

Cycle

2012-2013

L'eau

L'eau : les enjeux du 21^{ème} siècle

L'eau, un trésor en partage

G De Marsily (UPMC, Académie des Sciences)

9 OCTOBRE 2012
18H-20H, SALLE DUSSANE



Allons-nous manquer d'eau dans le monde ?

Chutes d'Iguassu, Argentine-Brésil, 30 octobre 2005, 18.000 m³/s



Dans le désert peut-être ???



Hier....

Tozeur (oasis du Djerid, Tunisie)



Demain...?



Salinisation des sols...

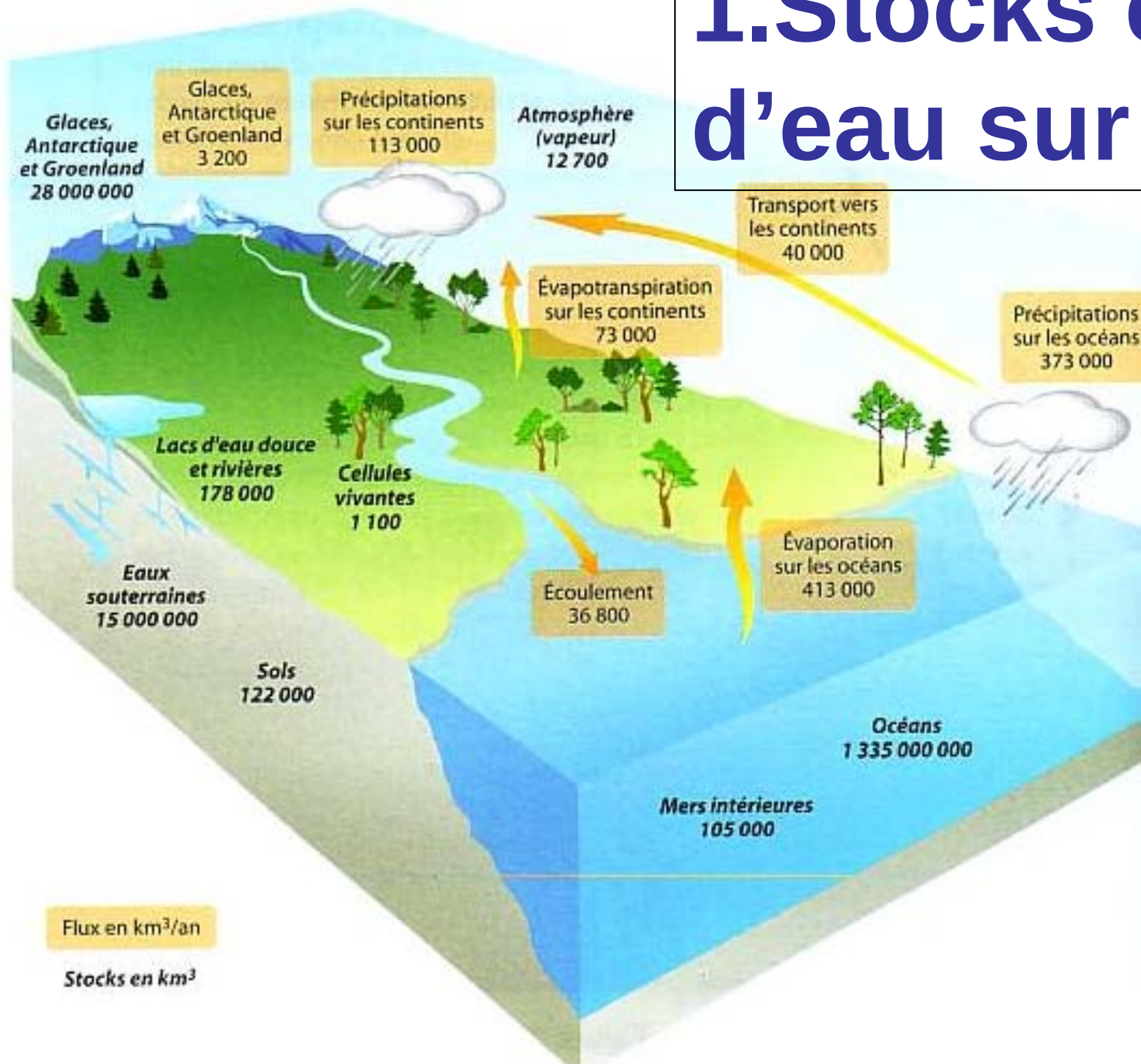
Quelques références :

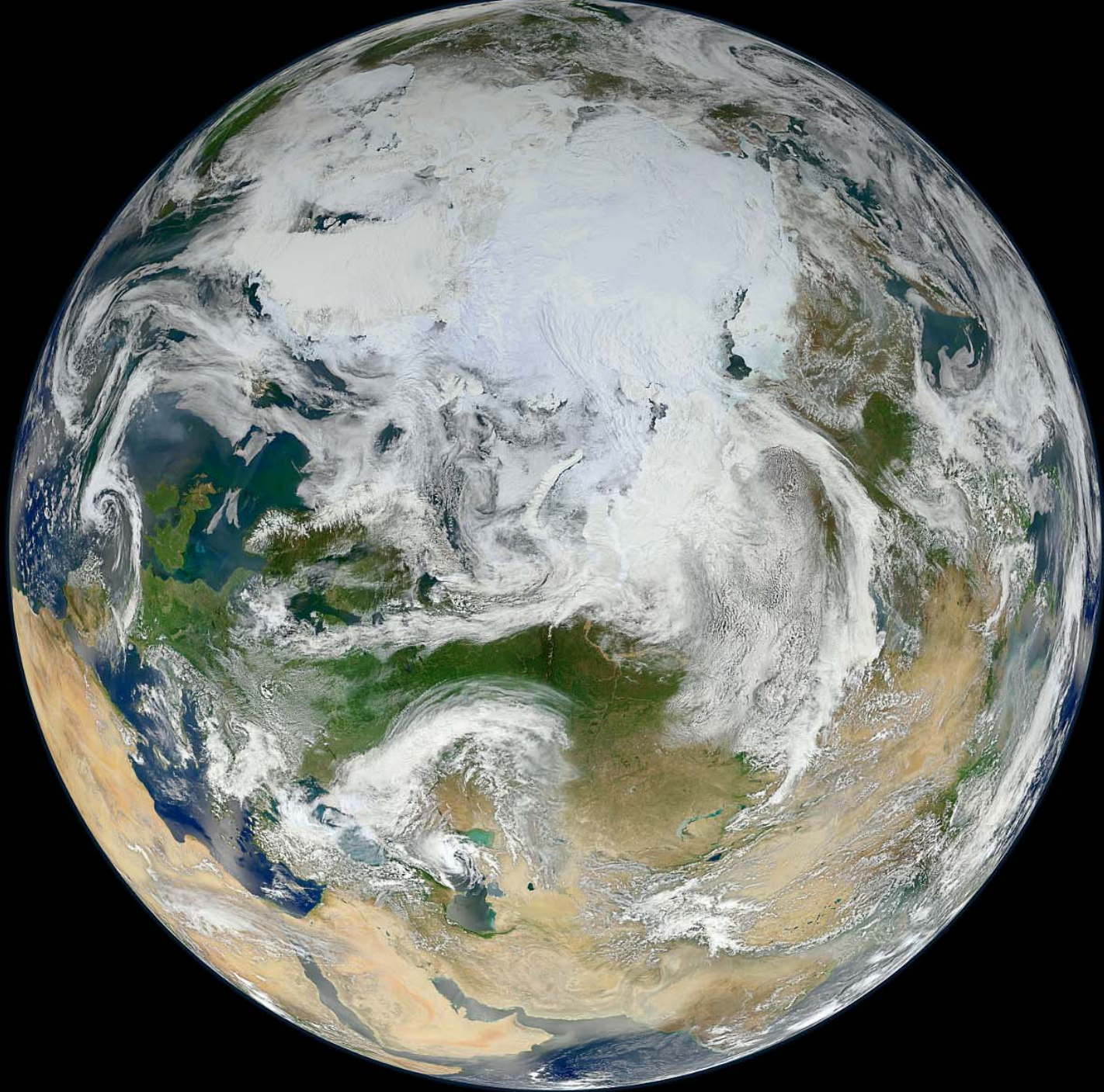
- **Rapport “Science et Technologie” n°25 de l’Académie des Sciences, “Les Eaux Continentales”, EDP Sciences, Paris, Oct. 2006.**
 - Consultable sur www.Academie-sciences.fr
- **Rapport “Science et Technologie” n°32 de l’Académie des Sciences, “Démographie, Climat et Alimentation Mondiale”, EDP Sciences, Paris, Mars 2011.**
 - Consultable sur www.Academie-sciences.fr
- **Rapport « Agrimonde », INRA-CIRAD, 25 février 2009, Editions Quae, 2010**
- **“L’eau, un trésor en partage”, G. de Marsily, Dunod, mai 2009**

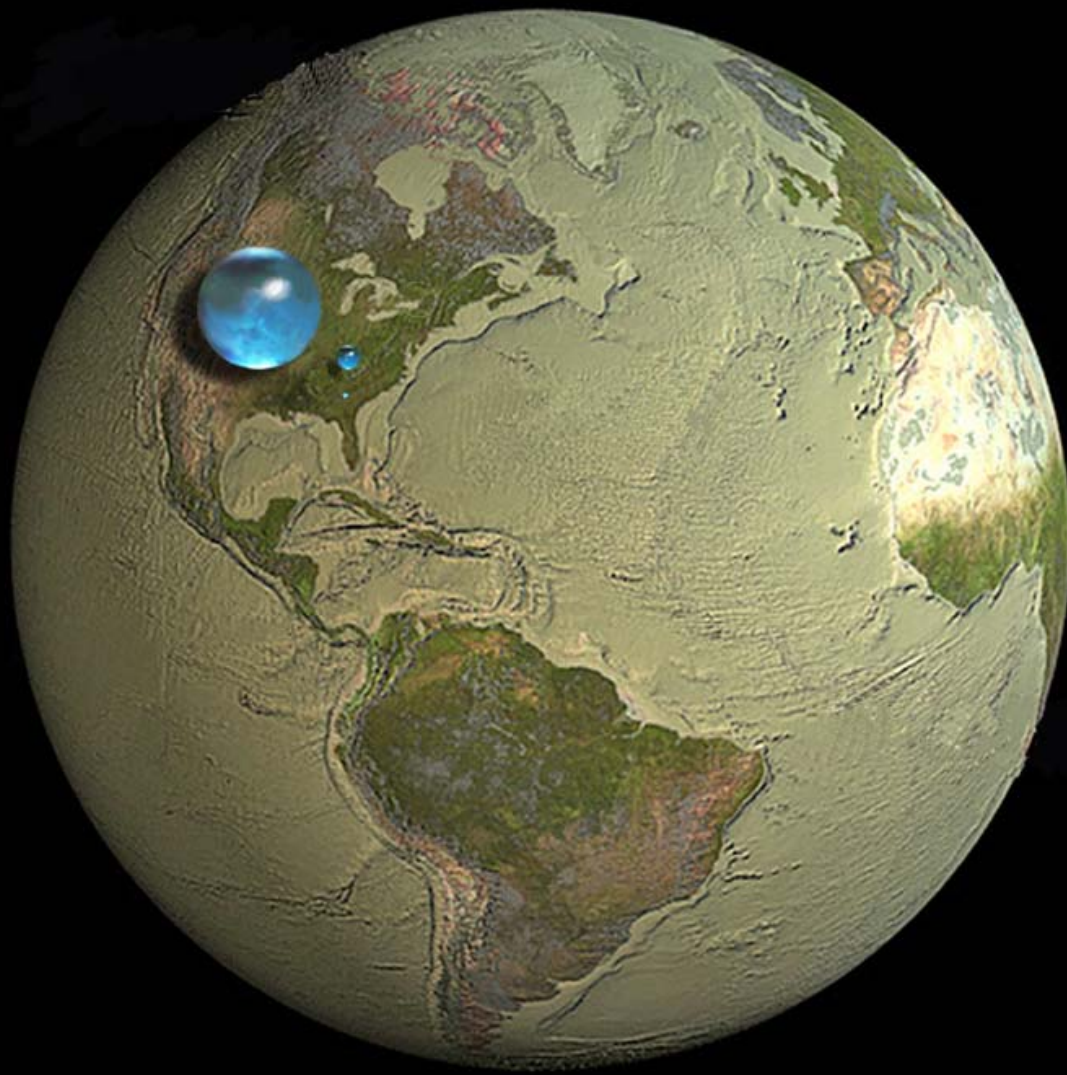
Plan de l'exposé

1. Stocks et flux d'eau sur terre
2. Répartition des précipitations
3. Variabilité interannuelle des précipitations
4. Conséquences du réchauffement
5. Les besoins en eau actuels
6. Demande mondiale en eau
7. En 2050 ?
8. Et les sols ?
9. Et les écosystèmes ?
10. L'eau domestique

1. Stocks et Flux d'eau sur Terre







Stocks en eaux douces de la Planète

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

Total eaux douces : 43.560.000 km³

Océans : 1.335.000.000 km³ (30 fois plus)

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

Rappel....

