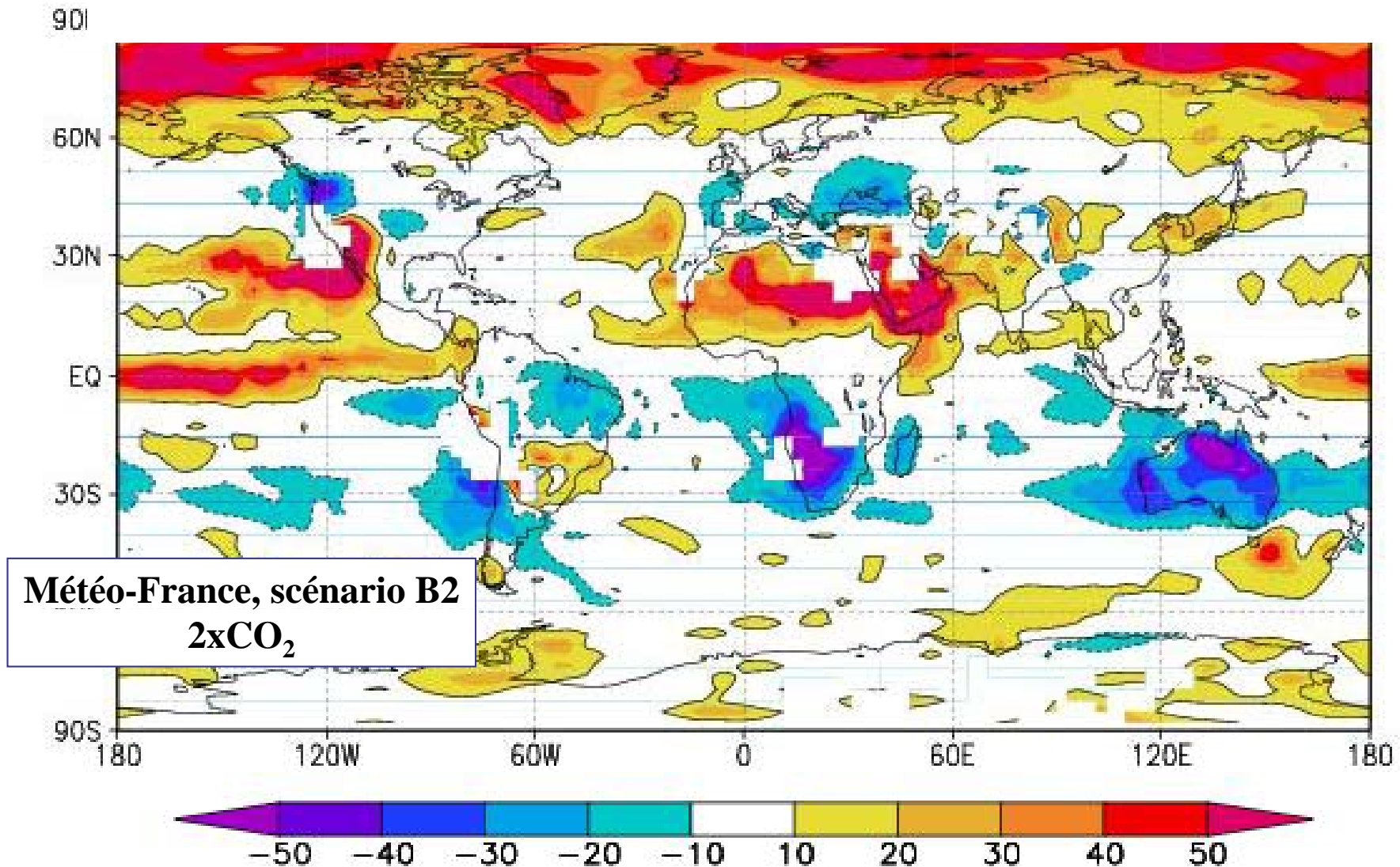
# Variation de la pluie (de pôle à pôle) pour 15 modèles de climat, et observations



# Variations (en %) des Précipitations entre 2050-99 et 1950-99

**Juin Juillet Août Septembre**

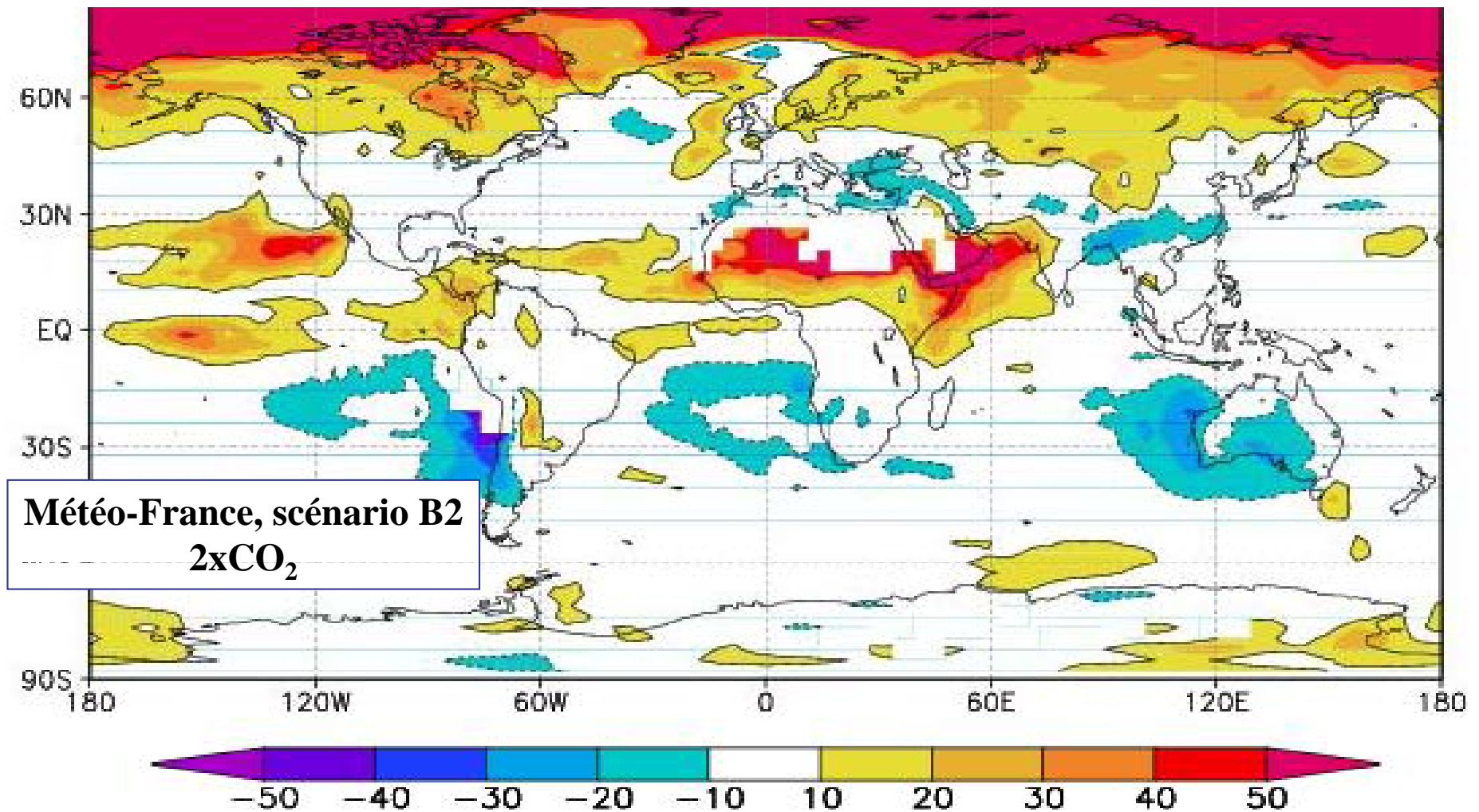
J.C. André et al., RST 25 "Les Eaux Continentales



# Variations (en %) des Précipitations entre 2050-99 et 1950-99

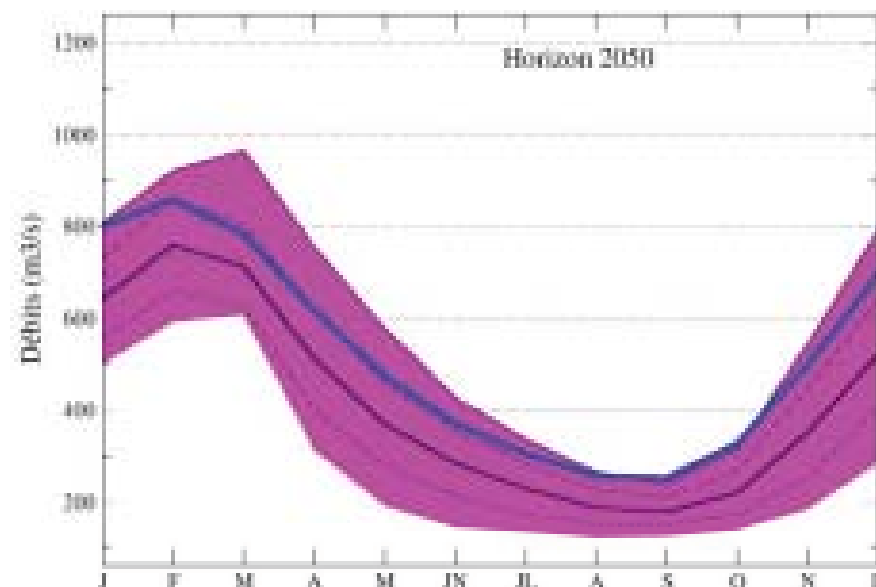
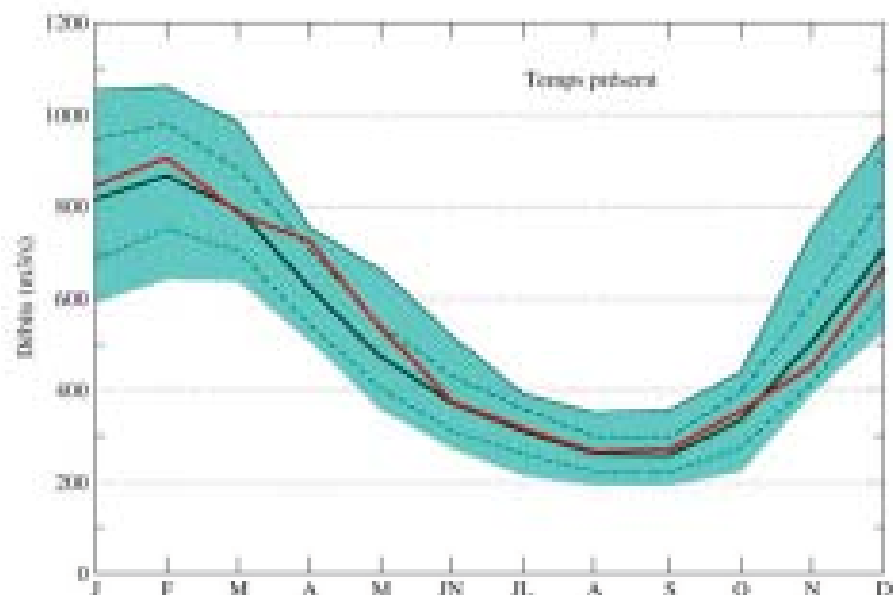
**Décembre Janvier Février Mars**

J.C. André et al., RST 25 "Les Eaux Continentales"

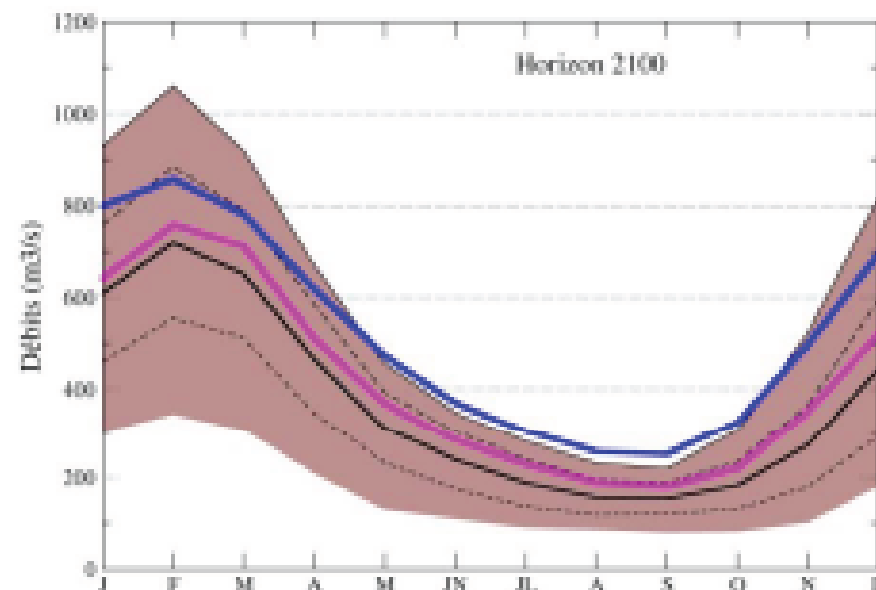


# Conséquences pour la France Exemple de la Seine

**Débit de la Seine à Pose, actuel, 2050 et 2100. Résultats obtenus toute chose étant égale par ailleurs (pas de modification des occupations des sols, ni des prélèvements)**



**Figure 1 - Evolution des débits mensuels simulés pour la Seine à Poses par l'ensemble des modèles hydrologiques et sur l'ensemble des scénarios. L'enveloppe représente les min et max simulés, le trait épais noir la moyenne de l'ensemble, et les pointillés l'enveloppe pour un écart-type. Temps présent : la courbe rouge représente la moyenne mensuelle observée. Horizon 2050 : la courbe bleue représente la moyenne temps présent. Horizon 2100 : les courbes bleues et roses représentent les moyennes des simulations temps présent et milieu de siècle respectivement.**



## **5. Les besoins en eau actuels:**

### **Exemple Tunisien**

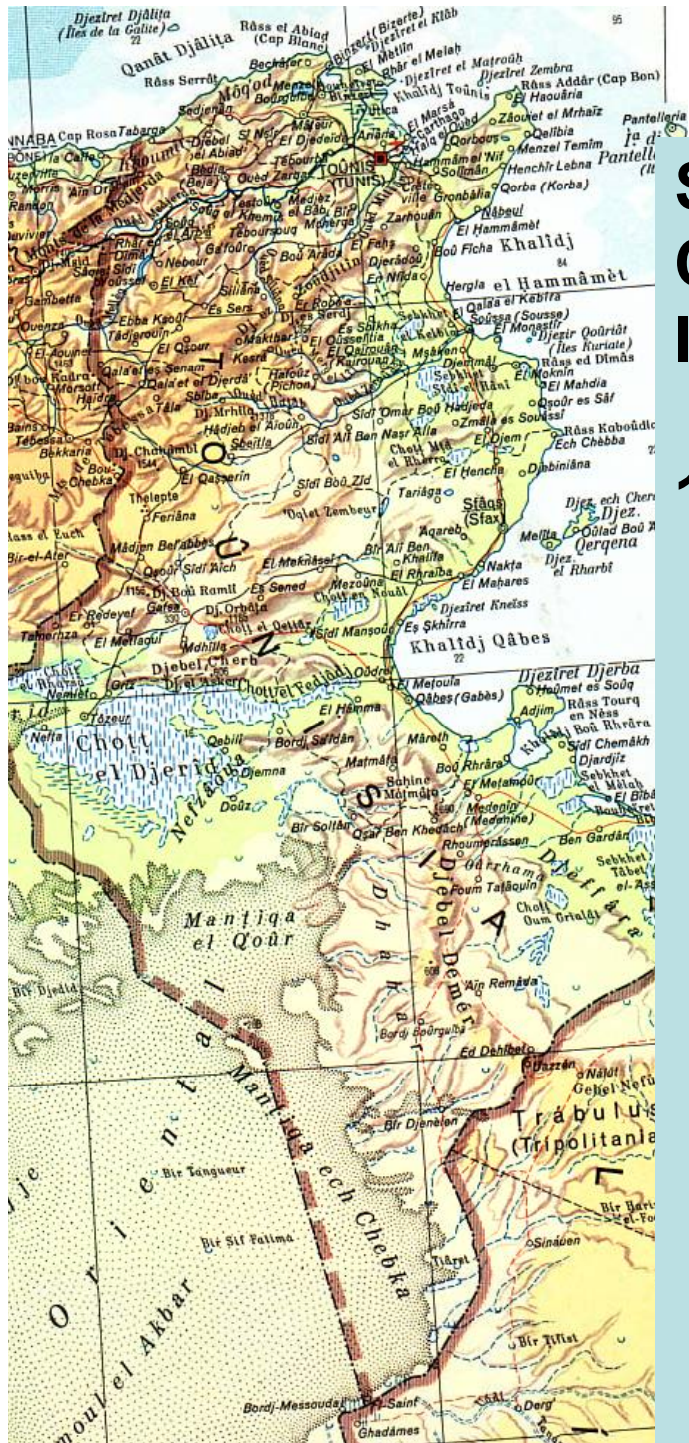


# La Tunisie

Surface 164.000 km<sup>2</sup>

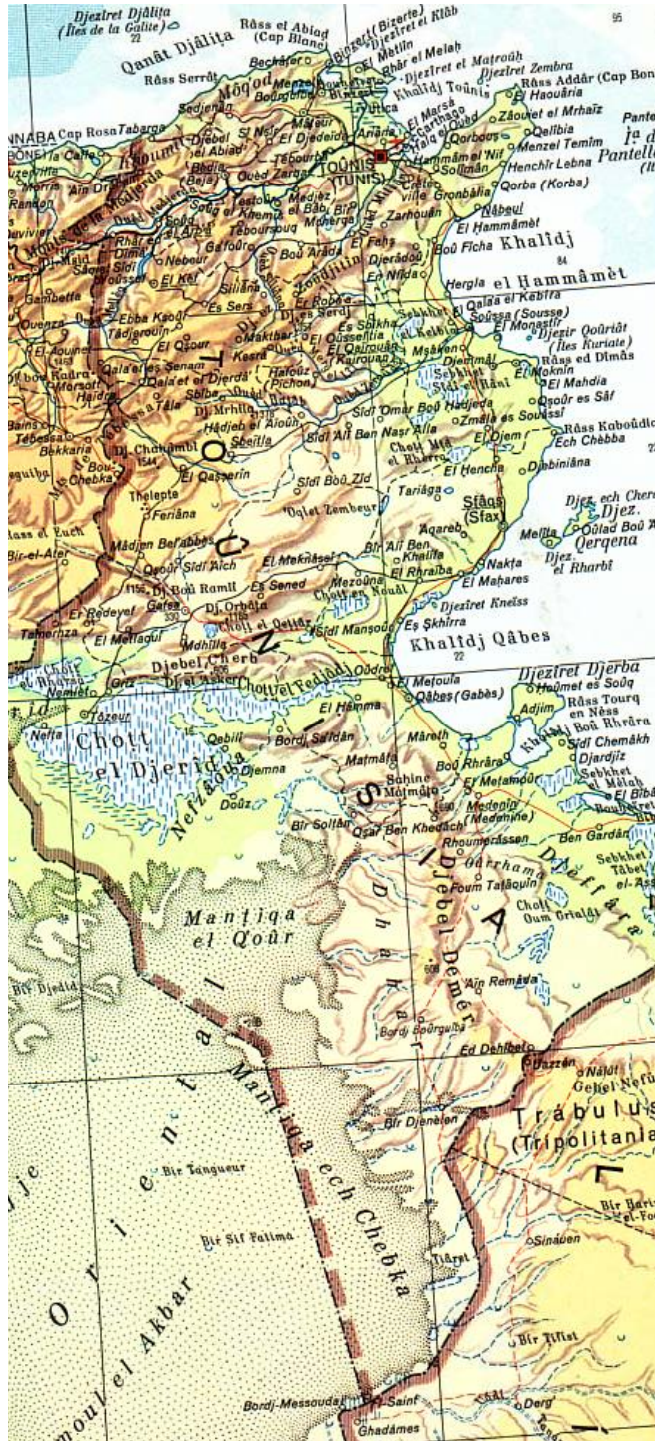
Cultivable : 5 millions d'ha  
Irrigable : 0,56 million d'ha

10 millions d'habitants





# La Tunisie



Surface 164.000 km<sup>2</sup>

Cultivable : 5 millions d'ha

Irrigable : 0,56 million d'ha

10 millions d'habitants

Pluie 220 mm/an

Total eau de pluie 36 km<sup>3</sup>/an

Eau évapotranspirée 12 km<sup>3</sup>/an

Ruissellement total : 2,7 km<sup>3</sup>/an

Ruissellement récupérable 2,1 km<sup>3</sup>/an

Eau souterraine exploitable : 2,15 km<sup>3</sup>/an

# Bilan en eau de la Tunisie

	Unité	2004	2025 Idem + Chgt Clim
Population	Millions		
Demande alimentaire, équival eau/hab	m <sup>3</sup> /a		
Demande alimentaire, volume total	km <sup>3</sup> /a		
Demande directe, AEP et industrie/hab	m <sup>3</sup> /a		
Demande directe, total	km <sup>3</sup> /a		
Volume d'eau d'irrigation	km <sup>3</sup> /a		
Agriculture pluviale, eau verte	km <sup>3</sup> /a		
Eau virtuelle importée (blé, orge)	km <sup>3</sup> /a		
Besoins en eau totaux	km <sup>3</sup> /a		
Taux de dépendance en eau importée	-		

# Contenu en eau des aliments

<b>Produits végétaux</b>	<b>Eau consommée</b>	<b>Produits Animaux</b>	<b>Eau consommée</b>
<b>Huile végétale</b>	<b>5000</b>	<b>Boeuf</b>	<b>13,000</b>
<b>Riz</b>	<b>1500-2000</b>	<b>Vollailes</b>	<b>4,000</b>
<b>Blé, céréales en C3</b>	<b>1000</b>	<b>Oeufs</b>	<b>2,700</b>
<b>Maïs, céréales en C4</b>	<b>700</b>	<b>Lait</b>	<b>800</b>
<b>Agrumes</b>	<b>400</b>		
<b>Légumes</b>	<b>200-400</b>		
<b>Pommes de terre</b>	<b>100</b>		

Eau nécessaire (litre par kilo) pour produire les aliments  
(fraction consommée, pas en matière sèche)

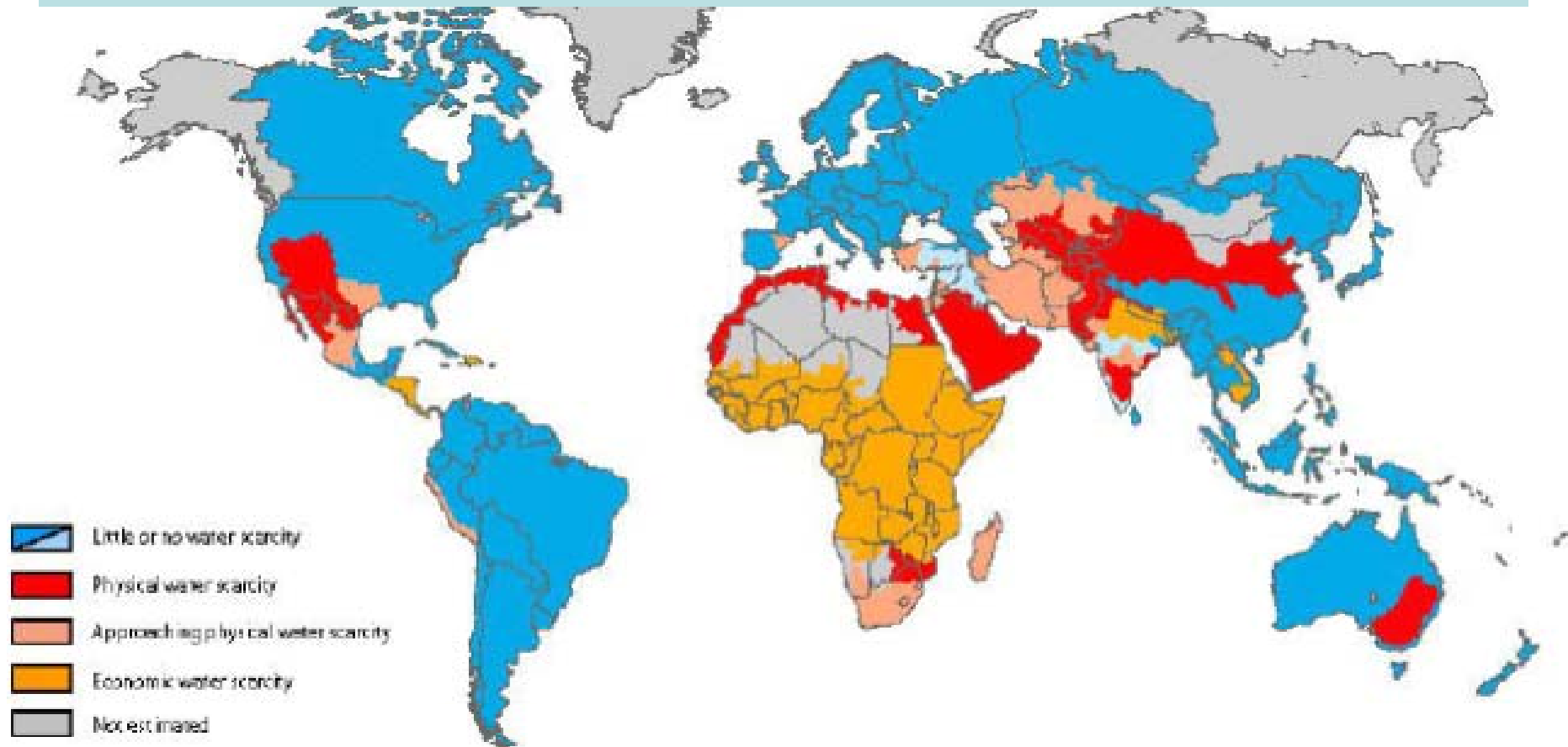
# Bilan en eau de la Tunisie

	Unité	2004	2025 Idem + Chgt Clim
Population	Millions	10	
Demande alimentaire, équival eau/hab	m <sup>3</sup> /a	1450	
Demande alimentaire, volume total	km <sup>3</sup> /a	<b>14,399</b>	
Demande directe, AEP et industrie/hab	m <sup>3</sup> /a	55	
Demande directe, total	km <sup>3</sup> /a	0,546	
Volume d'eau d'irrigation	km <sup>3</sup> /a	2,008	
Agriculture pluviale, eau verte	km <sup>3</sup> /a	8,000	
Eau virtuelle importée (blé, orge)	km <sup>3</sup> /a	<b>4,591</b>	
Besoins en eau totaux	km <sup>3</sup> /a	14,945	
Taux de dépendance en eau importée	-	<b>31%</b>	

# Bilan en eau de la Tunisie

	Unité	2004	2025 Idem + Chgt Clim
Population	Millions	10	12,15
Demande alimentaire, équival eau/hab	m <sup>3</sup> /a	1450	1700
Demande alimentaire, volume total	km <sup>3</sup> /a	<b>14,399</b>	<b>20,655</b>
Demande directe, AEP et industrie/hab	m <sup>3</sup> /a	55	70
Demande directe, total	km <sup>3</sup> /a	0,546	0,851
Volume d'eau d'irrigation	km <sup>3</sup> /a	2,008	2,004
Agriculture pluviale, eau verte	km <sup>3</sup> /a	8,000	9,000
Eau virtuelle importée (blé, orge)	km <sup>3</sup> /a	<b>4,591</b>	<b>9,900</b>
Besoins en eau totaux	km <sup>3</sup> /a	14,945	21,506
Taux de dépendance en eau importée	-	<b>31%</b>	<b>46%</b>

## Vision mondiale de l'eau, Forum de La Haye, 2000, et Objectifs du Millénaire



### Zones avec manque chronique d'eau en 2000, d'après IWMI [2007].

**Rouge** : Déficit physique ; plus de 75% du débit des rivières est prélevé pour les besoins de l'homme, en tenant compte des recyclages.

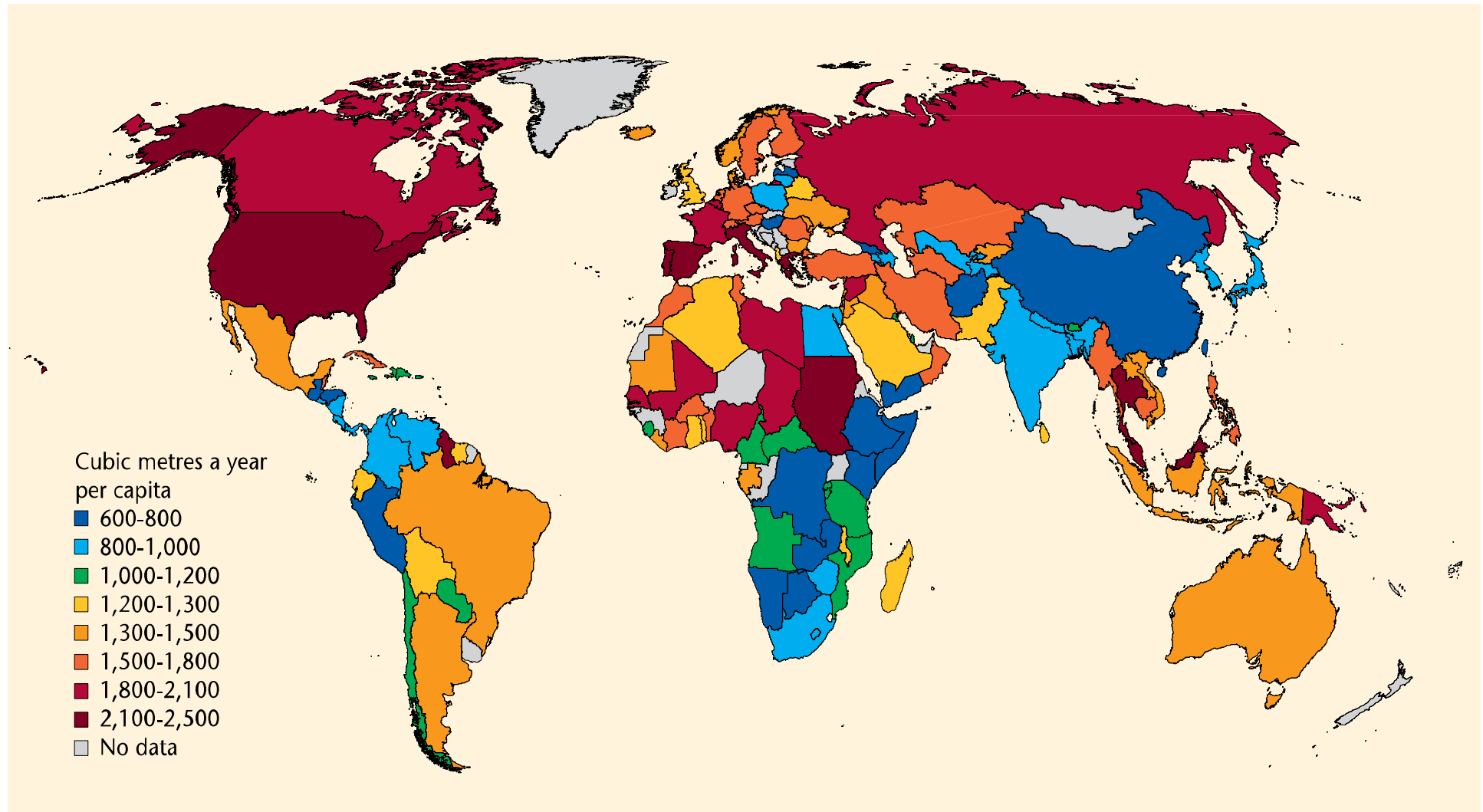
**Rose** : Plus de 60% du débit des rivières est prélevé. Ces bassins vont bientôt devenir rouge

**Orange** : Déficit économique en eau. Les ressources sont abondantes par rapport aux usages, avec moins de 25% de prélèvements du débit des rivières, mais la sous-alimentation sévit. La capacité financière en moyens d'équipement fait défaut.