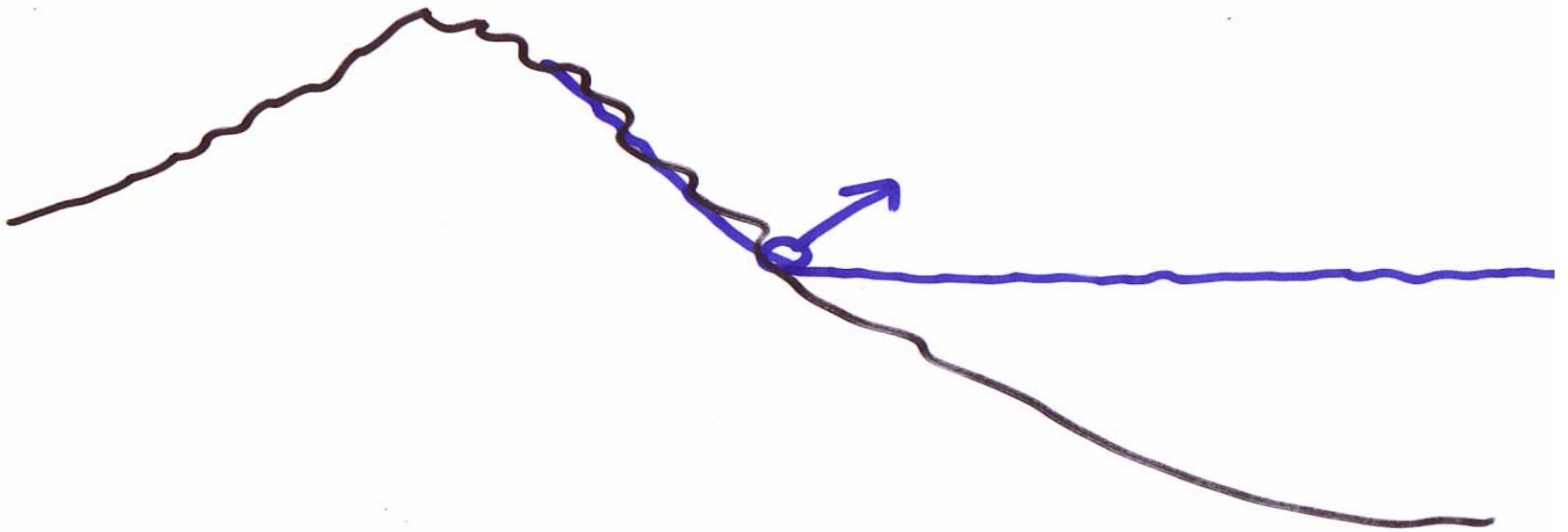
- Le stock total d'eau sur Terre est **à peu près constant...**

-Pertes dans la haute atmosphère :



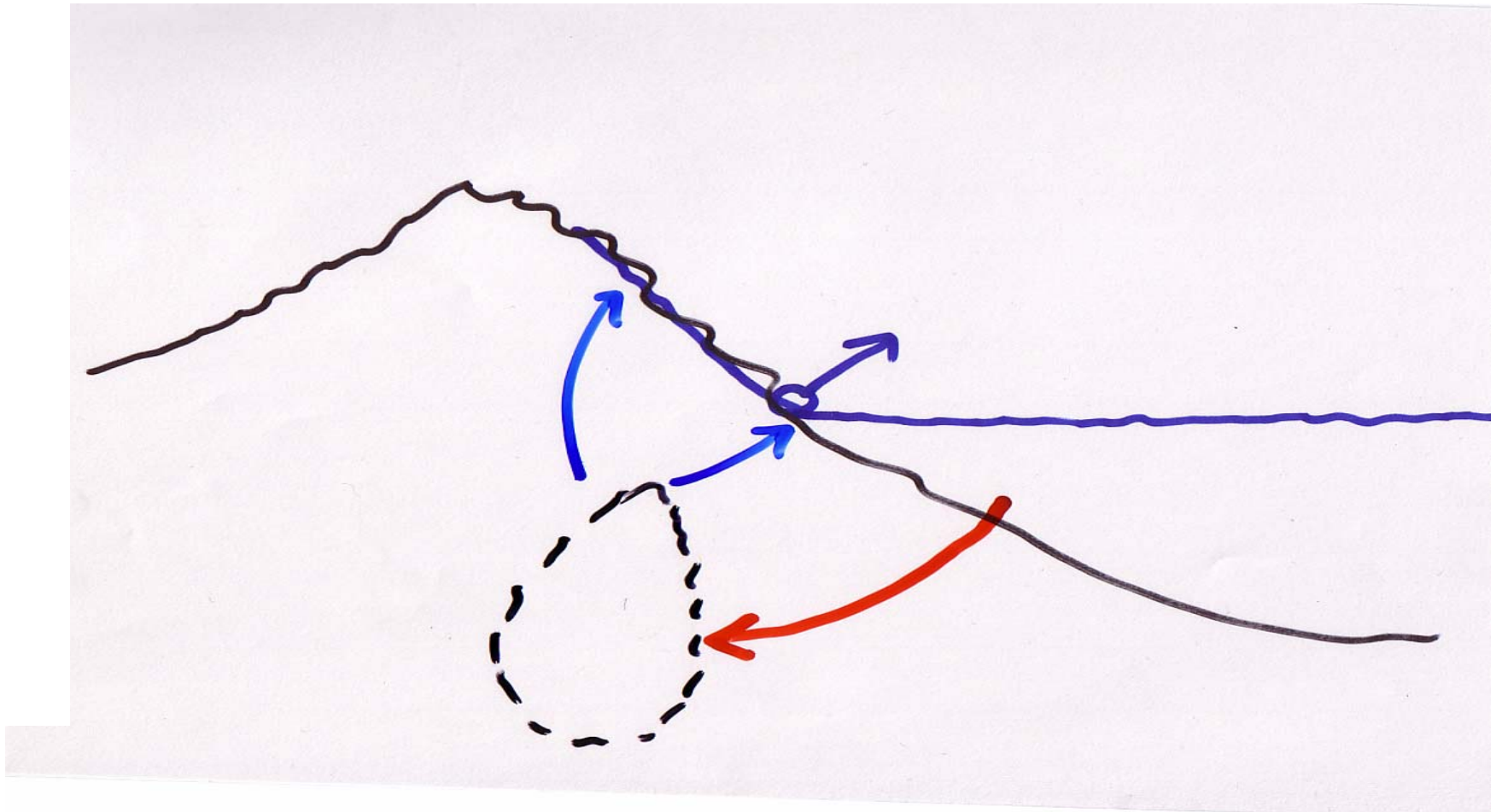
Perte de ~3 m d'eau en 4.6 milliards d'années...

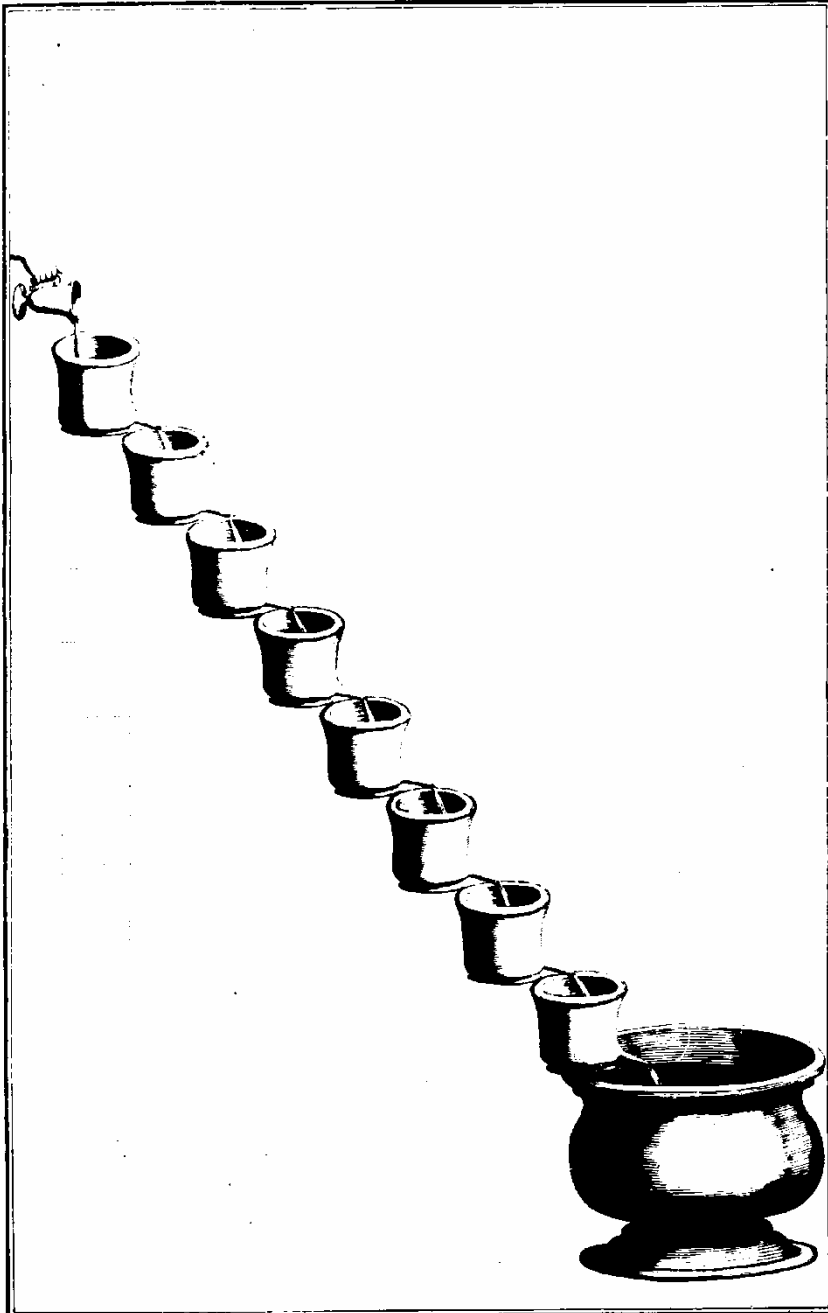
Le Cycle de l'Eau...



Le Cycle de l'Eau

Per descensum





1725....

**Experience de
dessalement de l'eau
de mer....**

ON suivit le même ordre dans la filtration par le sable, où la quantité d'eau de quatorze livres se réduisit également au poids de cinq livres deux onces. Sa couleur se changea en celle de vin blanc un peu chargé. Le poids de vingt-quatre onces diminua à vingt-trois, & cinq dragmes selon la balance, & selon l'Aréometre à une once trois dragmes, & quarante-un grains, ce qui veut dire huit grains de moins. Cette diminution du goût salé & du poids, qui se trouve plus grande dans la filtration par le sable, qu'en celle qui se fait par la terre, montre qu'il est le plus propre à purifier l'eau; & comme ordinairement, sur le Rivage de la Mer, il y a quantité de sable, on ne doit pas s'étonner si l'eau, qui lui passe au travers, quoi qu'en une petite distance, devient sur le champ presque infide.