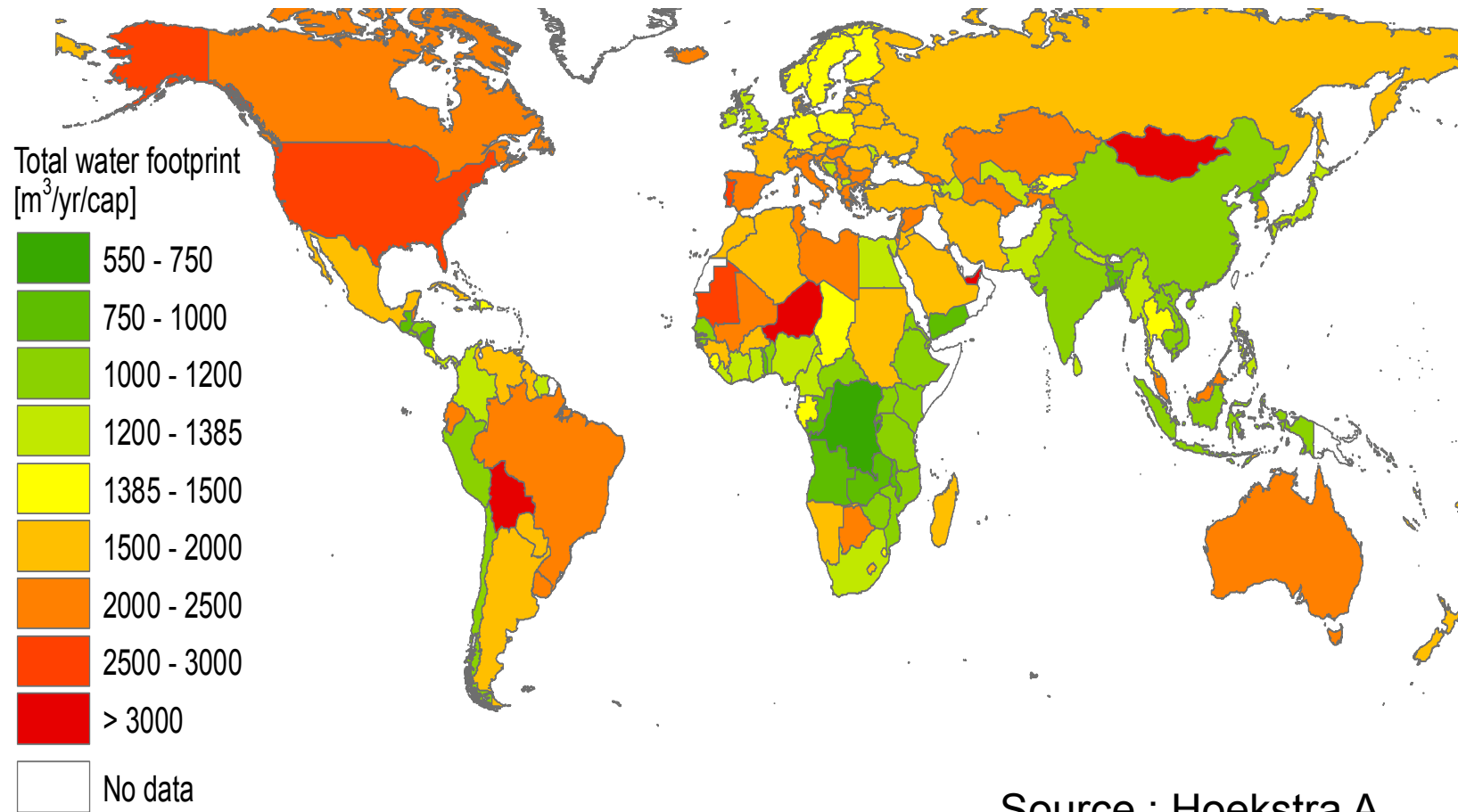
**Bleu** : Ressources en eau abondantes. Prélèvements inférieurs à 25% du débit des rivières.



# Carte de consommation alimentaire en eau, m<sup>3</sup>/an par habitant



# L'empreinte de consommation par habitant





## 6. Le cycle hydrologique de la France, empreinte eau

Principaux flux du bilan hydrologique moyen annuel	Volumes, km <sup>3</sup> /an
Précipitations totales sur la France	479
Evapotranspiration réelle totale	297
Ecoulement intérieur total	182
Total des exportations d'eau vers l'Allemagne, le Luxembourg et la Belgique	18
Total importations du Rhône et de la Garonne	11
Total des ressources en eau de la France	175

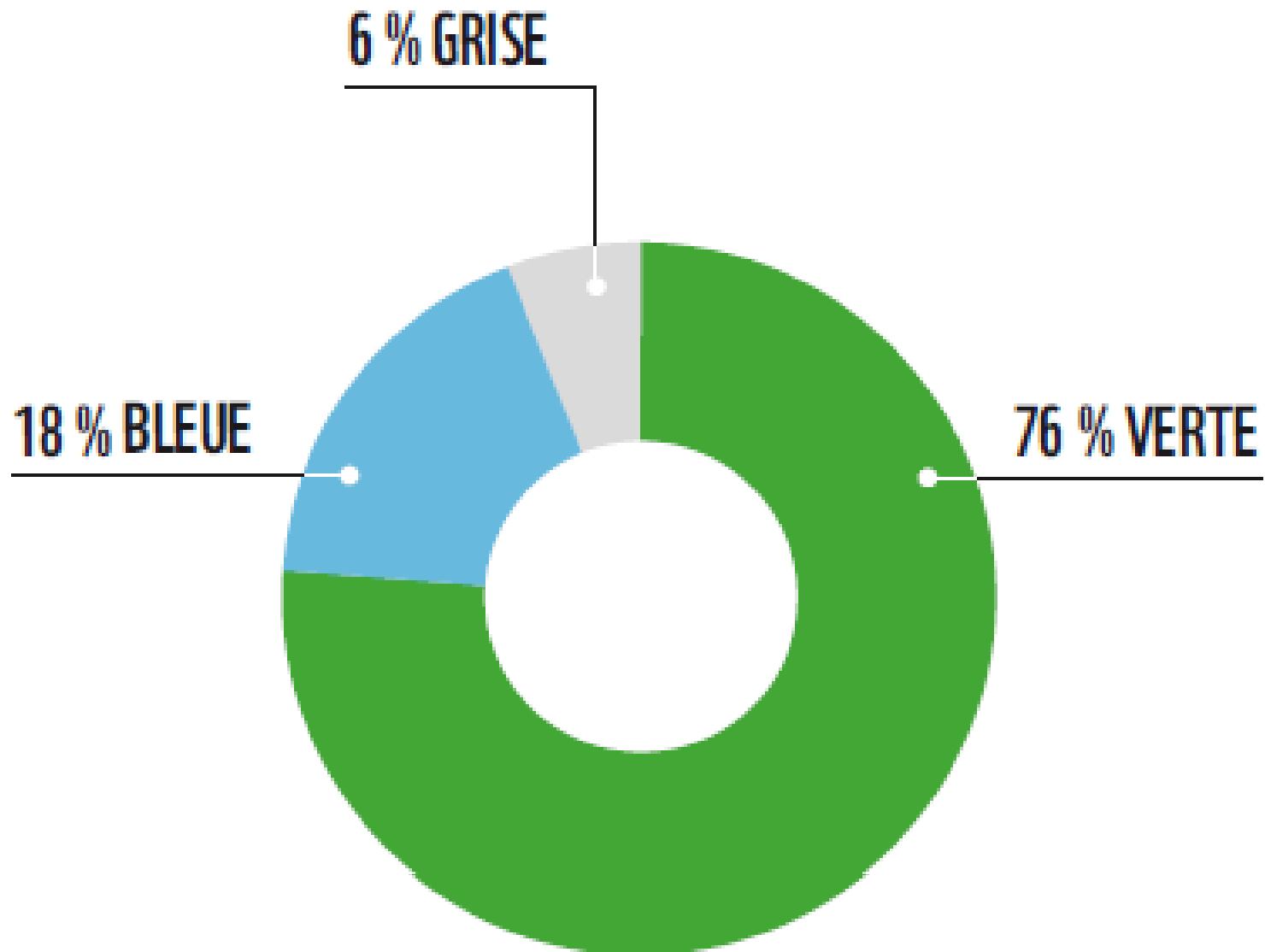
# Exemple d'empreinte eau



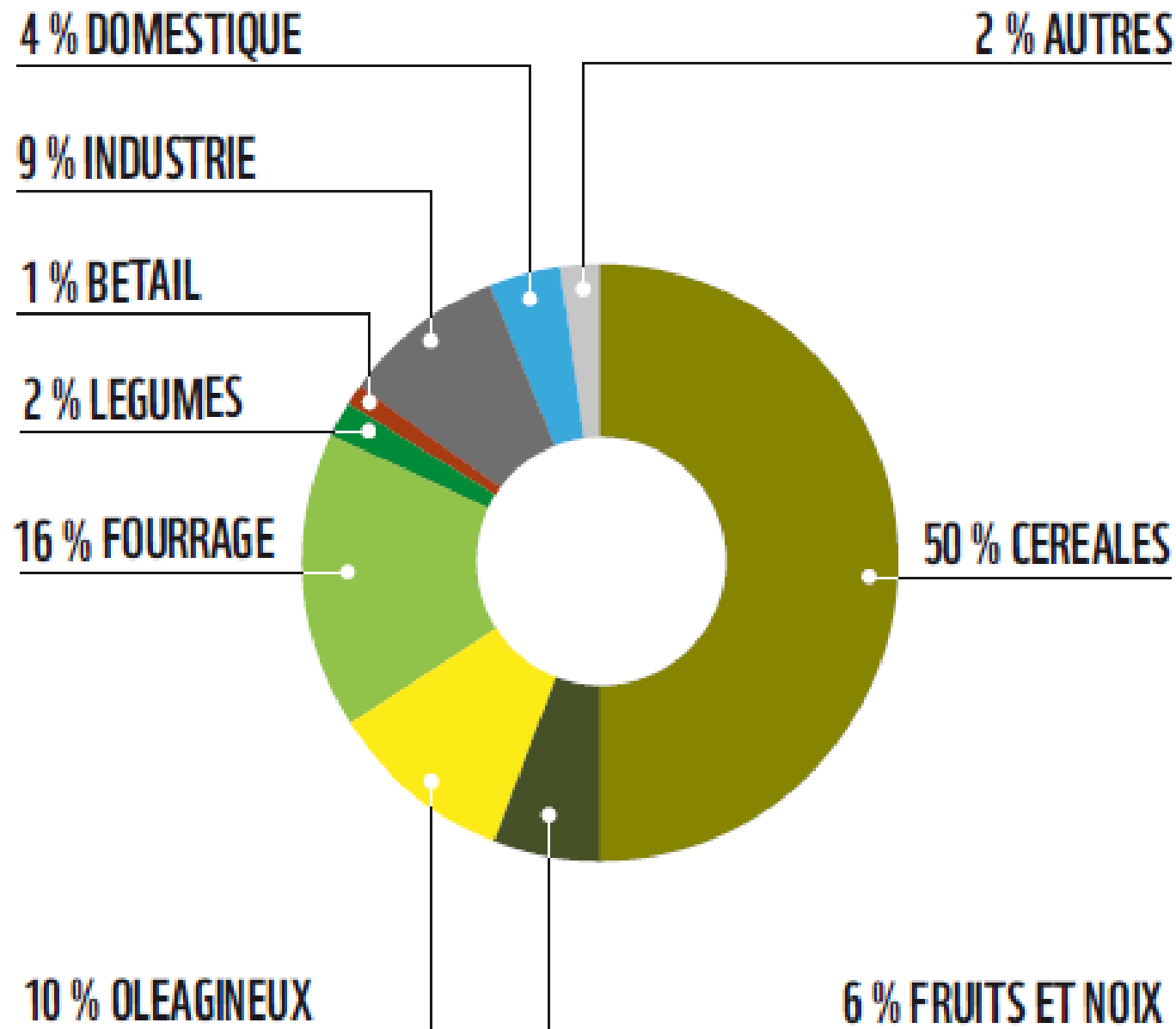
# L'empreinte eau, suite

- **l'empreinte eau verte** : c'est la consommation des eaux de pluie, notamment par évaporation dans les cultures agricoles ;
- **l'empreinte eau bleue** : c'est la consommation des eaux de surface et des eaux souterraines
- **l'empreinte eau grise** : c'est le volume d'eau douce requis pour diluer les polluants dans des proportions suffisantes pour que la qualité de l'eau corresponde aux normes en vigueur.

# L'empreinte eau de production

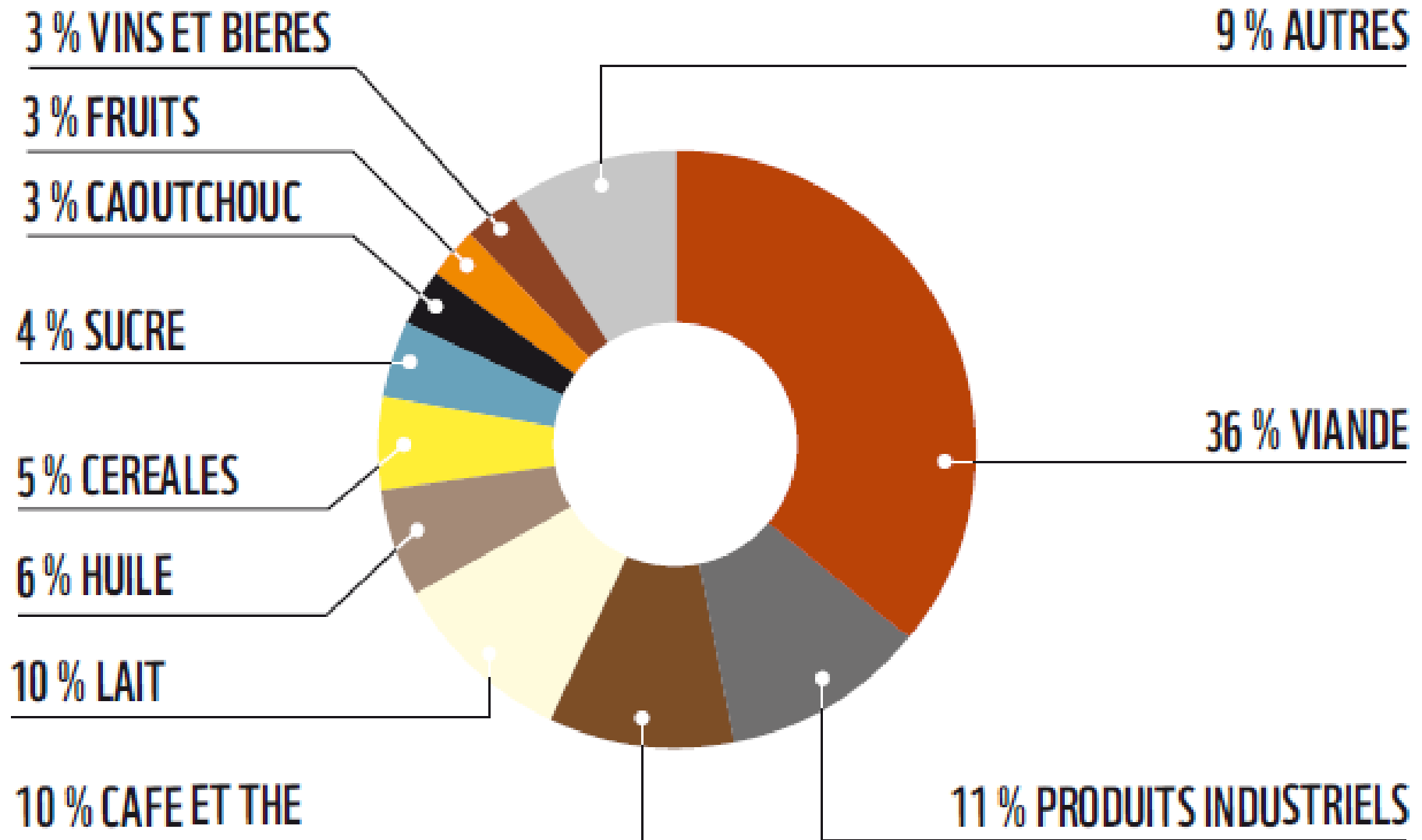


# L'empreinte eau de production



# **Empreinte eau de consommation**

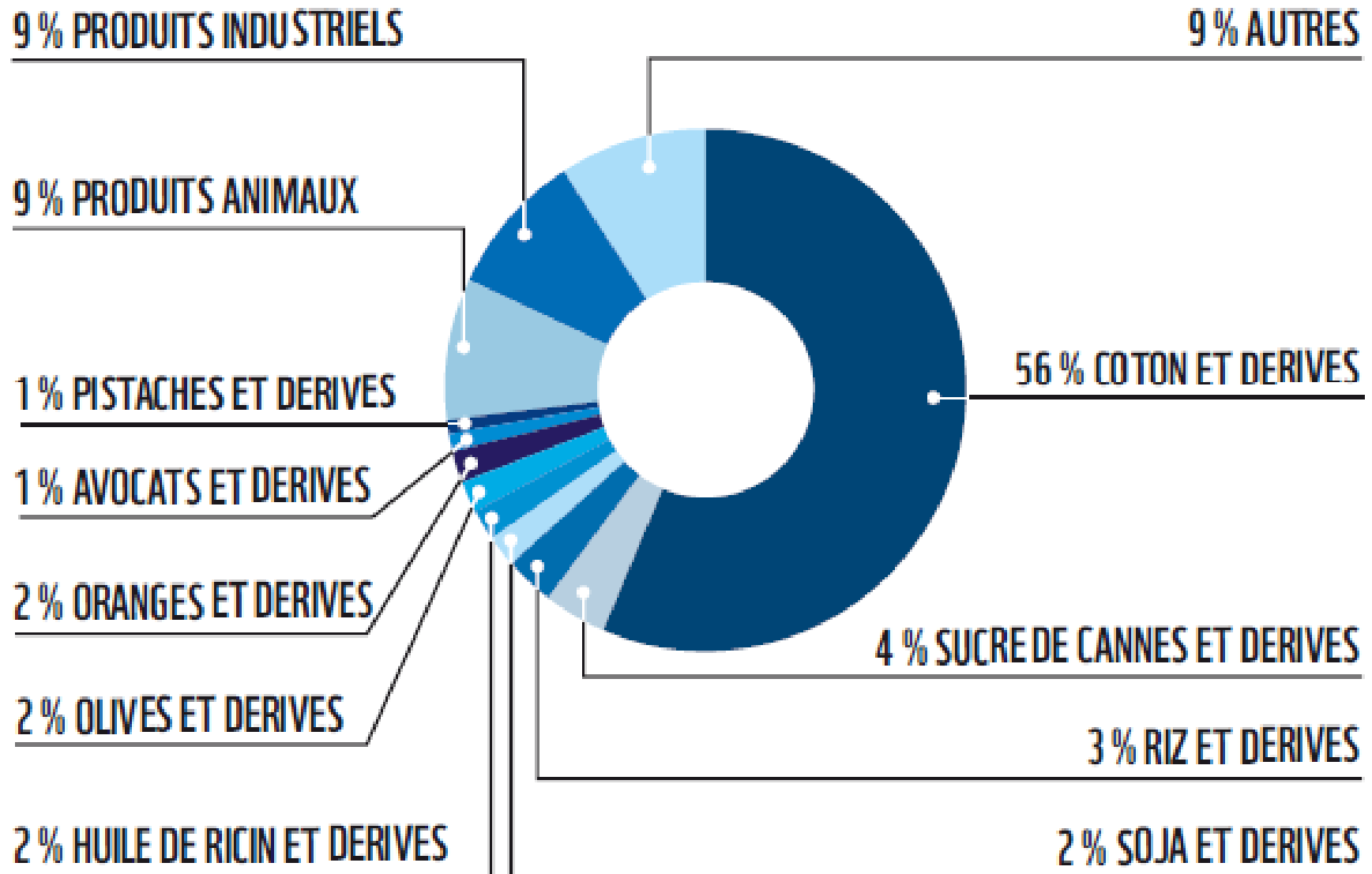
# L'empreinte eau de consommation





Type d'eau		Verte, km <sup>3</sup> /an	Bleue, km <sup>3</sup> /an	Grise, km <sup>3</sup> /an
Produits agricoles nationaux	agricoles	43,7	1,4	3,8
Produits agricoles importés	agricoles	36,7	4,6	2,1
Produits industriels nationaux	industriels		0,9	3,3
Produits industriels importé	industriels		0,6	6,3
Eau domestique			0,6	2,2
Total		80,4	8,1	17,7
Total Général		106,2 km <sup>3</sup> /an 47 % d'eau importée 76 % d'eau verte 87 % d'eau agricole		

# Importation d'eau bleue virtuelle



# L'empreinte eau mondiale

Empreintes planétaires (km <sup>3</sup> /an)	Cultures	Pâtures	Industrie	Eau domestique	Total	%
Eau verte	<b>5771</b>	<b>913</b>			<b>6684</b>	<b>74</b>
Eau bleue	<b>899</b>	<b>46</b>	<b>38</b>	<b>42</b>	<b>1025</b>	<b>11</b>
Eau grise	<b>734</b>		<b>362</b>	<b>282</b>	<b>1378</b>	<b>15</b>
Totale	<b>7404</b>	<b>959</b>	<b>400</b>	<b>324</b>	<b>9087</b>	
%	<b>81,5</b>	<b>10,5</b>	<b>4,4</b>	<b>3,6</b>		

Source : *The water footprint of humanity*, Hoekstra A., Mekonnen M.

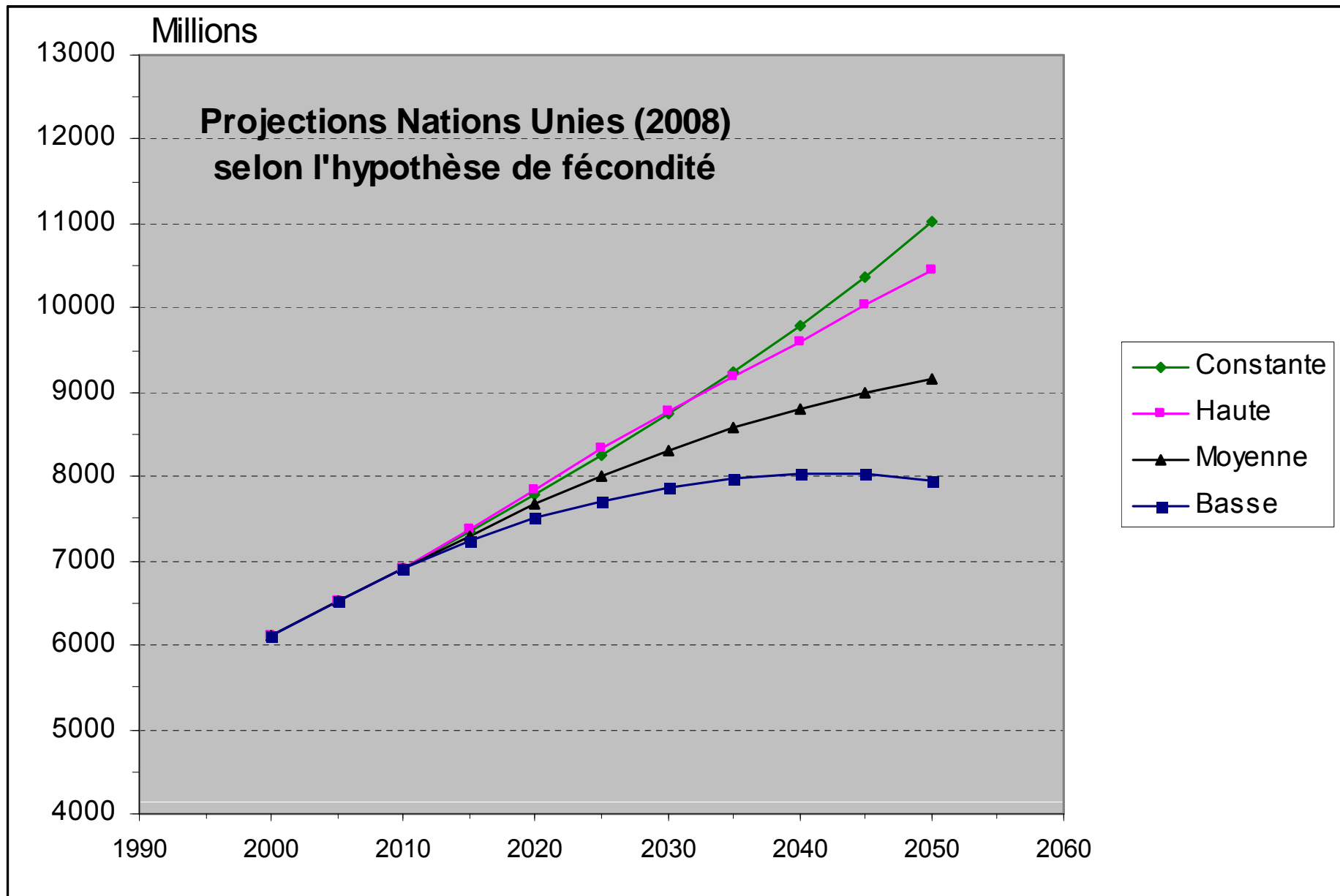
## **7. Demande mondiale en eau en 2050...**

# Démographie

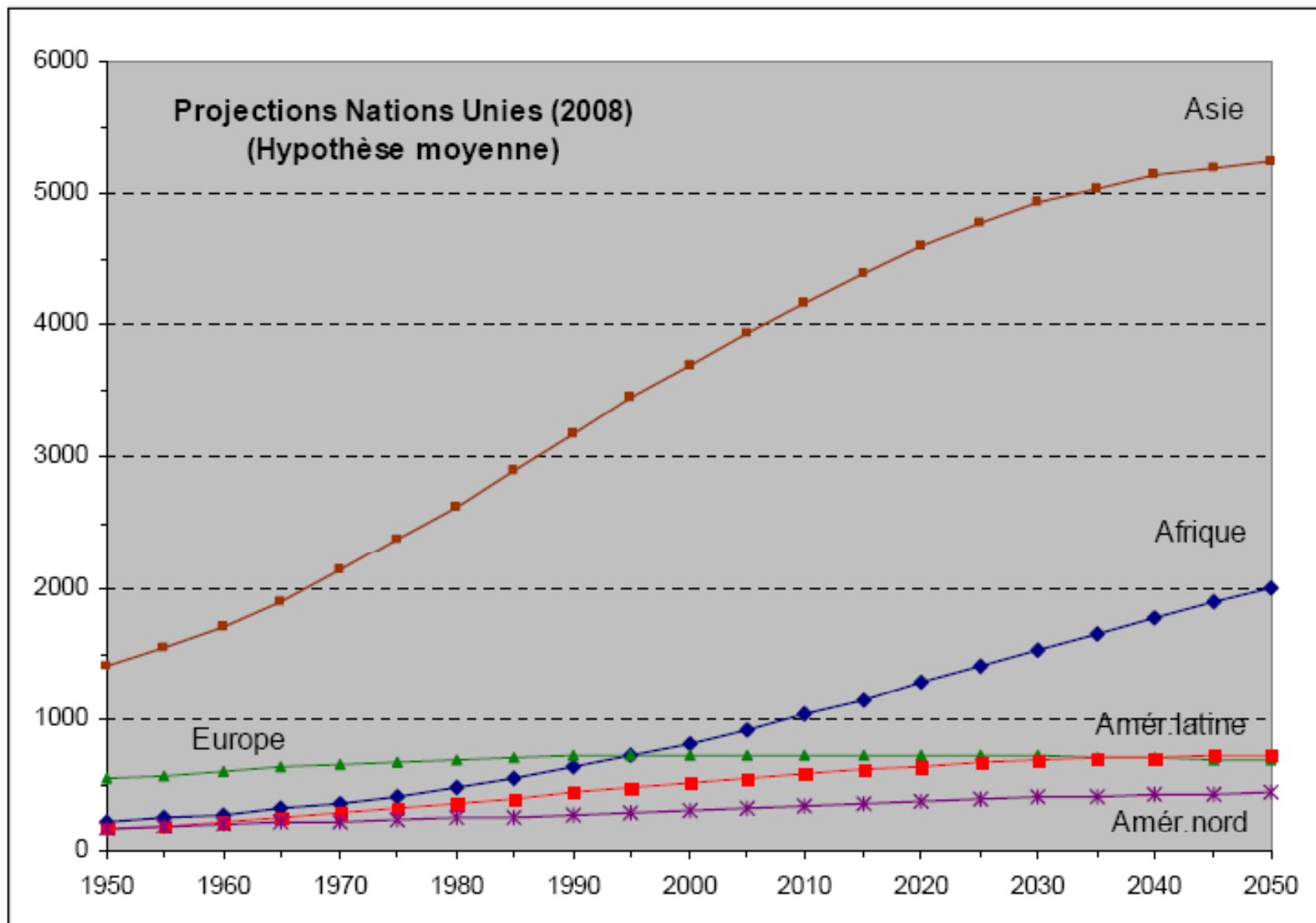
- Aujourd'hui, 7 milliards d'habitants
- Dont 856 millions sous-alimentés en 2003, ce chiffre diminuait depuis 50 ans, car la production montait plus vite que la consommation, mais s'est mis à remonter depuis 3-4 ans, 1 milliard en 2008-2010, plus en 2011 ???
- Nourris par :
  - **265 millions d'ha irrigués, (consommant 1 800 km<sup>3</sup>/an)**
  - **1 300 millions d'ha d'agriculture pluviale et des surfaces prairies-arbustes en pâture, 3 200 millions ha (consommant 6 330km<sup>3</sup>/an)**
  - **17% de surfaces irriguées produisent 40% de la nourriture**
- Le riz, le maïs et le blé produisent, à part égale, 60% de la production alimentaire (environ 700 million t/an chacun).
- Le riz et le maïs dépendent fortement de l'eau d'irrigation.



# Projections démographiques 2000-2050 (Nations-Unies, 2008)



## Populations des grandes régions du monde en 2000-2050 (Nations Unies 2008, Hypothèse moyenne)



# En 2050

- Environ 9 milliards d'habitants, cad ~ 70 millions de plus par an
- Il faut plus de production alimentaire pour les nourrir, et pour éradiquer la malnutrition actuelle (1 milliard de personnes); les changements d'habitudes alimentaires doivent aussi être pris :

<b>Produits végétaux</b>	<b>Eau consommée</b>	<b>Produits Animaux</b>	<b>Eau consommée</b>
Huile végétale	<b>5000</b>	Boeuf	<b>13,000</b>
Riz	<b>1500-2000</b>	Vollailles	<b>4,000</b>
Blé, céréales en C3	<b>1000</b>	Oeufs	<b>2,700</b>
Mais, céréales en C4	<b>700</b>	Lait	<b>800</b>
Agrumes	<b>400</b>		
Légumes	<b>200-400</b>		
Pommes de terre	<b>100</b>		

**Eau nécessaire (l/kg) pour produire les aliments (fraction consommée, pas en matière sèche)**

# Consommation alimentaire actuelle en kCal/jour par habitant (moyenne mondiale 3 000 kCal/j)

<b>Produits</b>	<b>Végétaux</b>	<b>Animaux</b>	<b>Total</b>
<b>Pays en développement</b>	<b>2 344</b>	<b>337</b>	<b>2 681</b>
<b>Pays en transition</b>	<b>2 235</b>	<b>671</b>	<b>2 906</b>
<b>Pays industrialisés</b>	<b>2 437</b>	<b>943</b>	<b>3 380</b>

# Nutrition...

- En 2005, il y avait 1,3 milliards de personnes en surpoids, dont 400 millions d'obèses; 800 millions vivent dans les PED...
- Si les tendances actuelles se poursuivent, il y aurait en 2030 : 3,3 milliards de personnes en surpoids ou obèses, 80% dans les PED...
- Conséquences sur la santé: maladies cardiovasculaires, cancer colorectal...
- Cause : excès d'huiles végétales, de sucres simples, de produits carnés et de confiseries...