Experience
de la filtration
de l'eau de la
mer par le
sable

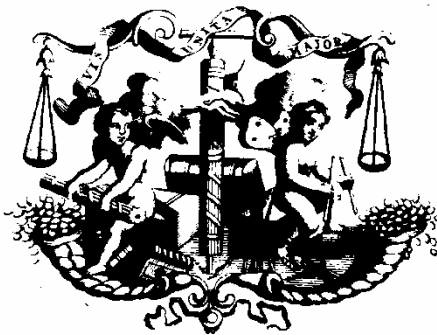
HISTOIRE PHYSIQUE DE LA MER.

Ouvrage enrichi de figures
dessinées d'après le Naturel.

P A R

LOUIS FERDINAND
COMTE DE MARSILLI,

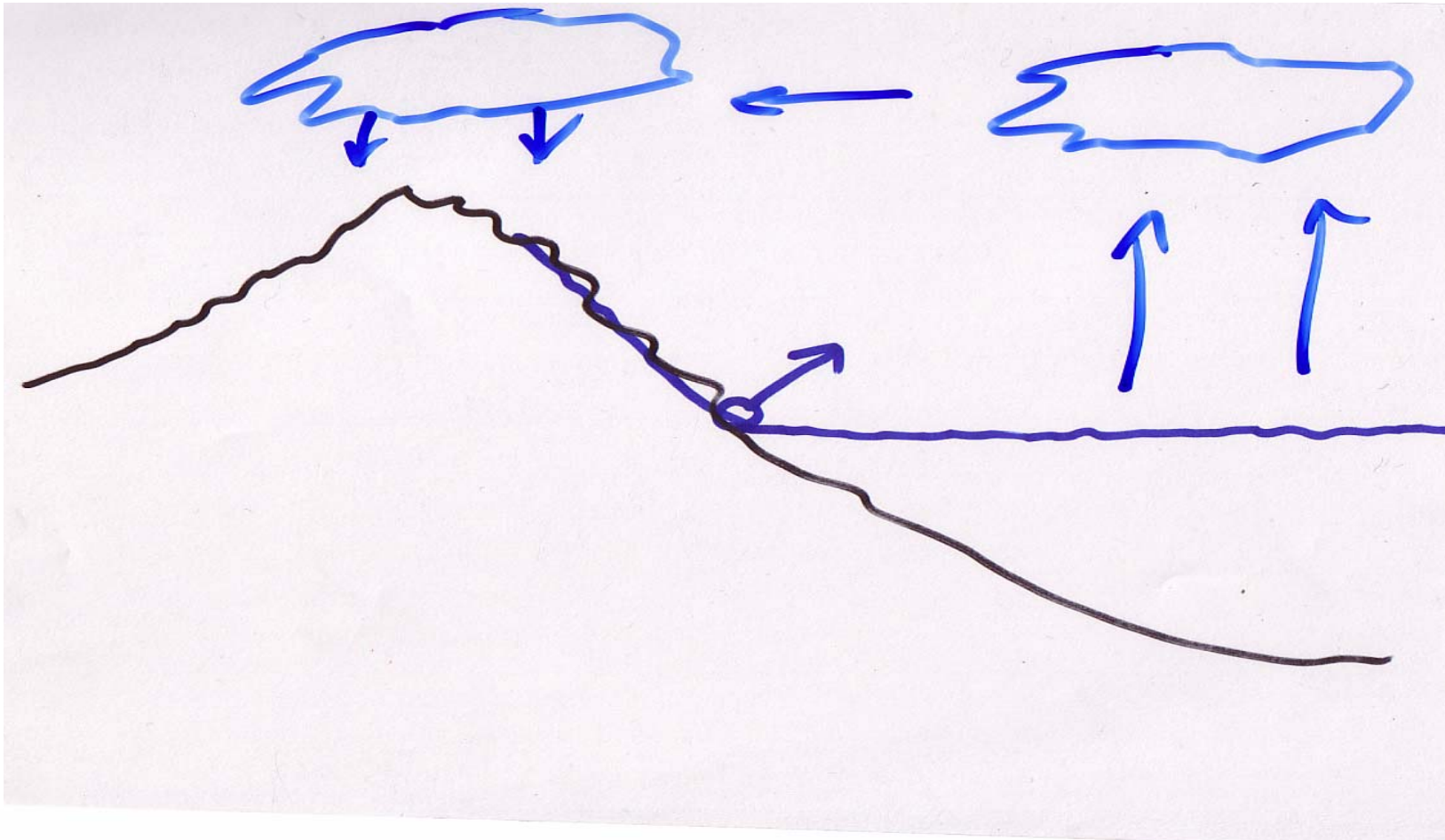
*MEMBRE DE L'ACADEMIE ROYALE DES
SCIENCES DE PARIS.*



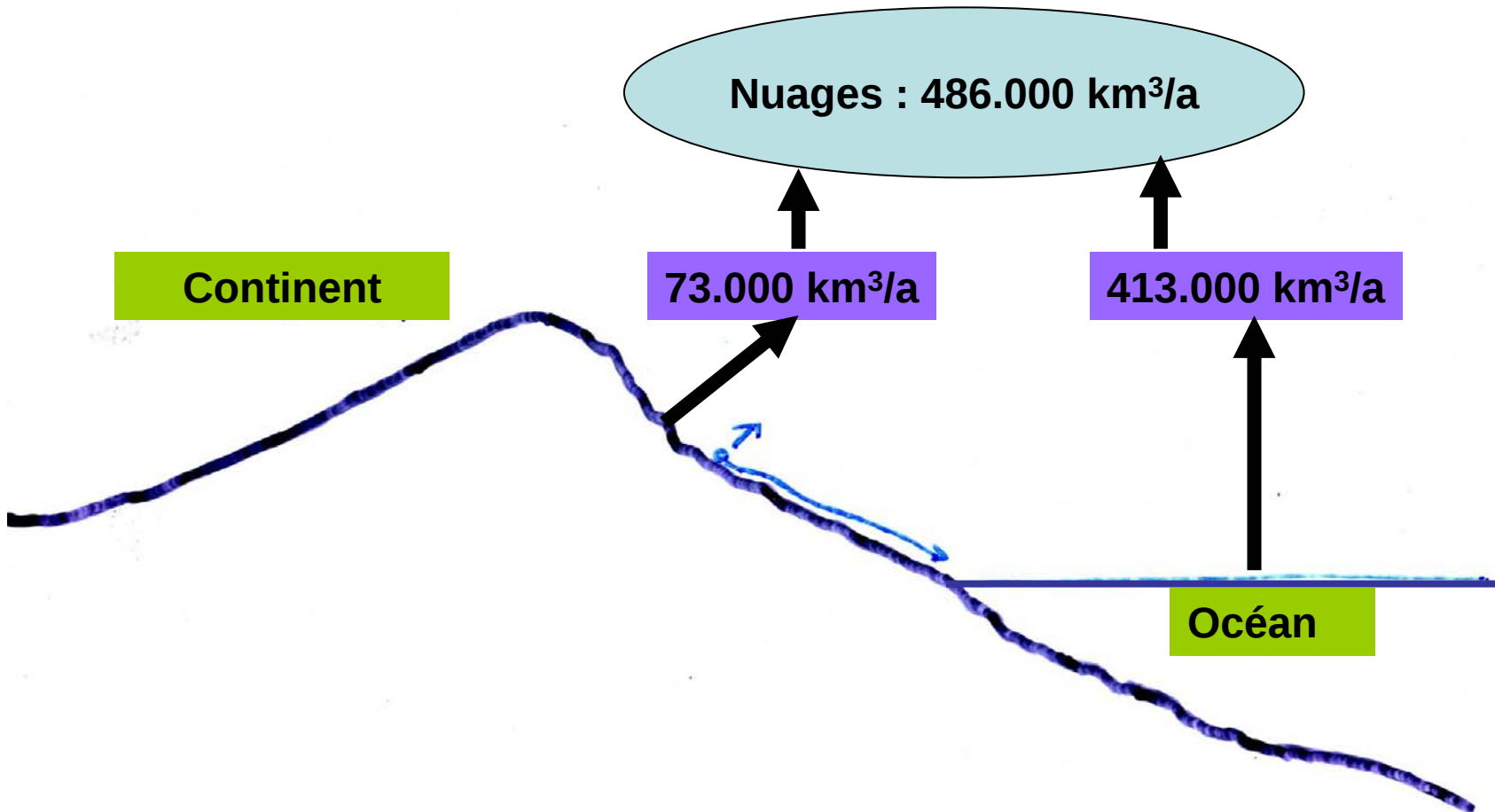
A A M S T E R D A M ,
Aux DEPENS DE LA COMPAGNIE.