**Facteur d'augmentation de la consommation  
d'équivalents-céréales, 2050/2000  
(avec changement des habitudes alimentaires)  
Millions de tonnes d'équivalents céréales par an**

Regions	Asie	Améri que Latine	Moyen Orient, Afr. du Nord	Afrique Sub- Sahari enne	OECD	Russi e Et CEI	Total
<b>Multiplicateur des besoins 2050/2000</b>	2.1	1.9	2.1	3,2	1,27	1,26	1,85
<b>Production 2000, Mt</b>	1310	350	220	250	1020	190	3340
<b>Production nécessaire en 2050, Mt</b>	2720	665	455	800	1300	240	6180

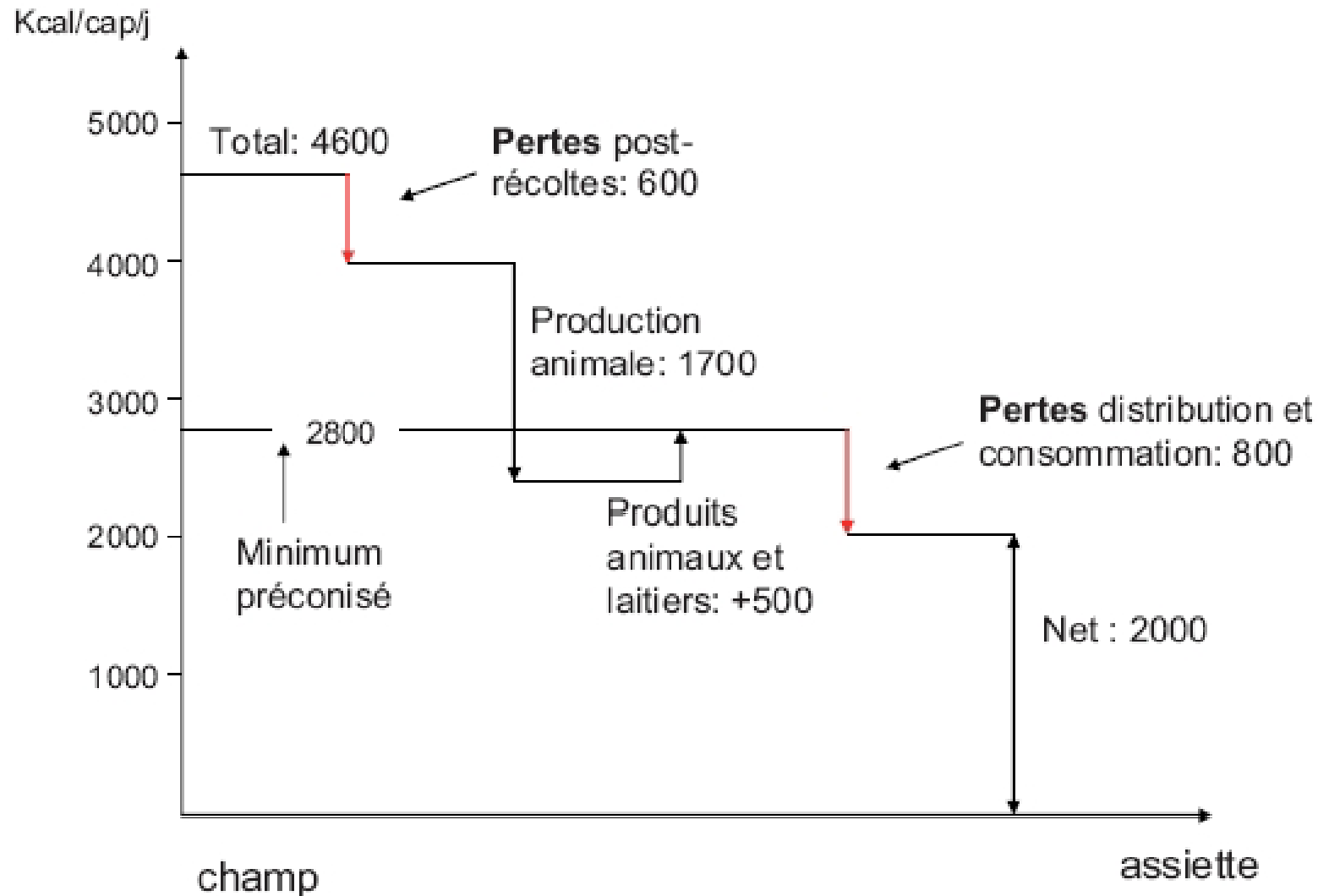
D'après P. Collomb (1999), M. Griffon (2006) et Agrimonde (2009)



# Que peut-on faire ?

- Il faudrait utiliser en plus environ **4 500 km<sup>3</sup>/an d'eau**
- Réduire les pertes et le gaspillage (~30% de la production)...
- Réduire la consommation de produits d'origine animale...
- Augmenter la productivité, les rendements agricoles...
- Augmenter les surfaces irriguées...
- Augmenter les surfaces d'agriculture pluviale...

# Pertes alimentaires



Source SIWI, 2008

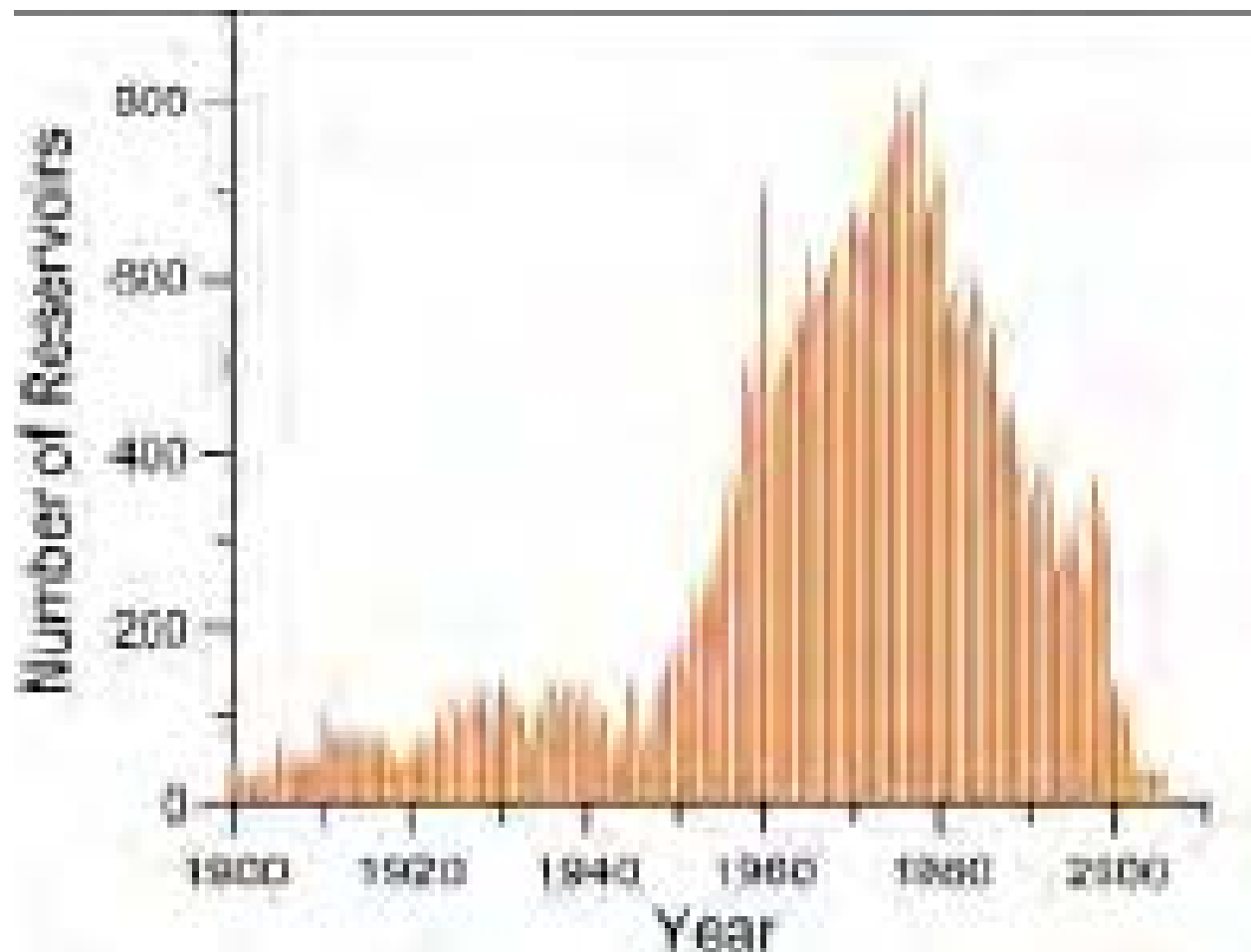
# Augmenter la productivité...

- **Efficacité d'utilisation de l'eau...**
- **Développement de nouvelles variétés (sélection génomique, OGM ?), par exemple pour des conditions semi-arides et des sols salés**
- **Augmenter l'emploi de fertilisants et phytosanitaires dans les PED...**
- **Nourrir la planète avec du pur « bio » est hélas impossible; il faut faire de « l'écologiquement intensif »..**
- **Traction animale, mécanisation...**
- **La production d'eau par dessalement n'est pas une options significative pour la production vivrière ... trop chère et énergétivore**
- **+ 30% ?????**

# Agriculture irriguée...

- Aujourd'hui 265 million ha
- Rythme actuel d'augmentation: 1,34 million ha/a
- En 2050, à ce rythme, il y aura 331 millions ha
- Consommation d'eau en plus 500 km<sup>3</sup>/a
- **Très insuffisant...comparé aux besoins de 4.500 km<sup>3</sup>/a nécessaires ....**
  - **L'augmentation de l'agriculture pluviale semble être la seule solution**

# Construction de barrages dans le Monde



**Agriculture pluviale....**

## Surface disponible pour l'agriculture en 2000 (10<sup>6</sup>ha)

	Monde	Asie	Améri- -que Latine	Moyen Orient Afr. Nord	Afrique Sub- Sahari enne	OCDE	Russie + CEI
Surface cultivée 2000 (a)	1600	439	203	86	228	387	265
Surface Cultiva ble (b)	4400 (IIASA) 4152 (FAO)	586	1066	99	1031	874	497
a/b	39%	75%	19%	87%	22%	44%	53%

NB : surfaces des continents : 13,1 Milliards d'ha hors glaces



**Scenario 1: Tendancier; peu de changements technologiques.  
Augmentation de l'agriculture pluviale (Griffon, 2006)**


	Asie	Am. Latine	M.O, Af.N	Afr.sub-sah
<b>A: augmentation (10<sup>6</sup>ha) de l'agr. Pour les aliments en 2050</b>	+50 (100 pour les aires protégées)	+185	0 Tout l'espace utilisé	+600 (200 pour les aires réservées)
<b>B: rendements supposés</b>	+50% (possible mais difficile) 4t/ha=>6t/ha	Sans changements 1.35t/ha	Difficile d'augmenter les rendements	+40% les bas rendements actuels (1.15t/ha) pourraient atteindre 1.60t/ha
<b>C: augmentation de la production (Mt)</b>	≈+1200	+250	0	+550
<b>D: Production totale attendue en 2050 (prod 2000+C)</b>	1960	665	155	800
<b>E: Besoins en 2050</b>	2720	665	455	800
<b>F:Deficit en 2050 (D-E)</b>	<b>-760</b>	<b>0</b>	<b>-300</b>	<b>0</b>
<b>Surface totale disponible avec aires protégées</b>	<b>65</b>	<b>480</b>	<b>0</b>	<b>293</b>

Scenario 3  
(Griffon, 2006, Agrimonde, 2009)

	Asie	Améri. Latine	Moyen Or. Afr. Nord	Afrique Sub- Sahar.	OCDE	Rus. et CEI	Total
Besoin	2720	665	455	800	1300	240	6180
Produc tion locale	2060	1270	170	800	1545	335	6180
Déficit /excéd ents	-660	<b>+605</b>	-285	0	+245	+95	0

Scenario 3  
(Griffon, 2006, Agrimonde, 2009)

	Asie	Améri. Latine	Moyen Or. Afr. Nord	Afrique Sub- Sahar.	OCDE	Rus. et CEI	Total
Besoin	2720	665	455	800	1300	240	6180
Produc tion locale	2060	1270	170	800	1545	335	6180
Déficit /excéd ents	-660	+605	-285	0	+245	+95	0



**Commerce intensif “d’eau virtuelle”**

# *Eau virtuelle*

## *bilans pour 1997-2001*



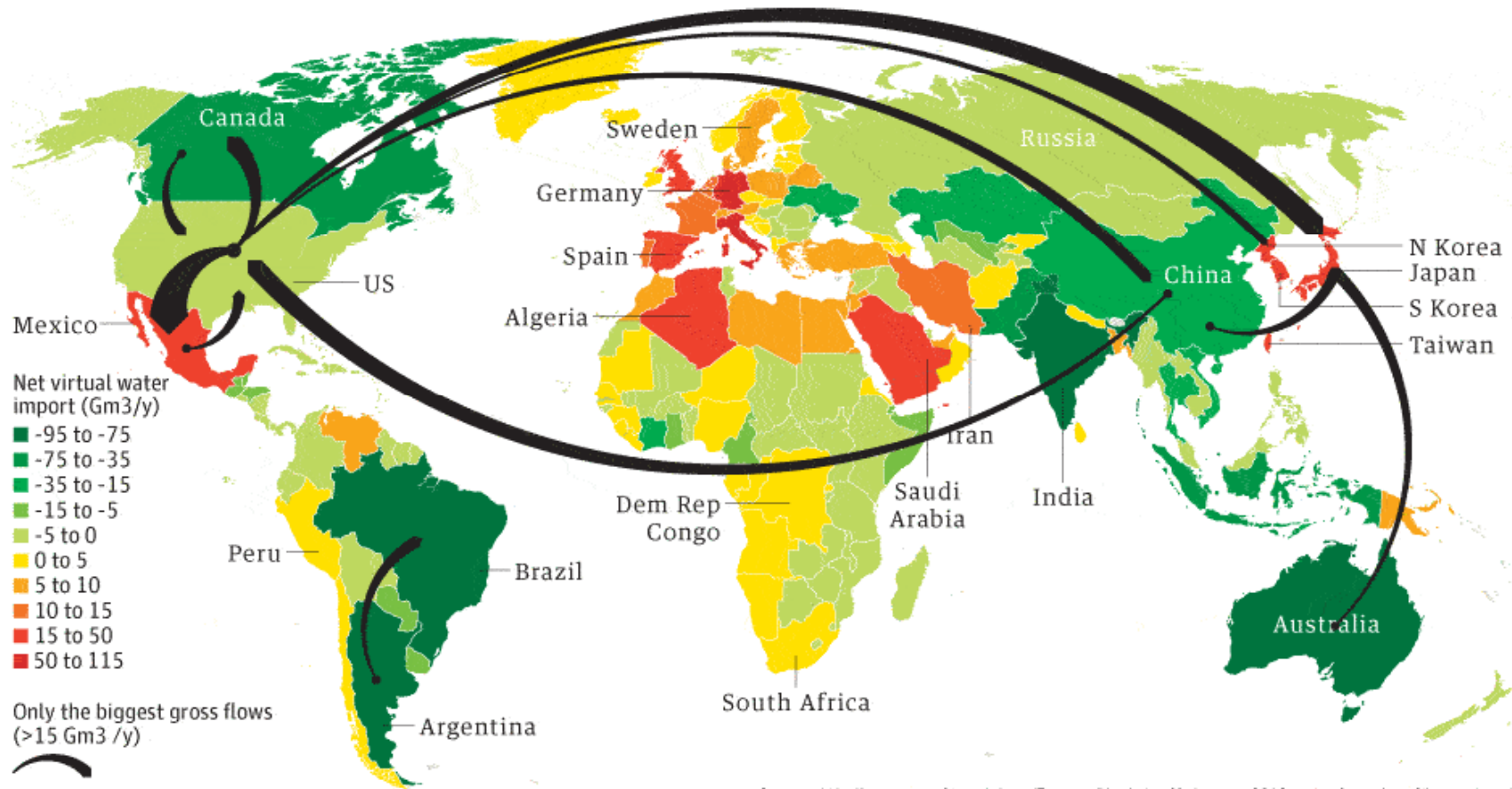
Source : A.K. Chapagain et A.Y. Hoekstra (2004). *Water Footprints of Nations*. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.