M. DCC. XXV.

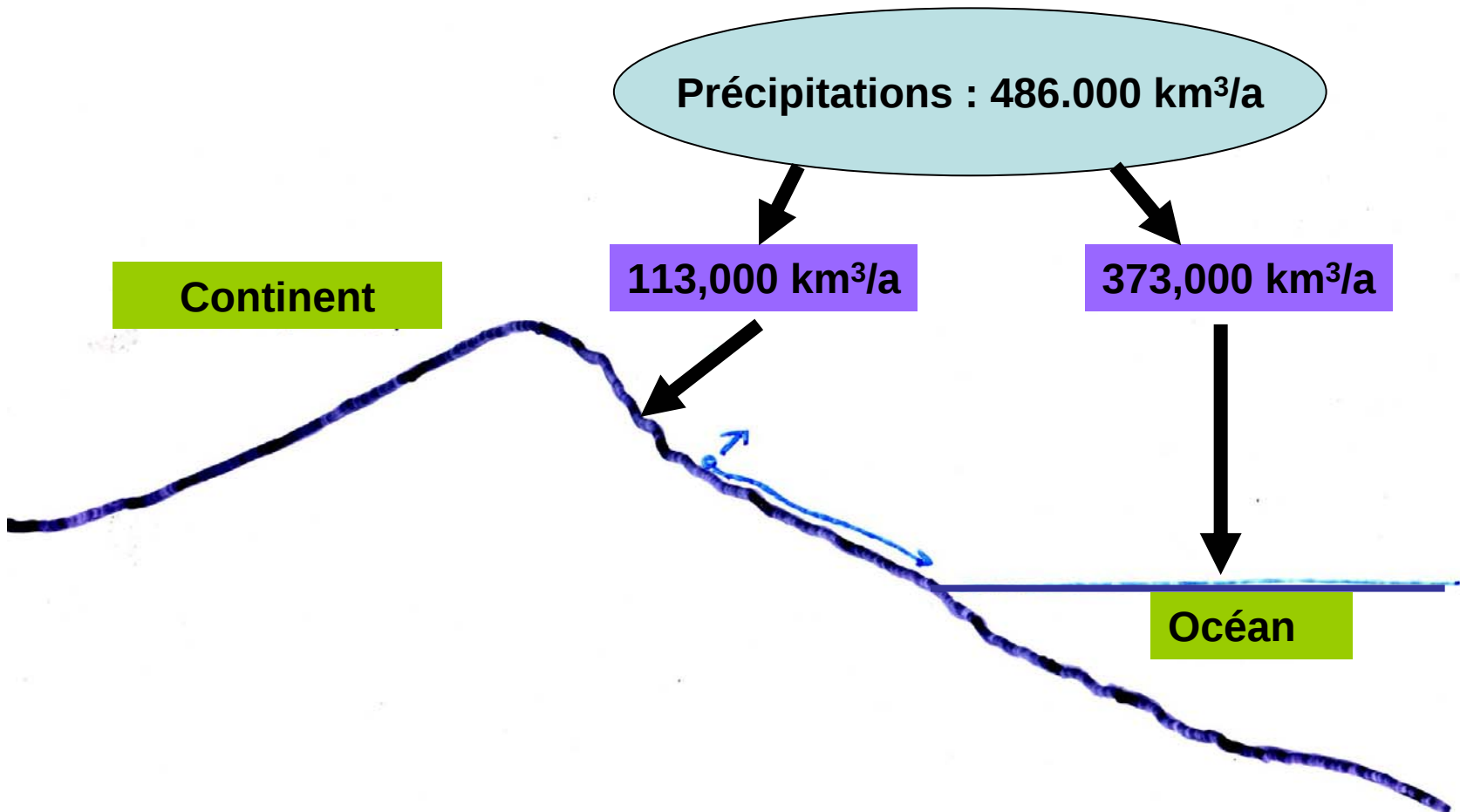
Le Cycle de l'Eau per ascensum



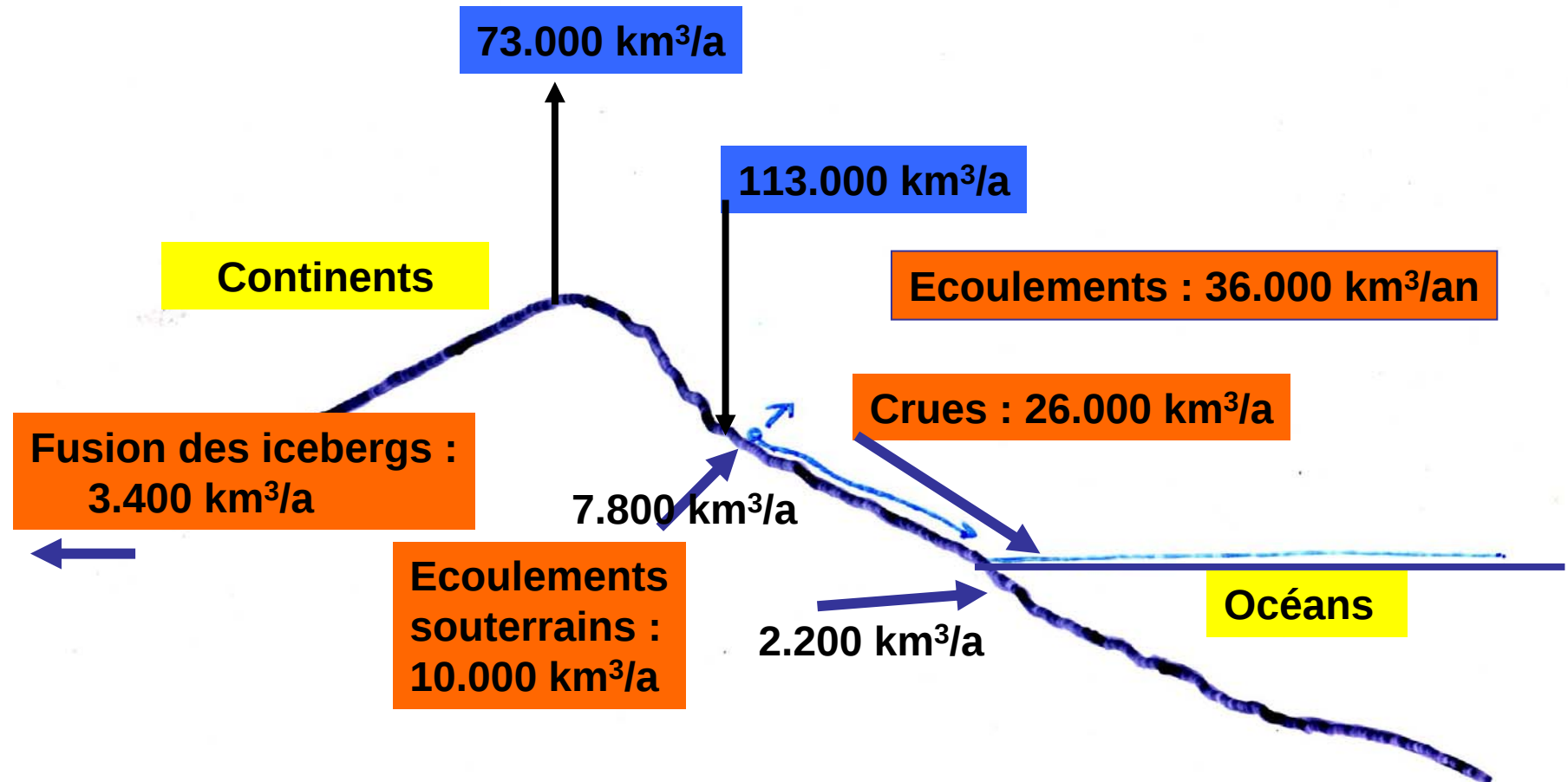
Cycle de l'Eau



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....

Eau verte

73.000 km³/a

Eau bleue

113.000 km³/a

Continents

Ecoulements : 36.000 km³/an

**Fusion des icebergs :
3.400 km³/a**

Crues : 26.000 km³/a

7.800 km³/a

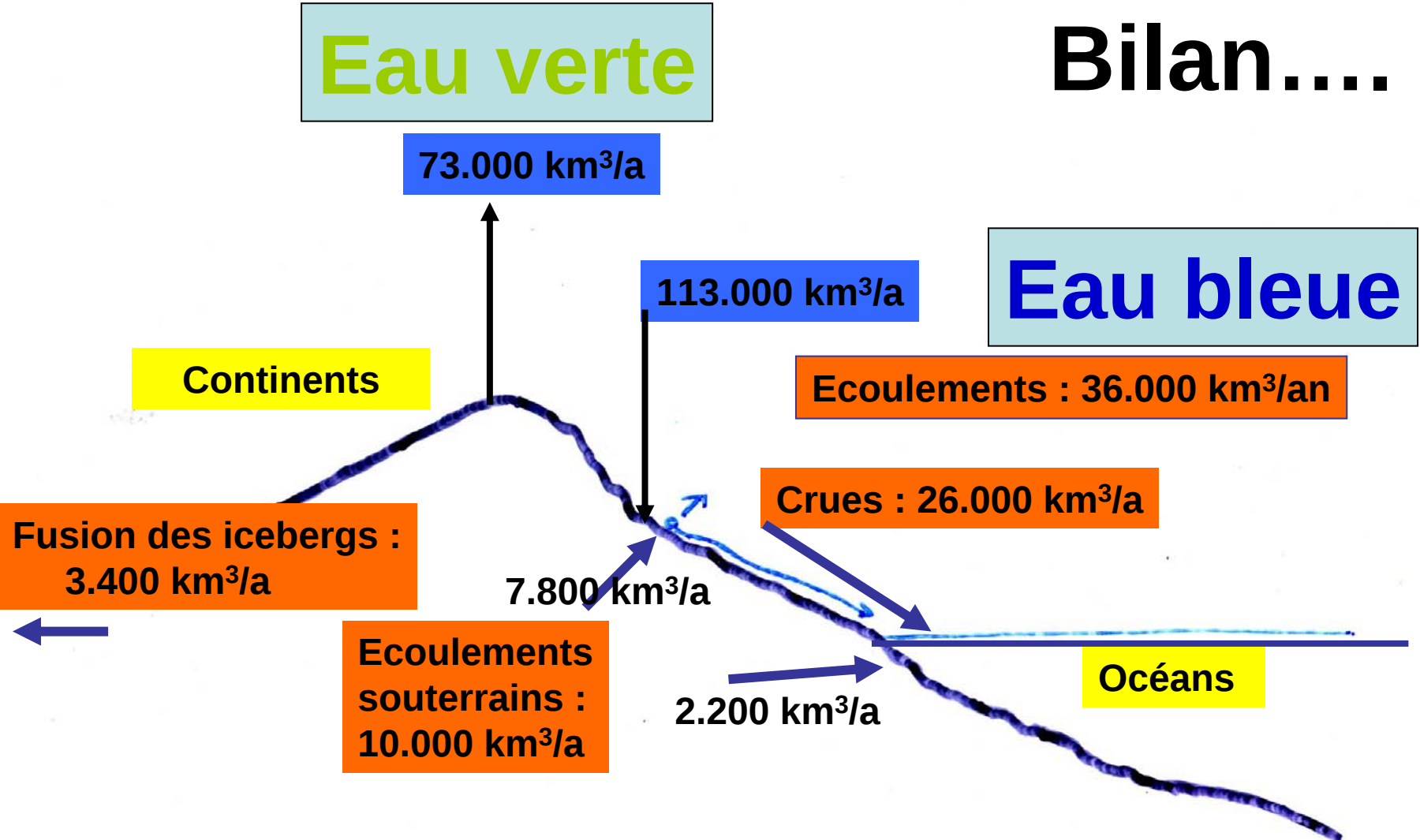
**Ecoulements
souterrains :
10.000 km³/a**

2.200 km³/a

Océans

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

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



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



Delta de l'Okavango

2. Répartition des précipitations sur Terre



21,5% de l'humanité se concentre dans les steppes et les zones arides avec seulement 2% des ressources en eau de la planète.

Effet de la géographie...

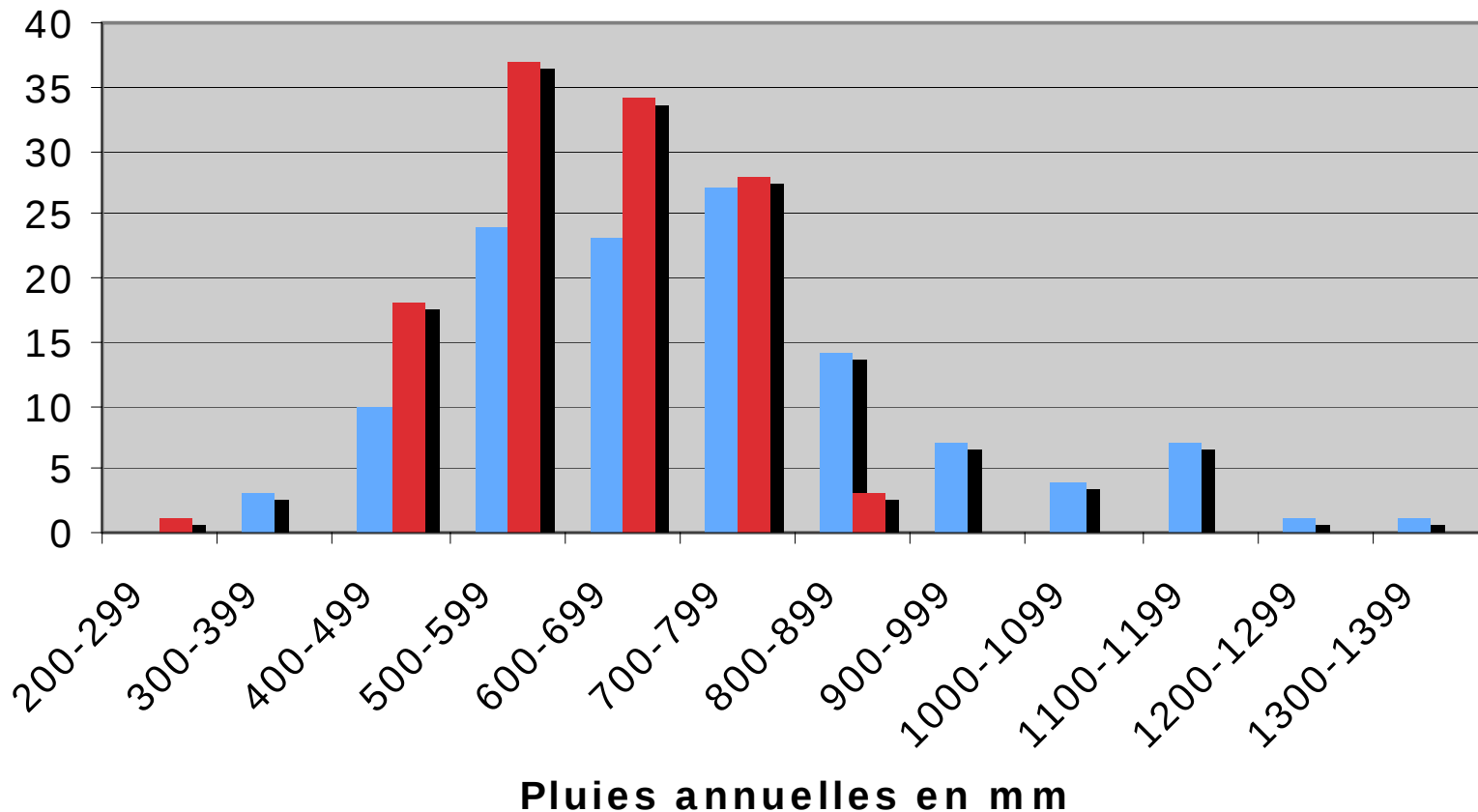
- En montagne, les précipitations doublent environ tous les 2.000 m
 - Les montagnes sont les “châteaux d’eau” des plaines en aval (Himalaya, Alpes, Rocheuses, Cordillère des Andes, Ethiopie...)
- Il pleut plus près des côtes qu’à l’intérieur des continents...

3. Variabilité inter-annuelle des précipitations

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

■ Montpellier ■ Paris

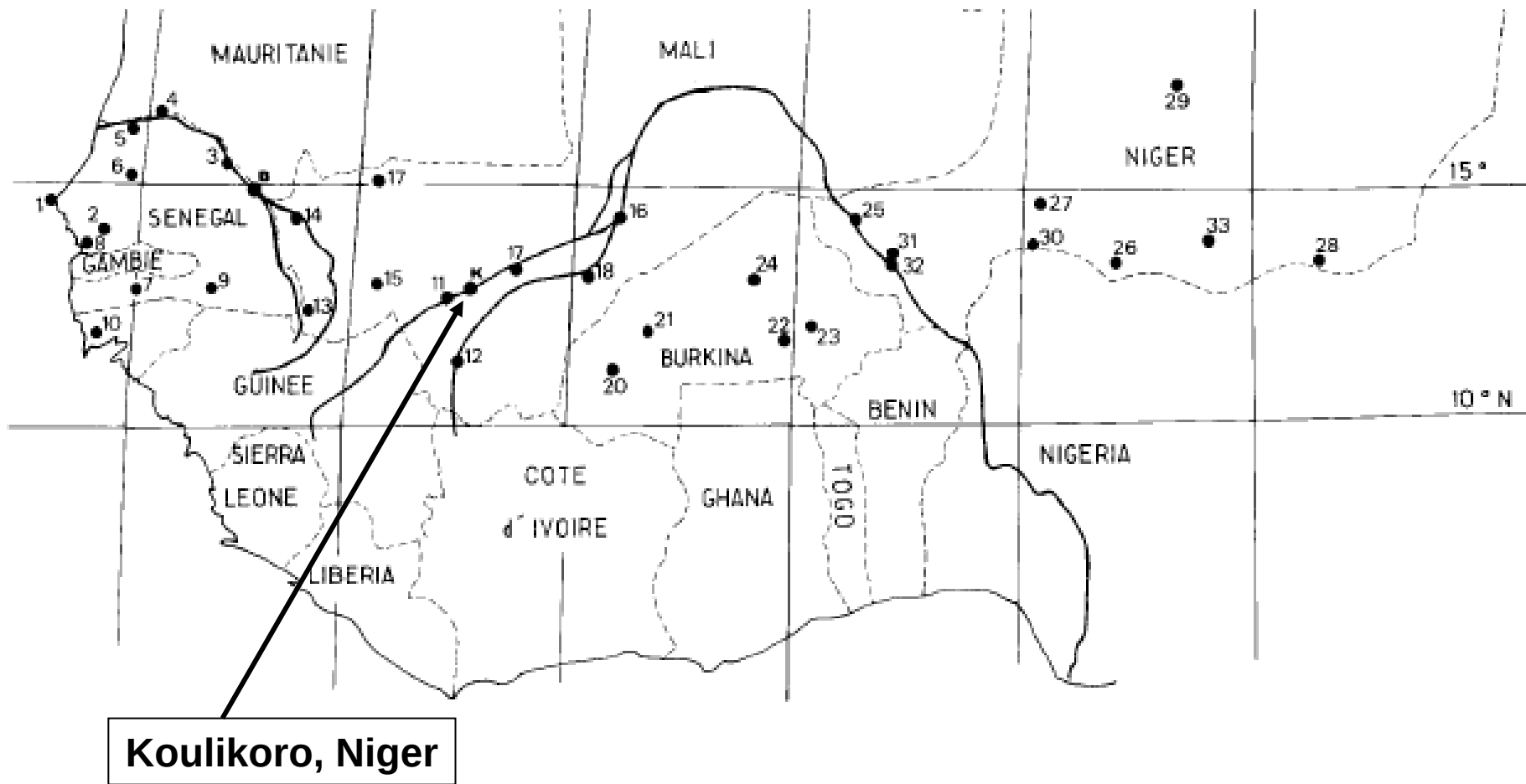
Moyennes : Paris : 611 mm, écart-type 108 mm Min-Max : 270-880 mm
Montpellier : 722 mm, écart-type 224 mm Min-Max: 311-1352 mm



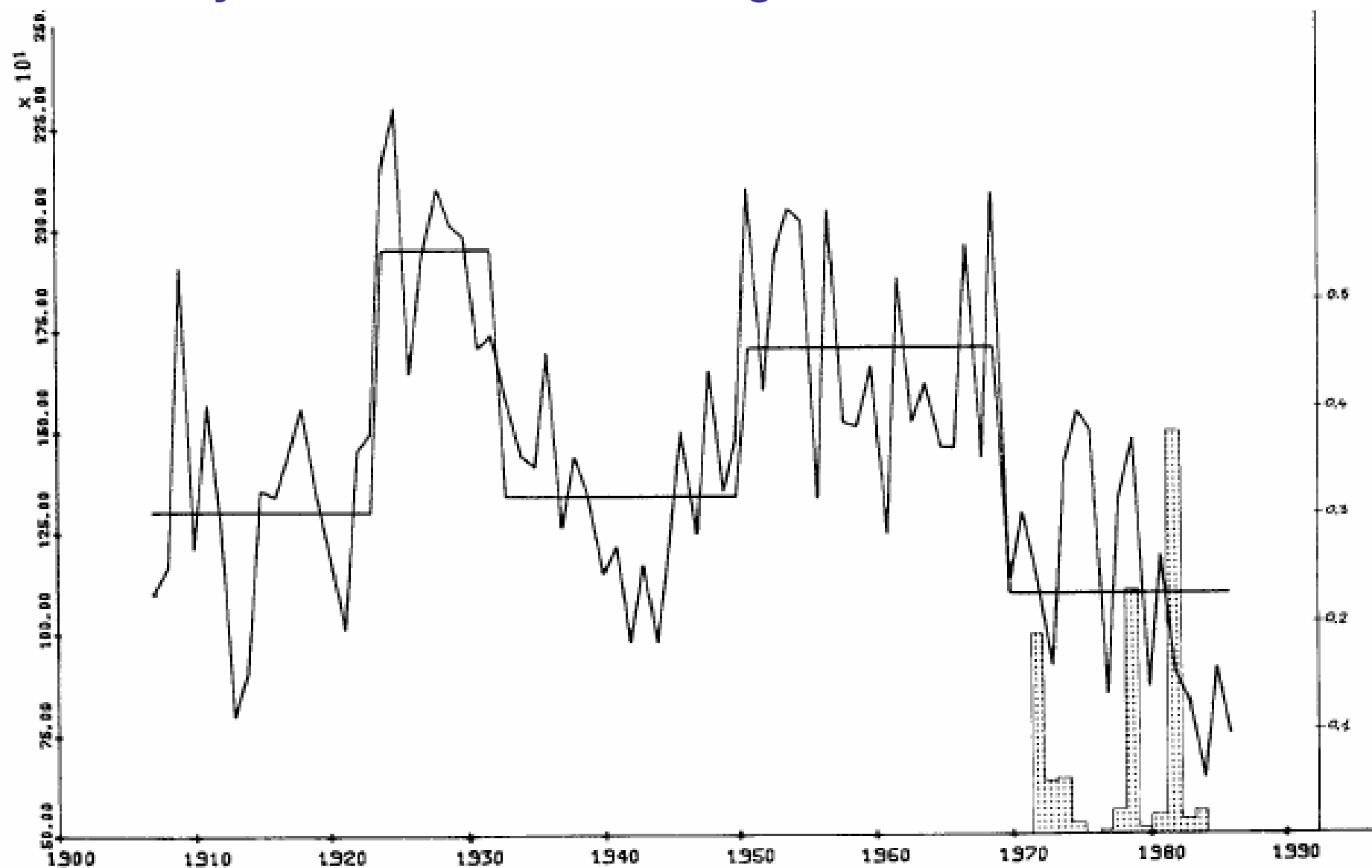




Sécheresse au Sahel...



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



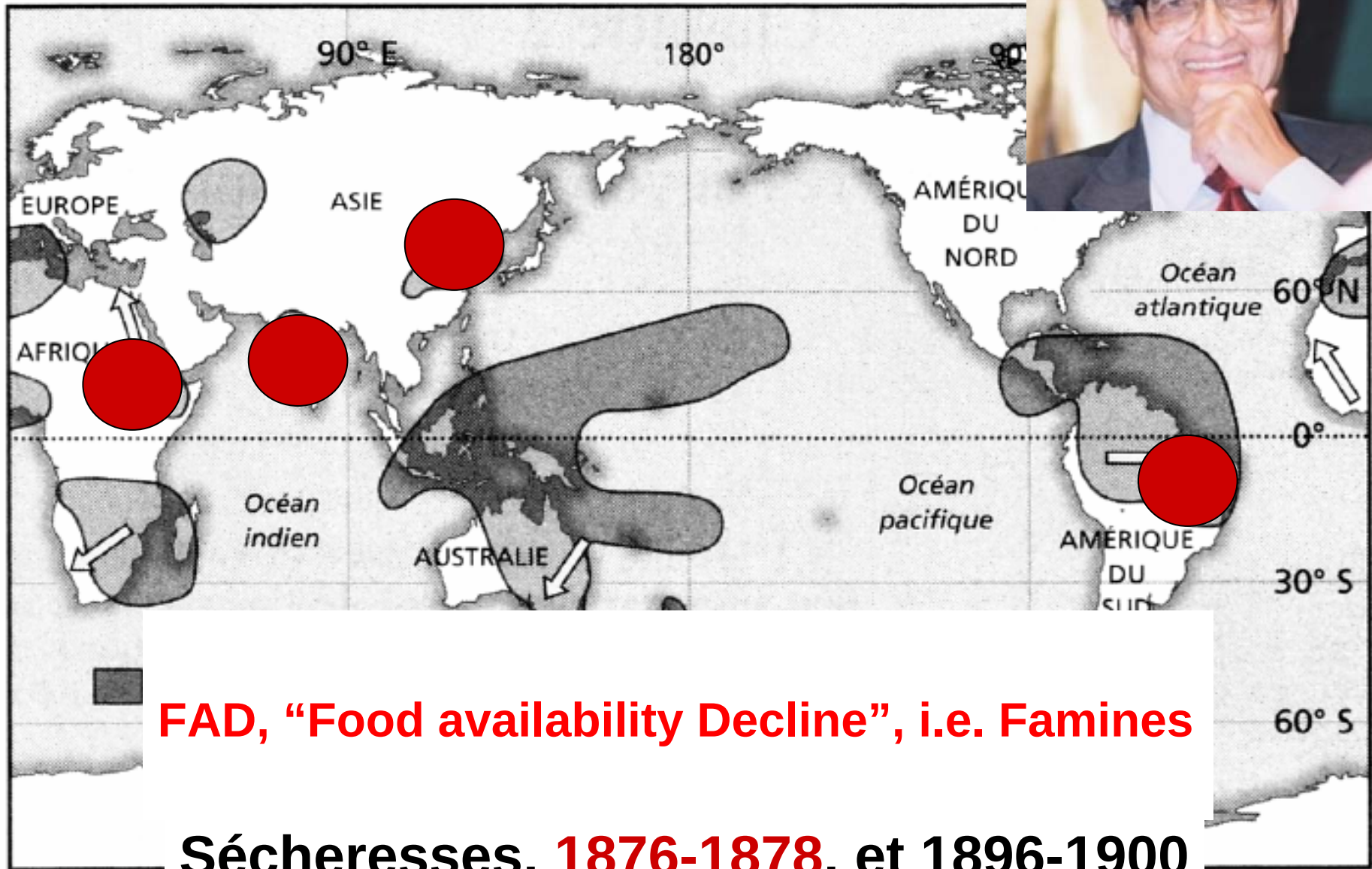


LE MONDE, 2 octobre 2009



Un programme pour abattre les vaches, victimes de la sécheresse, a été mis sur pied au Kenya. THOMAS MUKOYA/REUTERS