\* flèches pour flux > 10 Gm<sup>3</sup>/an

# Flux internationaux d'eau virtuelle

## Virtual water balance

The exports and imports of water through food and commodities, 1996-2005



# Déficits/excédents de la production alimentaire en 2003 et 2050

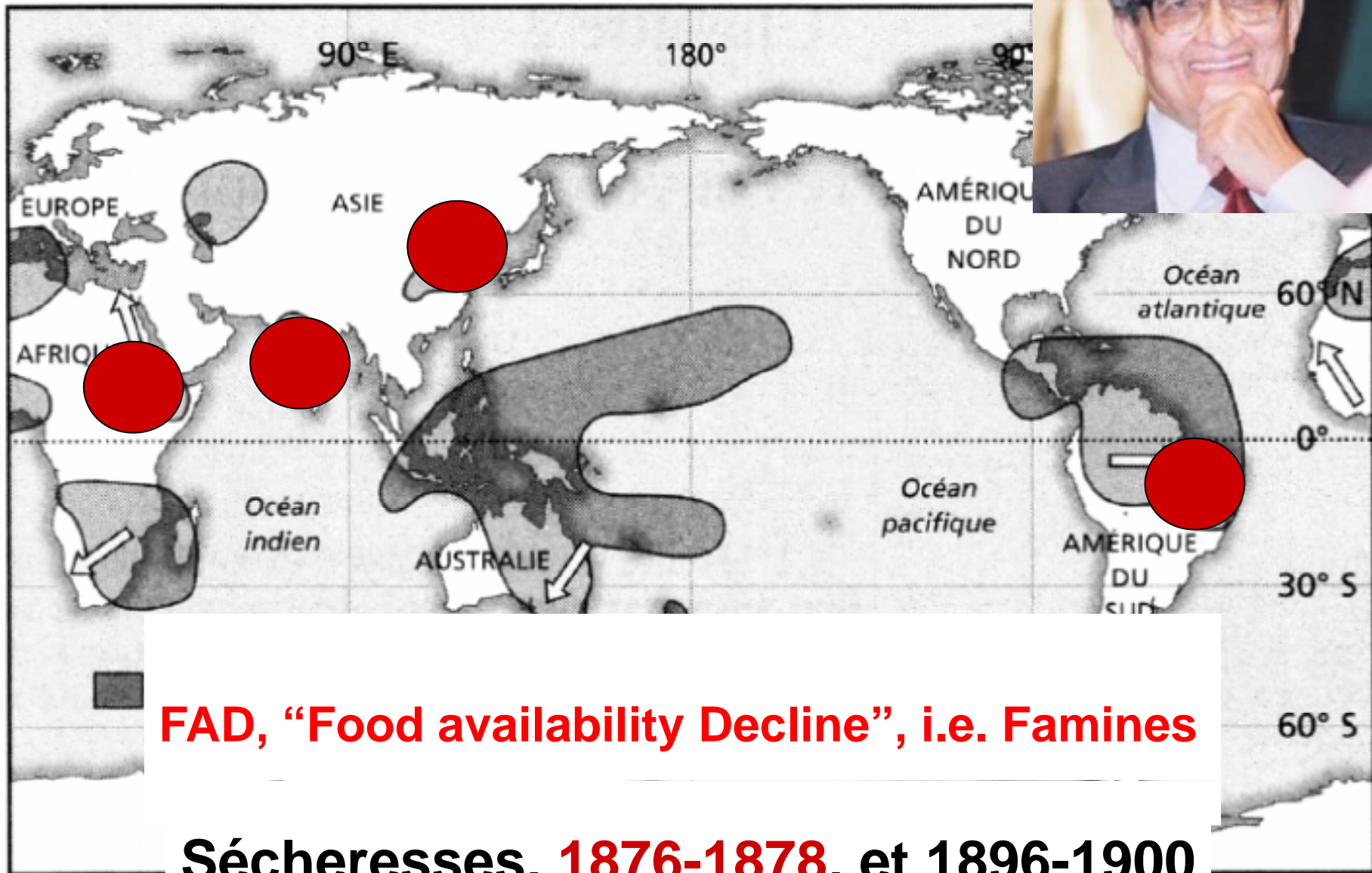
Régions	Agrimonde 2003	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Afrique du Nord – Moyen Orient	- 32 %	- 52 %	- 63 %
Afrique subsaharienne	- 12 %	- 18 %	- 53 %
Amérique Latine	+ 11 %	+ 26 %	+32 %
Asie	- 2 %	- 4 %	- 19 %
Ex-URSS	- 2 %	+ 10 %	+ 77%
OCDE-1990	+ 6 %	+ 19 %	+ 46 %

# Tendances actuelles...

- Achats massifs de terres arables (en Afrique, Madagascar, Amérique du Sud...) par des investisseurs étrangers, par exemple les Banques Arabes du Golfe au Mozambique....le Japon... la Corée...
- En Ukraine, en 2010, les terres arables sont cotées en bourse...



**Prof. Amartya SEN, Prix Nobel d'Economie**



**FAD, "Food availability Decline", i.e. Famines**

**Sécheresses, 1876-1878, et 1896-1900**

# Mortalité due au “FAD”

<b>Inde</b>	1876-1879	10 millions
	1896-1902	20 millions
<b>Chine</b>	1876-1879	20 millions
	1896-1900	10 millions
<b>Brésil</b>	1876-1879	1 million
	1896-1900	?
<b>Total</b>		30 à 60 millions

**NB : Population Mondiale : 1 milliard en 1820, 2 milliards en 1925....**

**~1,5 milliards en 1875, 60 millions = ~4% de la population mondiale**

# 8. Conclusions :

- Il faudrait défricher 0,3 à 1 milliard d'ha supplémentaires pour l'agriculture pluviale d'ici 2050, surtout en Amérique du Sud et en Afrique, aux dépens de la biodiversité et de l'environnement.... Gains de terre possible au Nord par dégel des sols gelés (160 millions d'ha)...
- Plus avec la bioénergie...
- L'Asie et le Moyen-Orient – Afrique du Nord vont dépendre fortement de “l'eau virtuelle”, perte de 110 millions d'ha de terres cultivables...
- La gestion des ressources en eau et en sol devrait se faire à l'échelle mondiale :
  - allocation des ressources hydriques entre pays dépendants,
  - allocation optimale des cultures entre agriculture pluviale et irriguée,
  - amélioration des rendements des cultures,
  - gestion des crises en cas de sécheresse...

# Considérations économiques...

- Importance considérable du commerce international de nourriture, qu'il faudrait pouvoir réguler (empêcher la spéculation); mais il faut à la fois le libéraliser...
- Empêcher les mesures de restriction de l'exportation des denrées alimentaires...
- Gravité de la "volatilité" des prix agricoles, émeutes de la faim, révoltes...
- Nécessité de protéger l'agriculture paysanne des PED, qui ne peut être mise en concurrence avec l'agriculture mécanisée
- Perspectives inquiétantes...

**9.**

**Et les sols ?**

**Les sols sont le facteur limitant  
de la production alimentaire,  
pas l'eau...**

**Il n'y a pas globalement de crise  
de l'eau sur Terre, mais une forte  
tension sur les sols...**

# Les Sols...

- Dans les sociétés industrielles, **urbanisation à un rythme de un département français par an** au niveau de l'union européenne (constructions de maisons, d'usines, de routes, d'infrastructures).
- Dans les **pays en développement**, l'augmentation de la **production agricole par intensification de l'agriculture pluviale** menace des zones encore peu anthropisées (**bassin amazonien, cuvette du Congo**) qui sont des **réserves de biodiversité** et qui jouent un rôle important dans le climat de la planète. Les **sols des régions tropicales étant très pauvres chimiquement et fragiles physiquement**, l'intensification risque de les dégrader de manière irréversible. \*
- Salinisation : 50 millions d'ha seraient déjà perdus à ce jour...

**Roland Poss, Président Ass. Fr. Etude du Sol**

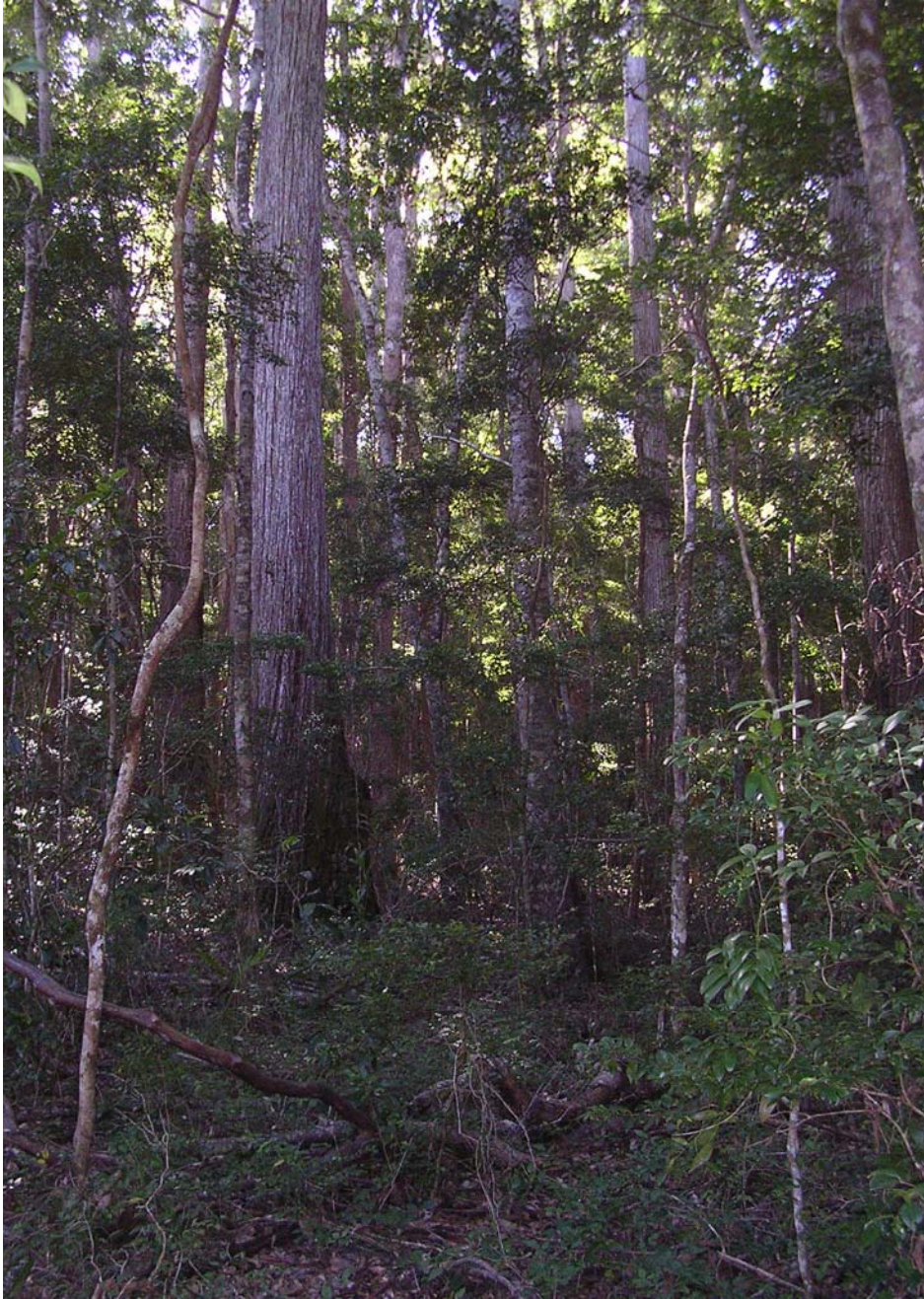


# 10. Et les écosystèmes ?













To make way for an oil palm plantation, land in Sarawak, in Malaysia Borneo, is stripped of trees, then burned. Palm oil is a prime export of Malaysia and Indonesia, and global demand is growing.

**Autant en emporte le vent**







Gone with the wind...