Prof. Amartya SEN, Prix Nobel d'Economie



Mortalité due au “FAD”

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

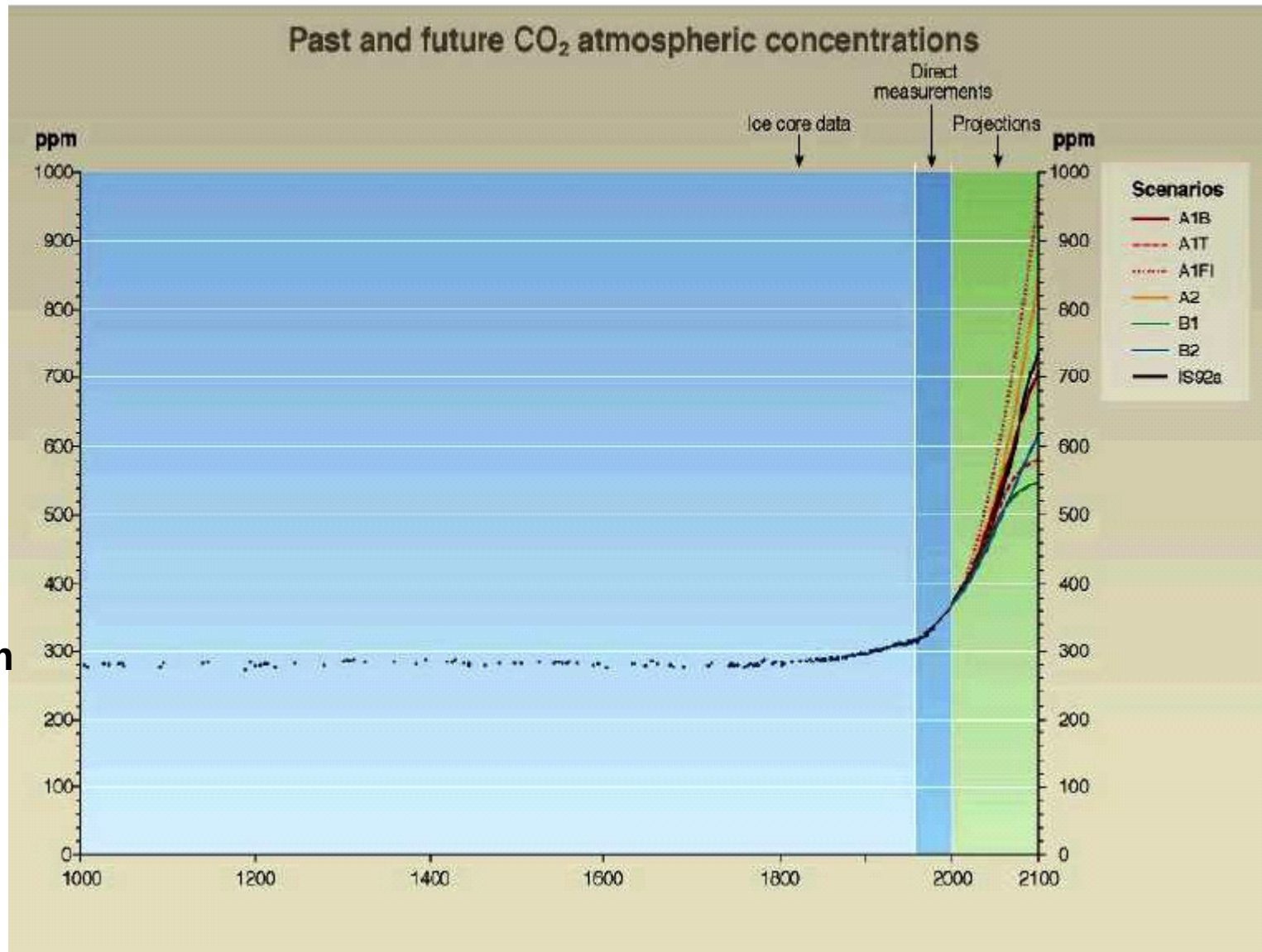
NB : Population Mondiale : 1 milliard en 1820, 2 milliards en 1925....

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

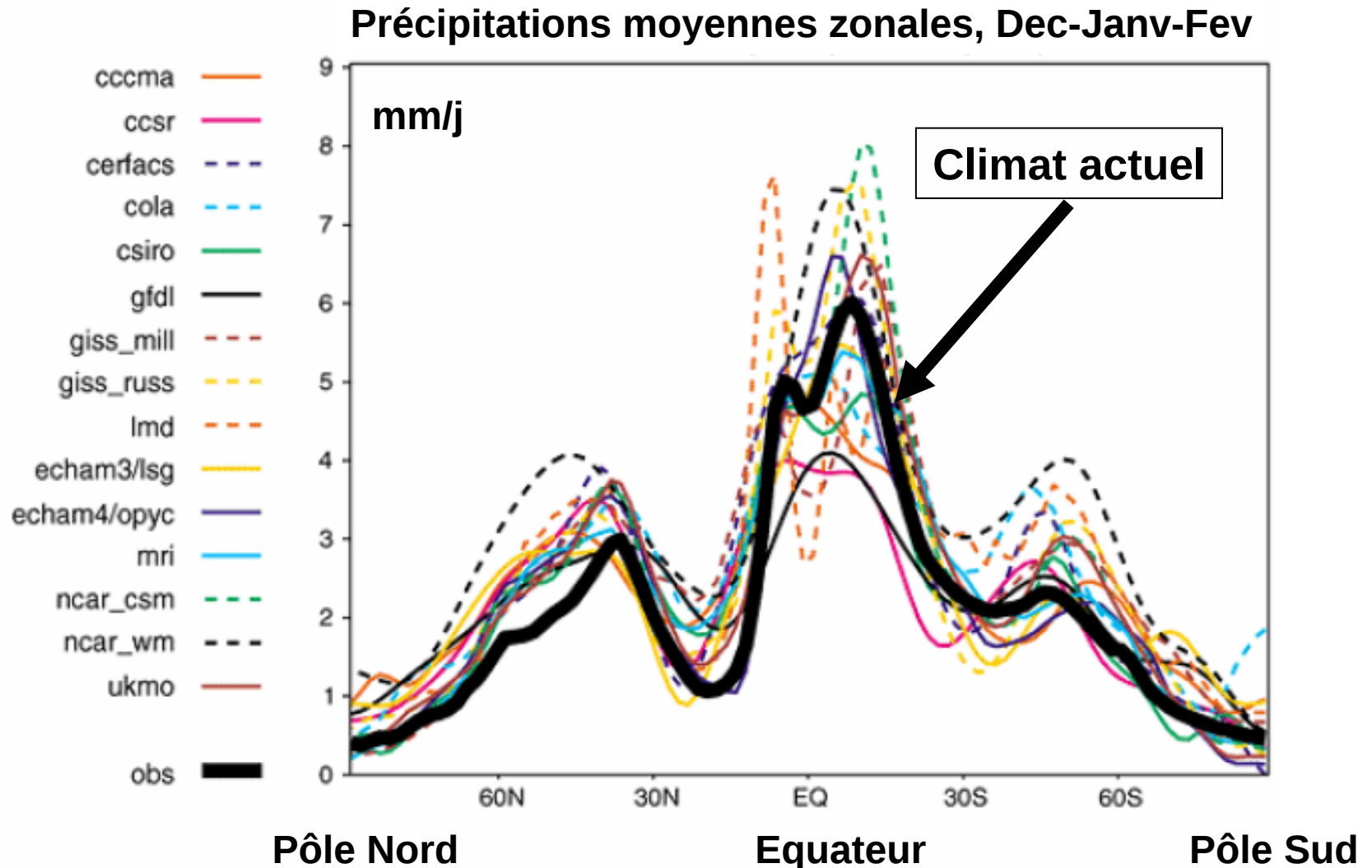
4. Conséquences du réchauffement sur le régime hydrologique : grosses incertitudes...

Concentration en CO₂ de l'atmosphère

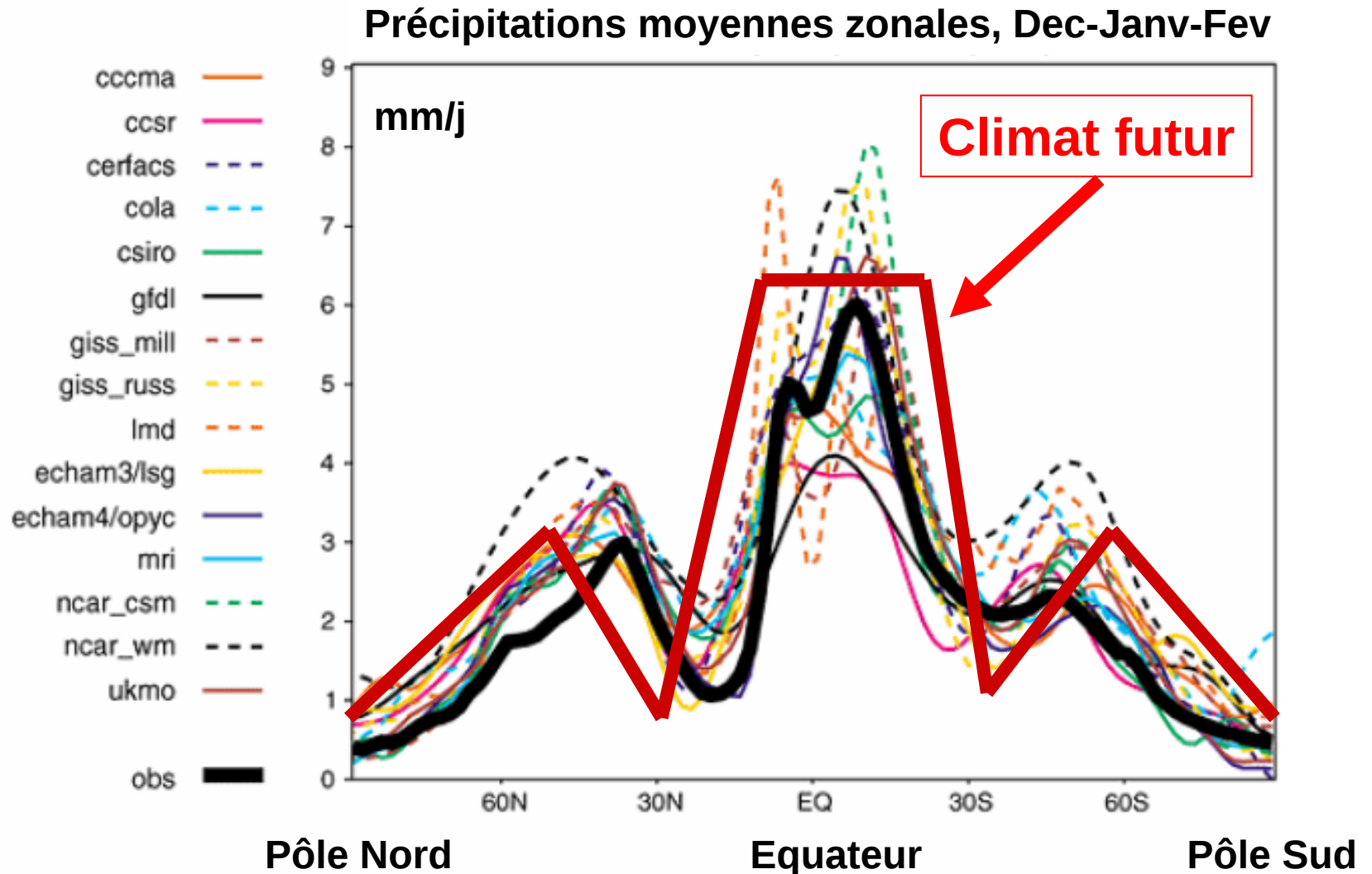
280 ppm



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



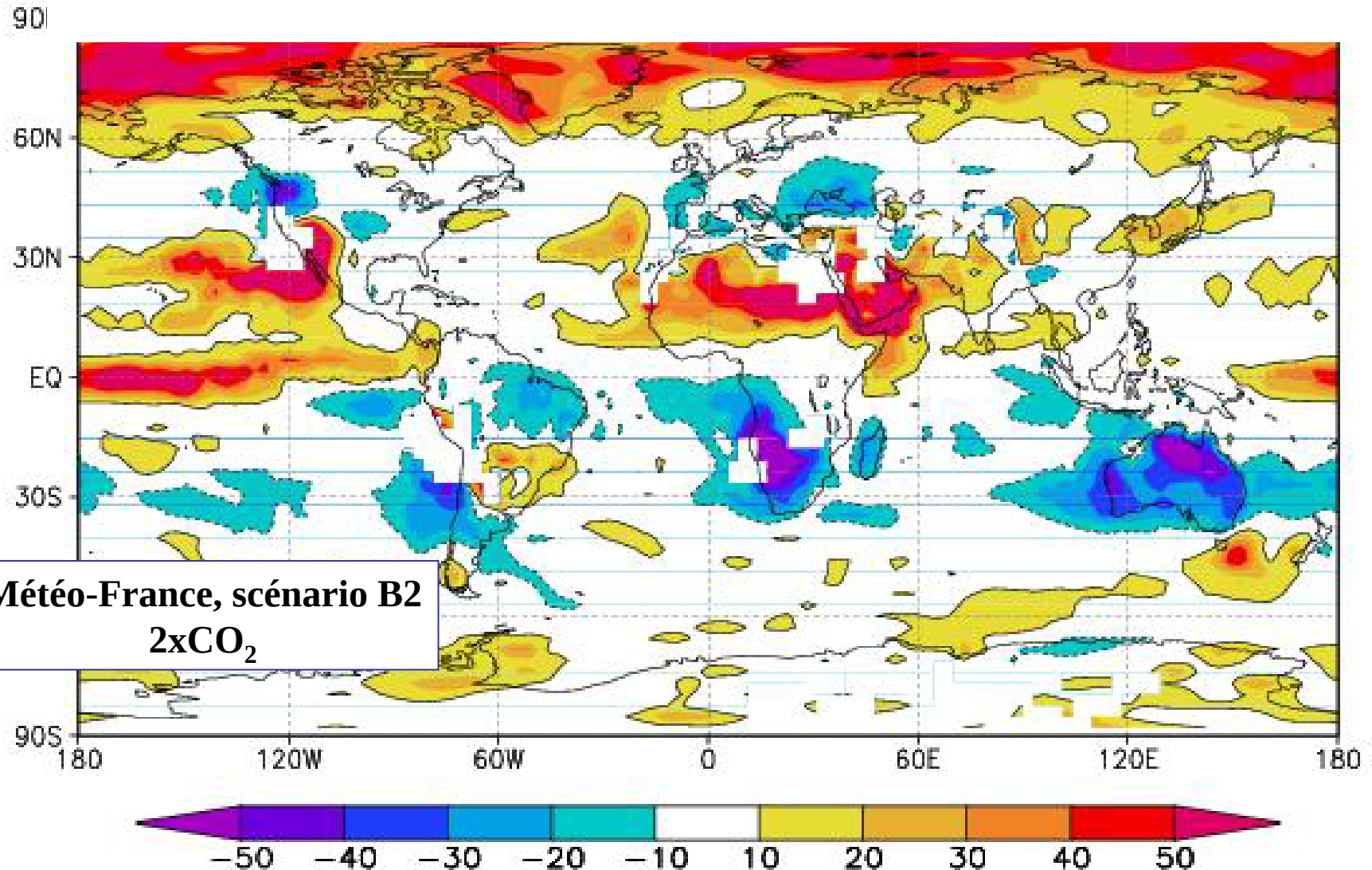
Variation de la pluie (de pôle à pôle) pour 15 modèles de climat, et observations



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

Juin Juillet Août Septembre

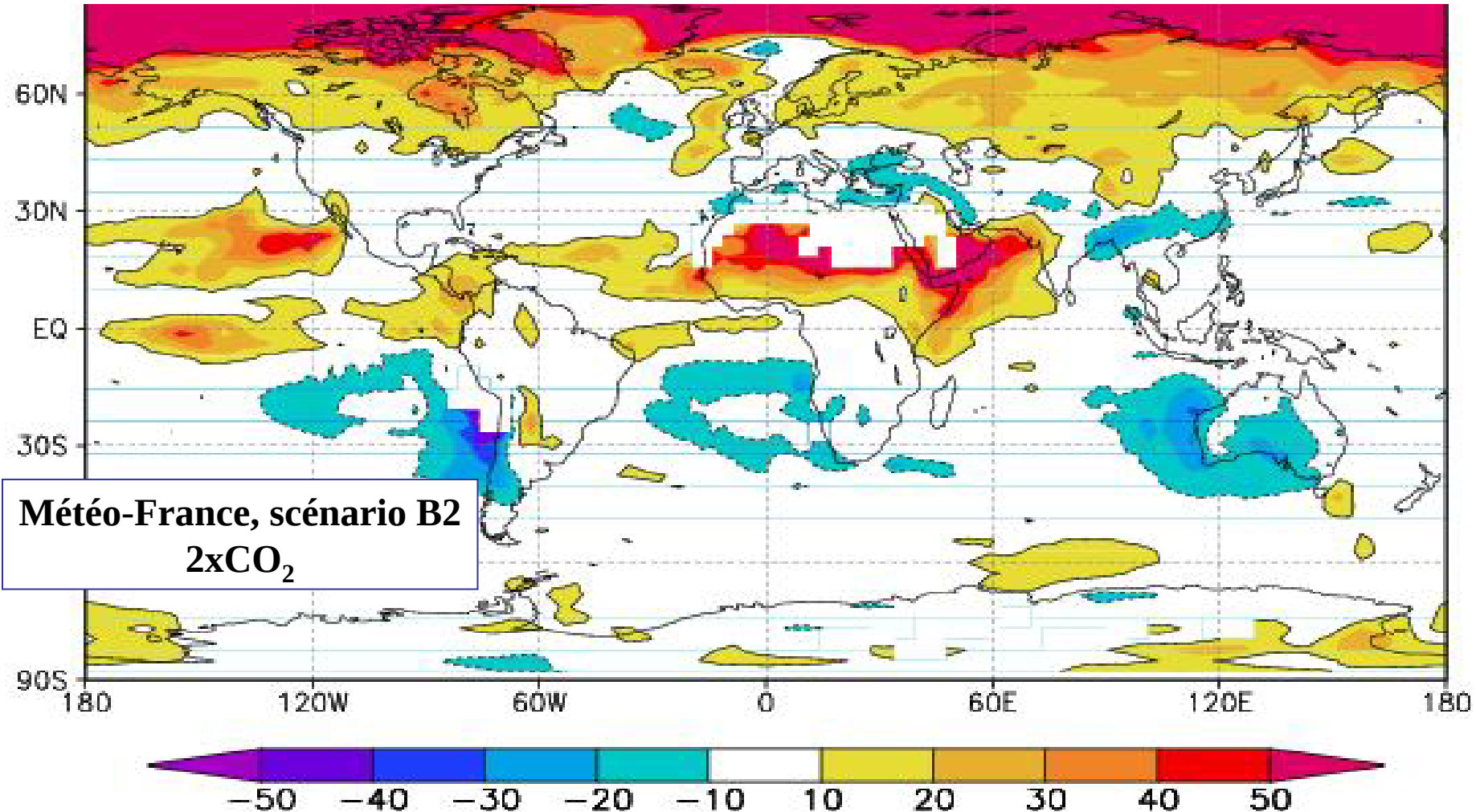
J.C. André et al., RST 25 "Les Eaux Continentales



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

Décembre Janvier Février Mars

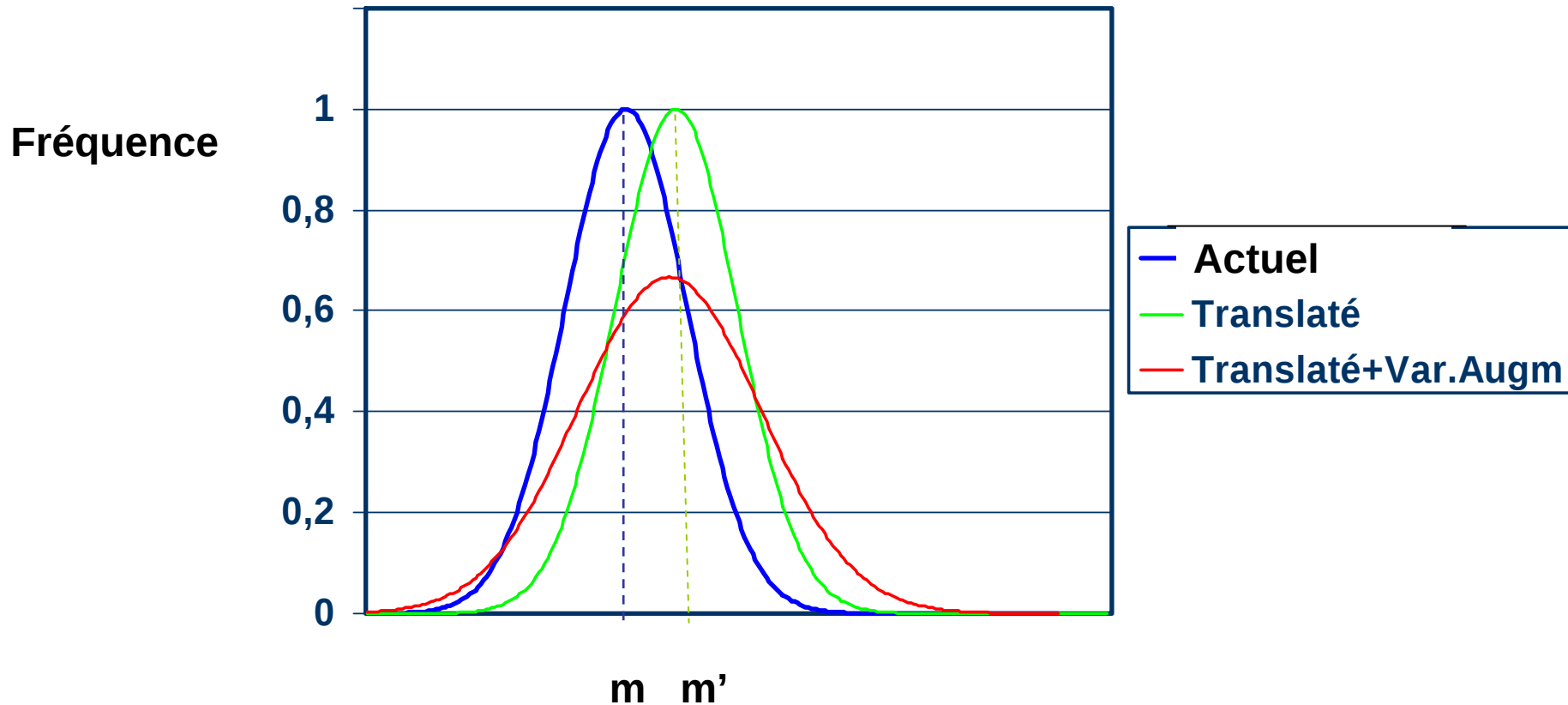
J.C. André et al., RST 25 "Les Eaux Continentales"



Eau du sol

- Réduction importante de l'humidité du sol dans les zones Méditerranéennes, évapotranspiration plus élevée, pluies plus réduites en été: **sécheresses agricoles** plus qu'**hydrologiques**... Incendies...
- Fusion des glaciers (Cordillères des Andes, Alpes, Himalaya...) et des pôles
- Pour 1à 3°C et plus de CO₂, légère augmentation des rendements des cultures en Europe du Nord, réduction en Europe du Sud et en milieu tropical
- Pour plus de 3°C, réduction des rendements partout

Variations des extrêmes

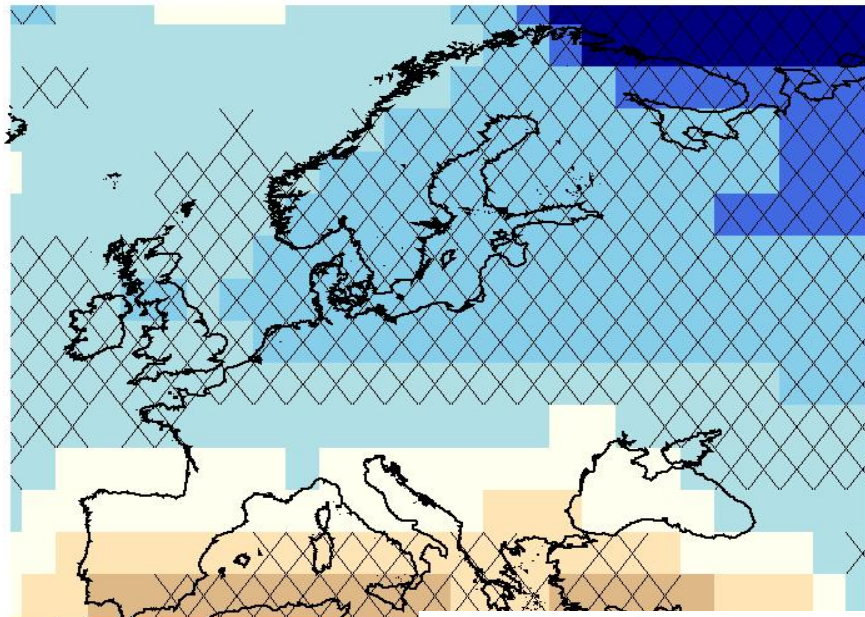


Grandeur hydrologique (p.ex. pluies annuelles,
débit de crue d'une rivière...)