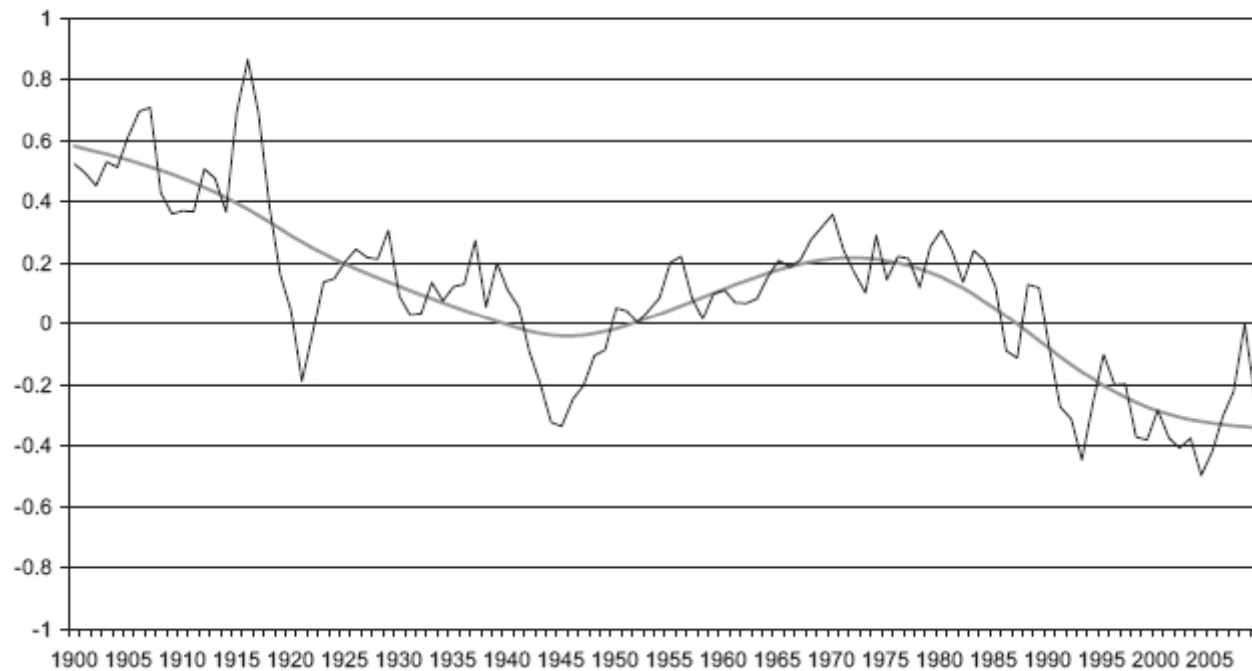




**Delta de l'Okavango (Namibie)  
Kinzelbach, 2006**

**Merci beaucoup... !**

# Prix agricoles depuis 1900



**Figure 6.1**

*Évolution de l'indice des prix réels des produits alimentaires (logarithme).*

**Que se passe-t-il si les sols arables  
sont aussi utilisés pour la production  
de biomasse énergétique ?**

## Scenario 5: Combinaison nourriture et énergie pour 2050 (Griffon, 2006)

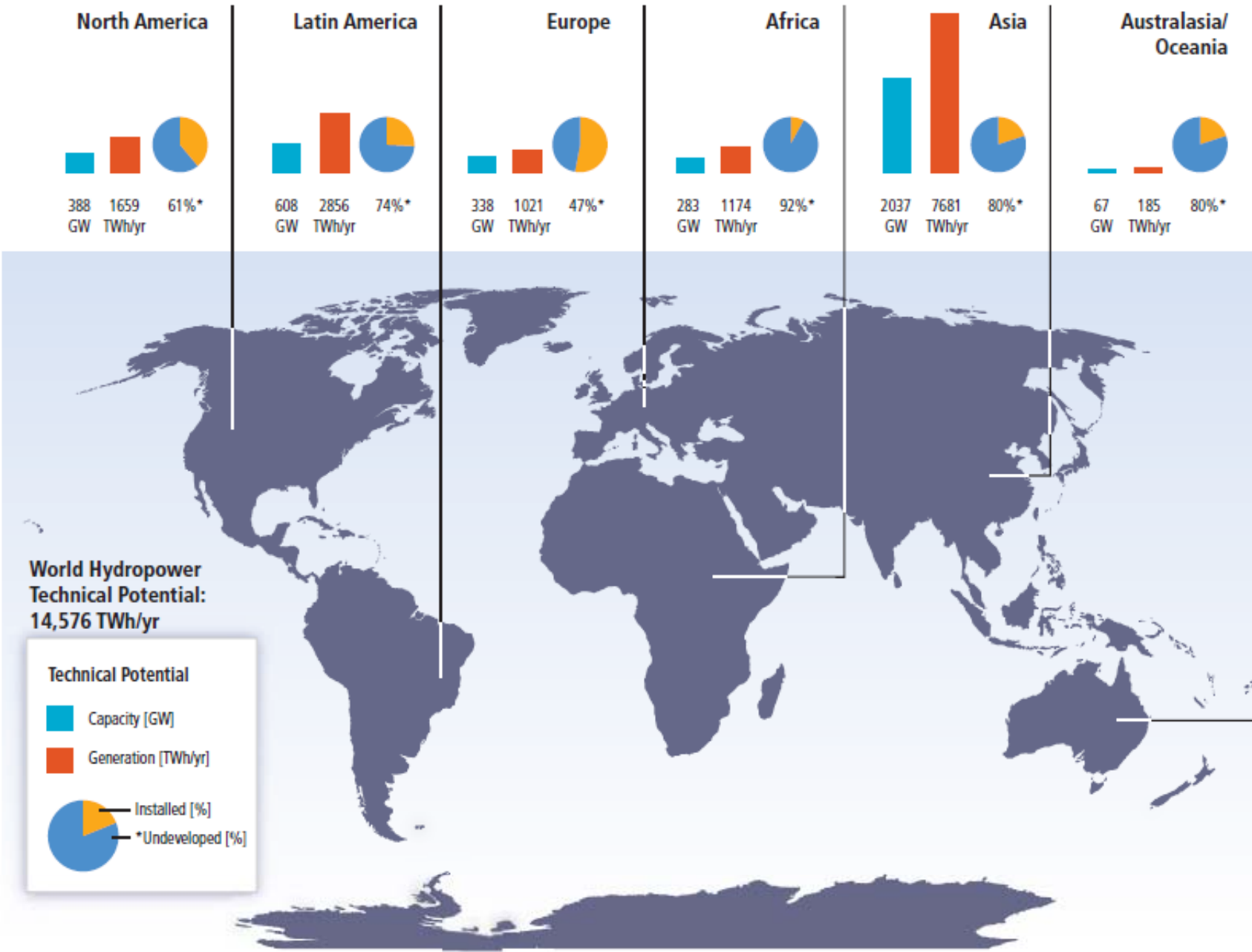
	Asie	Amérique Latine	Moy. Ori. Afr. Nord	Afrique Sub-Sahar.	OCDE	Russie et ass.	Total
Surface Cultivable	545	1026	89	1011	954	5777	4202
Zones Protégées	40	260	0	173	347	172	992
Cultures Vivrières	480	546	89	718	457	335	2625
Cultures irrigués	250	25	49	17	24	45	410
Agriculture pluviale	215	630	50	710	410	200	2215
Cultures Énergétiques	25	220	0	120	150	70	585

## Scenario 5: Combinaison nourriture et énergie pour 2050 (Griffon, 2006)

	Asie	Amérique Latine	Moy. Ori. Afr. Nord	Afrique Sub-Sahar.	OCDE	Russie et ass.	Total
Surface Cultivable	545	1026	89	1011	954	5777	4202
Zones Protégées	40	260	0	173	347	172	992
Cultures Vivrières	480	546	89	718	457	335	2625
Cultures irrigués	250	25	49	17	24	45	410
Agriculture pluviale	215	630	50	710	410	200	2215
Cultures Énergétiques	25	220	0	120	150	70	585

**Production d'énergie, à 3,2 tep/ha.an (2 à 5) : 1,85 milliard de tep/an (54% production actuelle d'hydrocarbures, mais 8% des besoins d'énergie de 2050, 22 milliards de tep/an)**





**World Hydropower  
 Technical Potential:  
 14,576 TWh/yr**

**Technical Potential**

- Capacity [GW]
- Generation [TWh/yr]
- Installed [%]
- \*Undeveloped [%]



Type de centrale	Procédé de refroidissement	Condensation de la vapeur		Autres usages*
		Prélèvements	Consommation	
Combustibles Fossiles et Biomasse	Cycle ouvert	76 – 189	1,1	0,1
	Cycle fermé**	1,1 – 2,3	1,1 – 1,8	
	Air sec	0	0	
Nucléaire	Cycle ouvert	95 – 227	1,5	0,1
	Cycle fermé	1,9 – 4,2	1,5 – 2,7	
	Air sec	0	0	
Gaz Naturel Cycle combiné	Cycle ouvert	28,4 – 75,7	0,4	0,03 – 0,04
	Cycle fermé	0,9	0,7	
	Air sec	0	0	
Gazéification Cycle combiné	Cycle fermé	0,9	0,8	0,49 – 0,53
Géothermie haute température	Cycle fermé	7,6	5,3	
Energie solaire concentrée, paraboles	Cycle fermé	2,9 – 3,5	2,9 – 3,5	0,03
	Air sec***	0	0	0,3
Energie solaire concentrée, Tour	Cycle fermé	2,8	2,8	0,03
	Air sec***	0	0	0,34

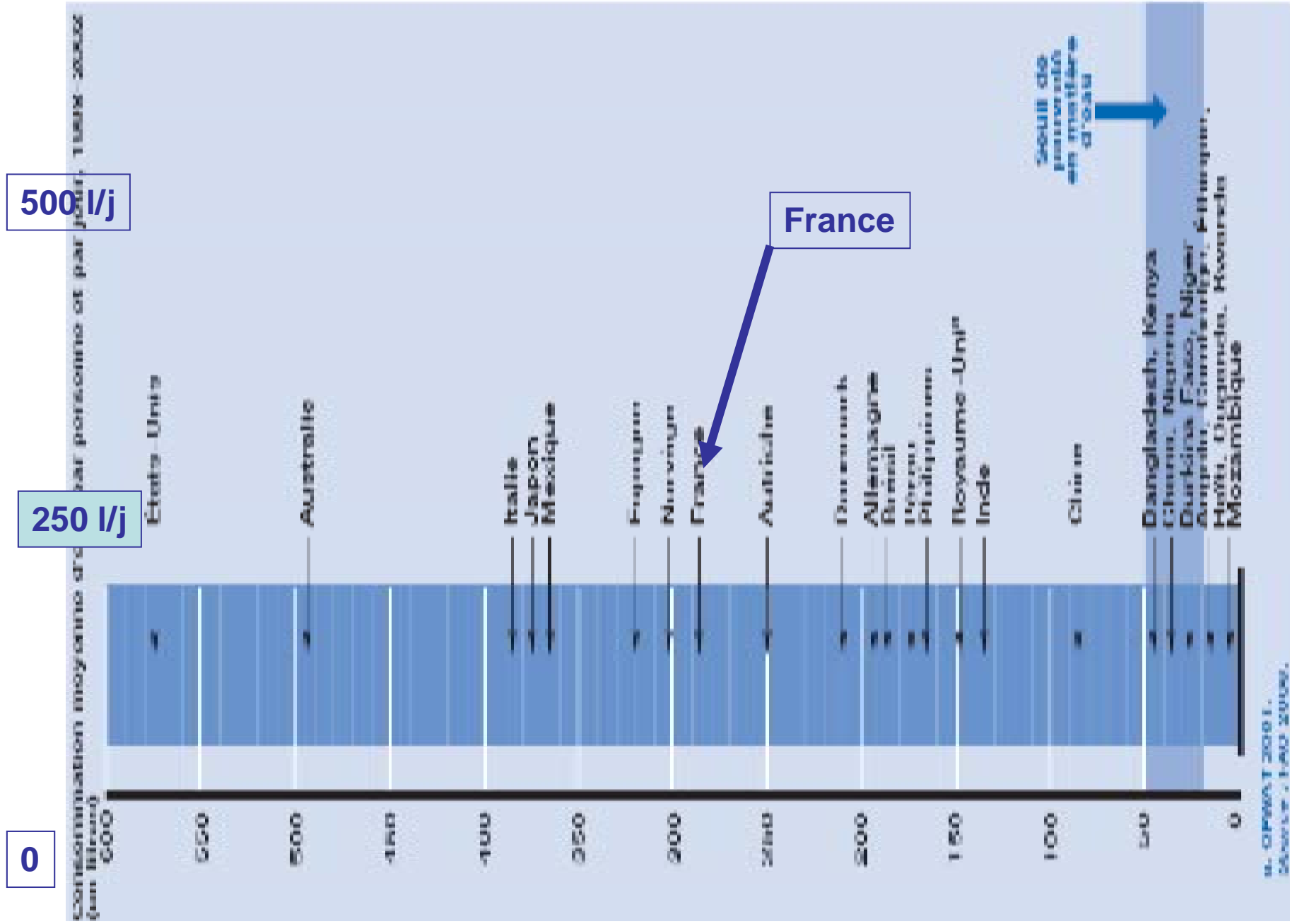
Fig. 1 – Besoin en eau des unités de production d'électricité pour différentes sources d'énergie, en m<sup>3</sup>/MWh. US Department of Energy, 2006.

\* Les autres usages comprennent par exemple l'eau de refroidissement des turbines, le lavage des équipements, le traitement des effluents, les toilettes... \*\* Tous les circuits fermés concernent ici les tours de refroidissement, pas les bassins. \*\*\* Les refroidissements à l'air sec pour le solaire à concentration utilisent très peu d'eau ■

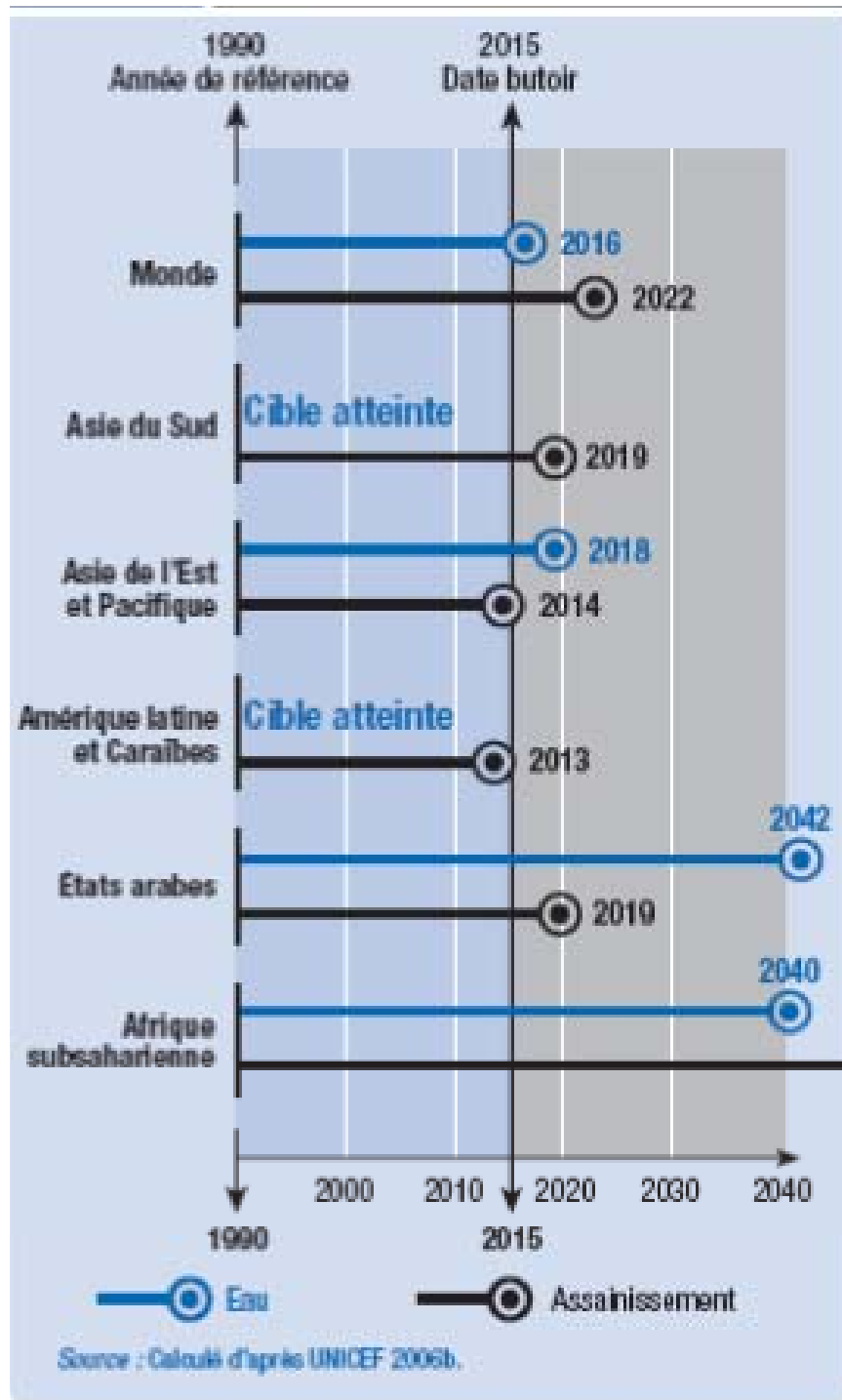
**En France, la capacité installée est de 25 GW, soit 20% de la capacité totale de production électrique installée ; la production annuelle moyenne varie entre 56 et 78 TWh selon les années et leur hydraulité, soit en moyenne 67 TWh, c'est à dire 12% de la production électrique nationale, (35 TWh/an pour le fil de l'eau, 30 TWh/an pour les lacs, et 5 TWh/an pour le pompage-turbinage). Le Grenelle de l'Environnement envisageait une augmentation de la production d'énergie hydraulique en France de 7 TWh/an en 2020 (sur un potentiel théorique à équiper de 30 TWh/an), ramenée à 3 TWh/an par le gouvernement pour concilier d'autres objectifs environnementaux du Grenelle.**

**Il existe probablement en France entre 2500 et 3000 centrales hydroélectriques, mais la plupart de celles de moins de 50 kW sont inconnues des recensements de l'Observatoire de l'énergie. Une centaine ont une puissance maximale de plus de 50 MW, mais elles représentent les trois quarts de la puissance hydraulique et fournissent les deux tiers des 67 TWh nets productibles annuellement. A l'autre bout du spectre, les 1600 petites centrales hydrauliques soumises à autorisation recensées par l'Observatoire de l'énergie représentent une puissance installée de 1,2 GW pour une production annuelle moyenne de 5 TWh. A noter que ces chiffres ne comprennent pas les perspectives prometteuses de l'hydroélectricité marine, notamment les hydrolennes qui font actuellement l'objet de recherches et d'expérimentation.**

# **10. L'eau domestique**



**Consommation quotidienne d'eau domestique, 2006**

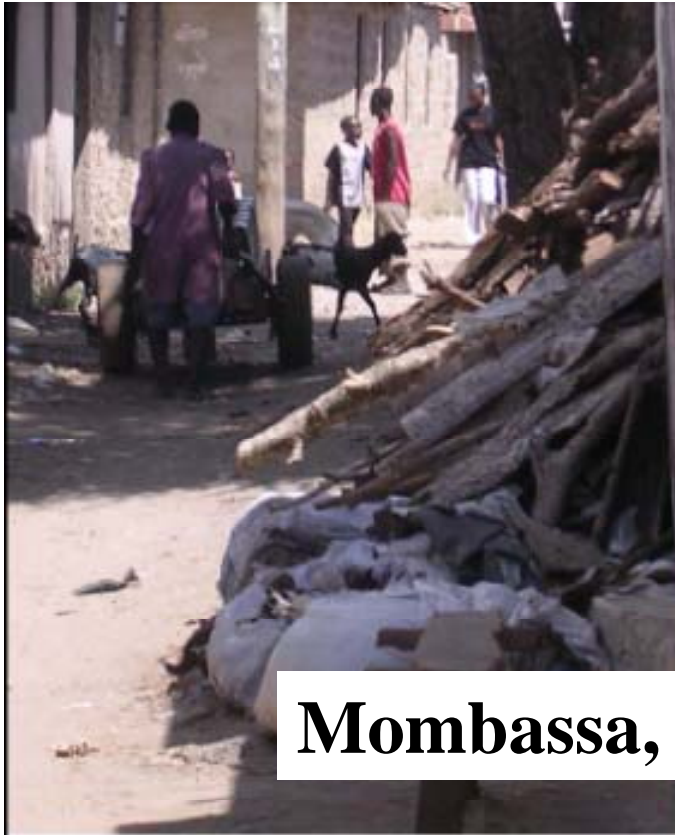


## Objectifs du Millénaire :

Réduction par deux en 2015 de la non accessibilité à l'eau potable (1 milliard d'habitants en 2000)

Réduction par deux en 2015 de la non accessibilité à l'assainissement (2,6 milliards d'habitants en 2000)

(Nations Unies, 2006)



**Mombassa, Kenya, Decembre 2009...**







**Prix de l'eau : 0.40 € pour 20 litres “eau potable” (20 €/m<sup>3</sup>)  
0.03 € pour 20 litres “eau de lavage” (1,5 €/m<sup>3</sup>)**







**A l'échelle mondiale : 5 milliards cas de diarrhée par an  
400 million de personnes affectées en permanence**



# Maladies Hydriques

- Diarrées : 1.8 million morts/an, principalement des enfants de moins de 7 ans, 45% Afrique Sub-Saharienne, 40% Asie du Sud, 15% reste du monde
- 2<sup>ème</sup> cause de décès après les maladies respiratoires diseases (2 million), et avant la Malaria (0.9 million), la Rougeole (0.4 million) et le SIDA (0.35 million)

# Urban growth, climate change, and freshwater availability

**Proceedings of the National Academy of Sciences (US)  
February 2011**

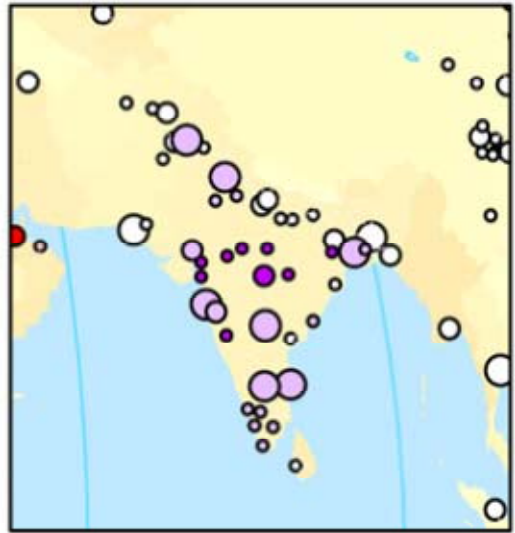
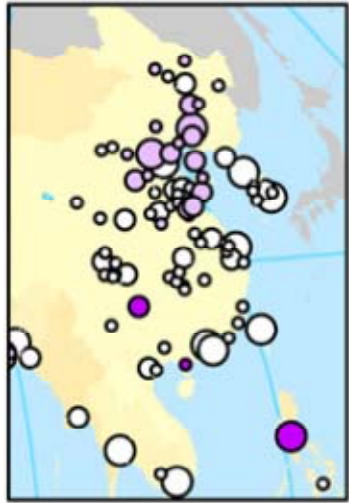
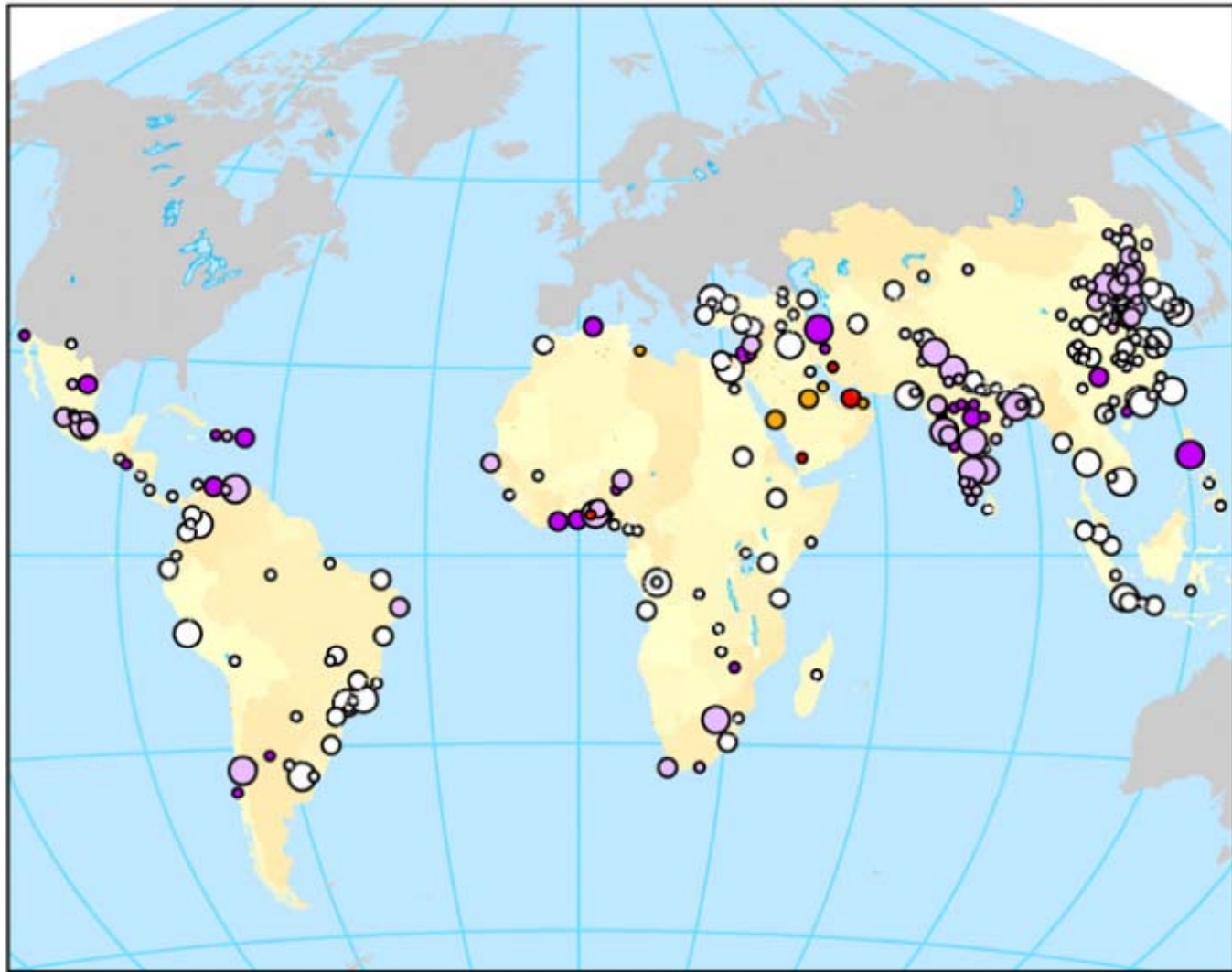
**Robert I. McDonald<sup>a,1</sup>, Pamela Green<sup>b</sup>, Deborah Balk<sup>c</sup>, Balazs M. Fekete<sup>b</sup>, Carmen Revenga<sup>a</sup>, Megan Todd<sup>c</sup>, and Mark Montgomery<sup>d</sup>**

a: The Nature Conservancy, Worldwide Office, Arlington, VA 22203;

b: City University of New York (CUNY) Environmental Cross-Roads Initiative and City College, New York, NY 10031;

c: CUNY Institute for Demographic Research and Baruch College, New York, NY 10010;  
and dPopulation Council and Economics Department, Stony Brook University, Stony Brook, NY 11794-4384



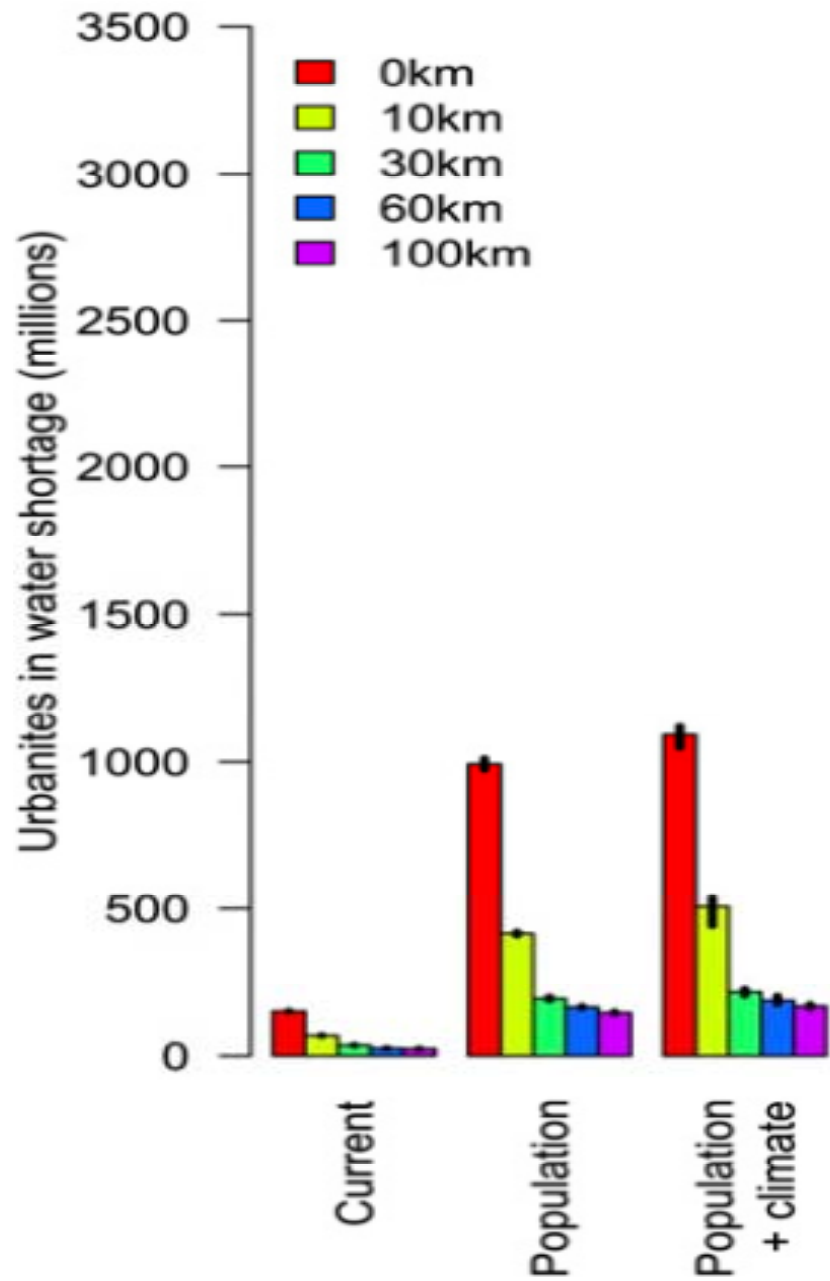


**Population (2000)**

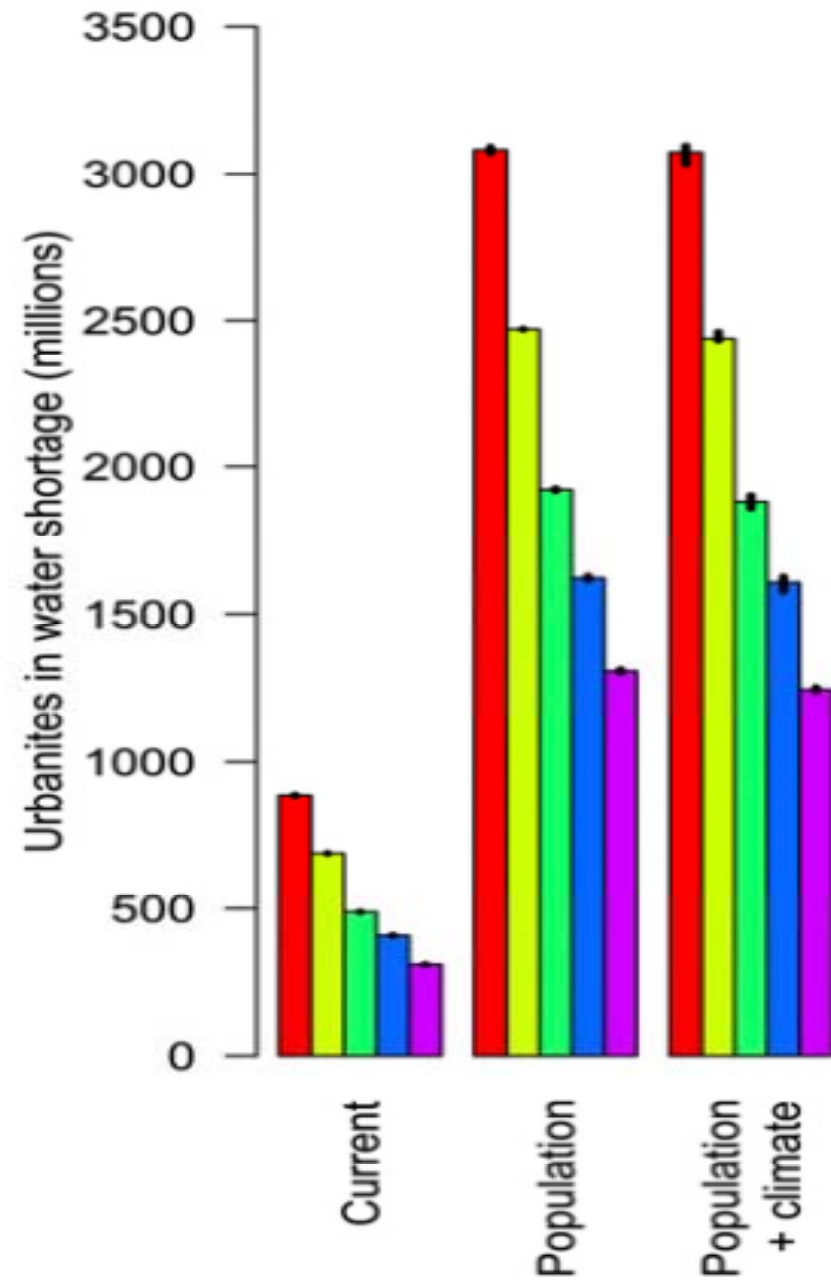
- 1 - 2 million
- 2 - 5 million
- > 5 million

- Perennial water shortage, 2000
- New perennial water shortage, 2050 (OS)
- Seasonal water shortage, 2000
- New seasonal water shortage, 2050 (OS)

### Perennial shortage



### Seasonal shortage



# idées Innovantes

- **Mille et une Fontaine, Lyon**
  - **Cambodge**
  - **Madagascar**











# Groupe des Ecoles Inter-Etats



Vue d'ensemble du PDC à Dialanicoro