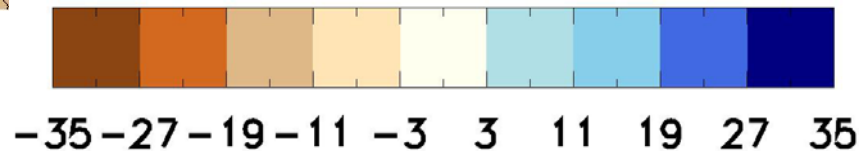
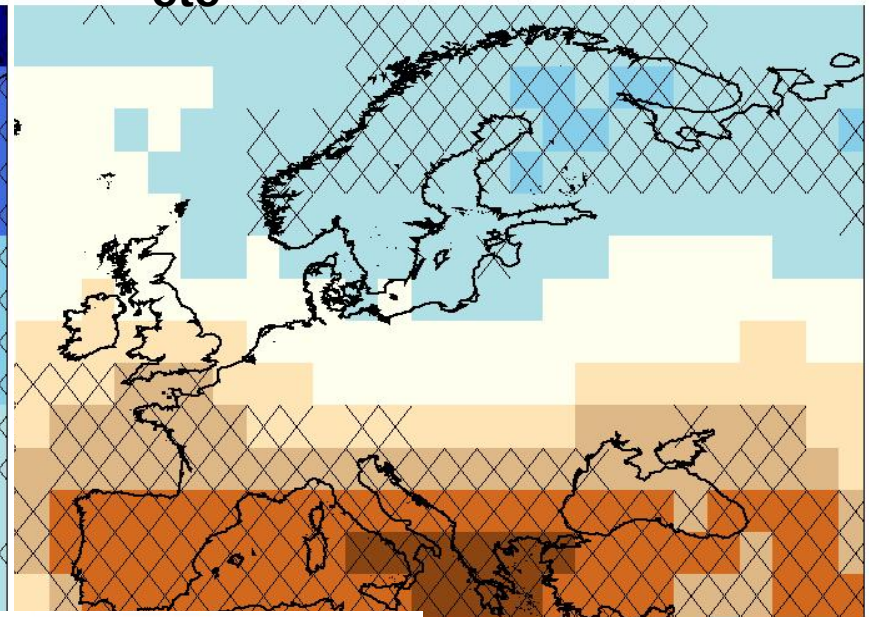
Conséquences pour l'Europe

Modifications des précipitations obtenues par les modèles du GIECC à l'horizon 2050 (% précipitation, scénario SRESA1B)

hiver



été



X: cohérence de signe (accord d'au moins 85% des modèles)

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)

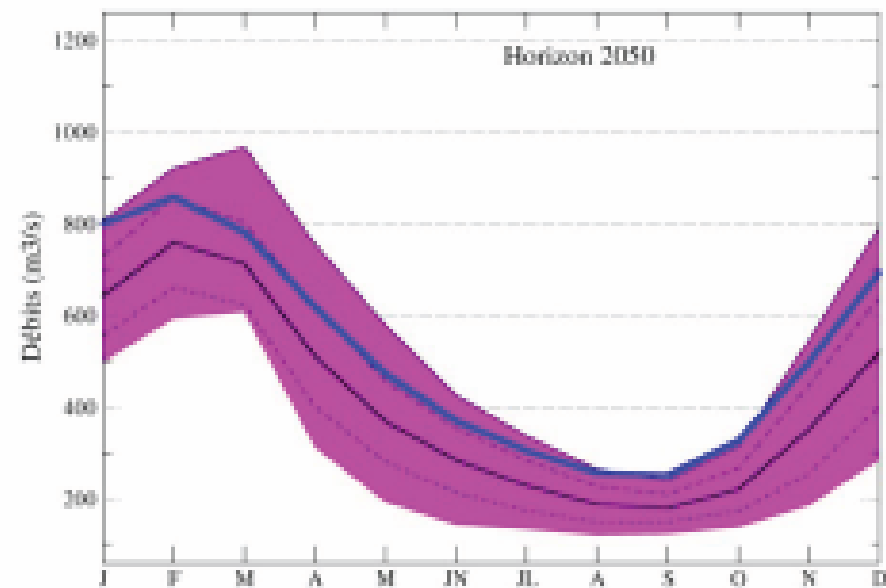
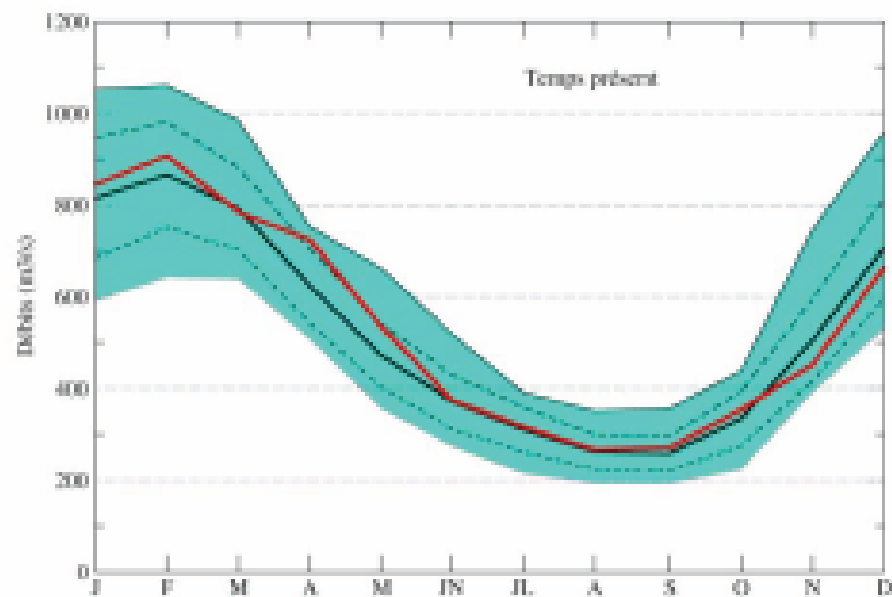
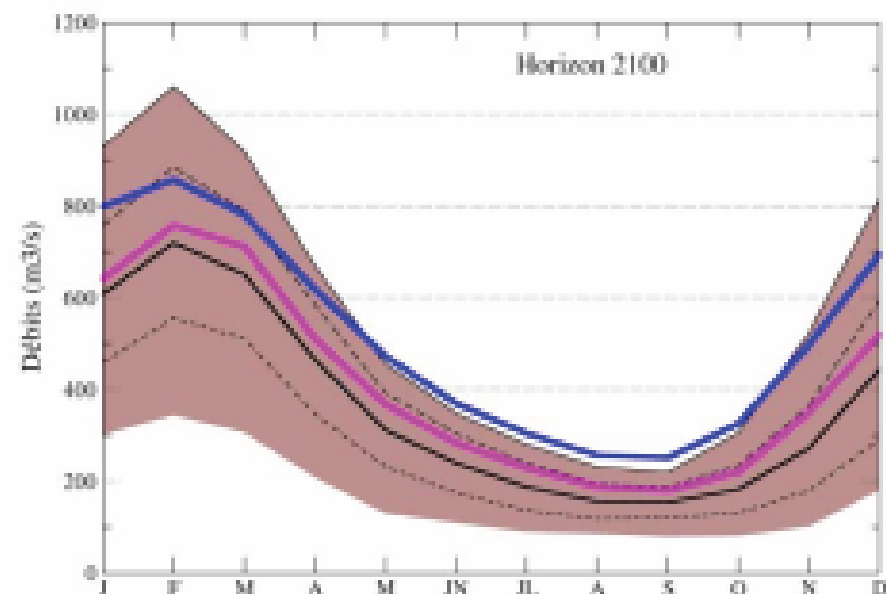


Figure 1 - Evolution des débits mensuels simulés pour la Seine à Poses par l'ensemble des modèles hydrologiques et sur l'ensemble des scénarios. L'enveloppe représente les min et max simulés, le trait épais noir la moyenne de l'ensemble, et les pointillés l'enveloppe pour un écart-type. Temps présent : 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...

La Tunisie

Surface 164.000 km²

Cultivable : 5 millions d'ha

Irrigable : 0,56 million d'ha

10 millions d'habitants



La Tunisie

Surface 164.000 km²

Cultivable : 5 millions d'ha

Irrigable : 0,56 million d'ha

10 millions d'habitants

Pluie 220 mm/an

Total eau de pluie 36 km³/an

Eau évapotranspirée 12 km³/an

Ruissellement total : 2,7 km³/an

Ruissellement récupérable 2,1 km³/an

Eau souterraine exploitable : 2,15 km³/an



Bilan en eau de la Tunisie

2025

**Idem +
Chgt
Clim**

Unité

2004

Population

Millions

Demande alimentaire, équival eau/hab

m³/a

Demande alimentaire, volume total

km³/a

Demande directe, AEP et industrie/hab

m³/a

Demande directe, total

km³/a

Volume d'eau d'irrigation

km³/a

Agriculture pluviale, eau verte

km³/a

Eau virtuelle importée (blé, orge)

km³/a

Besoins en eau totaux

km³/a

Taux de dépendance en eau importée

-

Contenu en eau des aliments

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

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

Bilan en eau de la Tunisie

2025

**Idem +
Chgt
Clim**

	Unité	2004	
Population	Millions	10	
Demande alimentaire, équival eau/hab	m³/a	1450	
Demande alimentaire, volume total	km³/a	14,399	
Demande directe, AEP et industrie/hab	m³/a	55	
Demande directe, total	km³/a	0,546	
Volume d'eau d'rrigation	km³/a	2,008	
Agriculture pluviale, eau verte	km³/a	8,000	
Eau virtuelle importée (blé, orge)	km³/a	4,591	
Besoins en eau totaux	km³/a	14,945	
Taux de dépendance en eau importée	-	31%	

Bilan en eau de la Tunisie

2025

**Idem +
Chgt
Clim**

Unité

2004

Population

Millions

10

12,15

Demande alimentaire, équival eau/hab

m³/a

1450

1700

Demande alimentaire, volume total

km³/a

14,399

20,655

Demande directe, AEP et industrie/hab

m³/a

55

70

Demande directe, total

km³/a

0,546

0,851

Volume d'eau d'irrigation

km³/a

2,008

2,004

Agriculture pluviale, eau verte

km³/a

8,000

9,000

Eau virtuelle importée (blé, orge)

km³/a

4,591

9,900

Besoins en eau totaux

km³/a

14,945

21,506

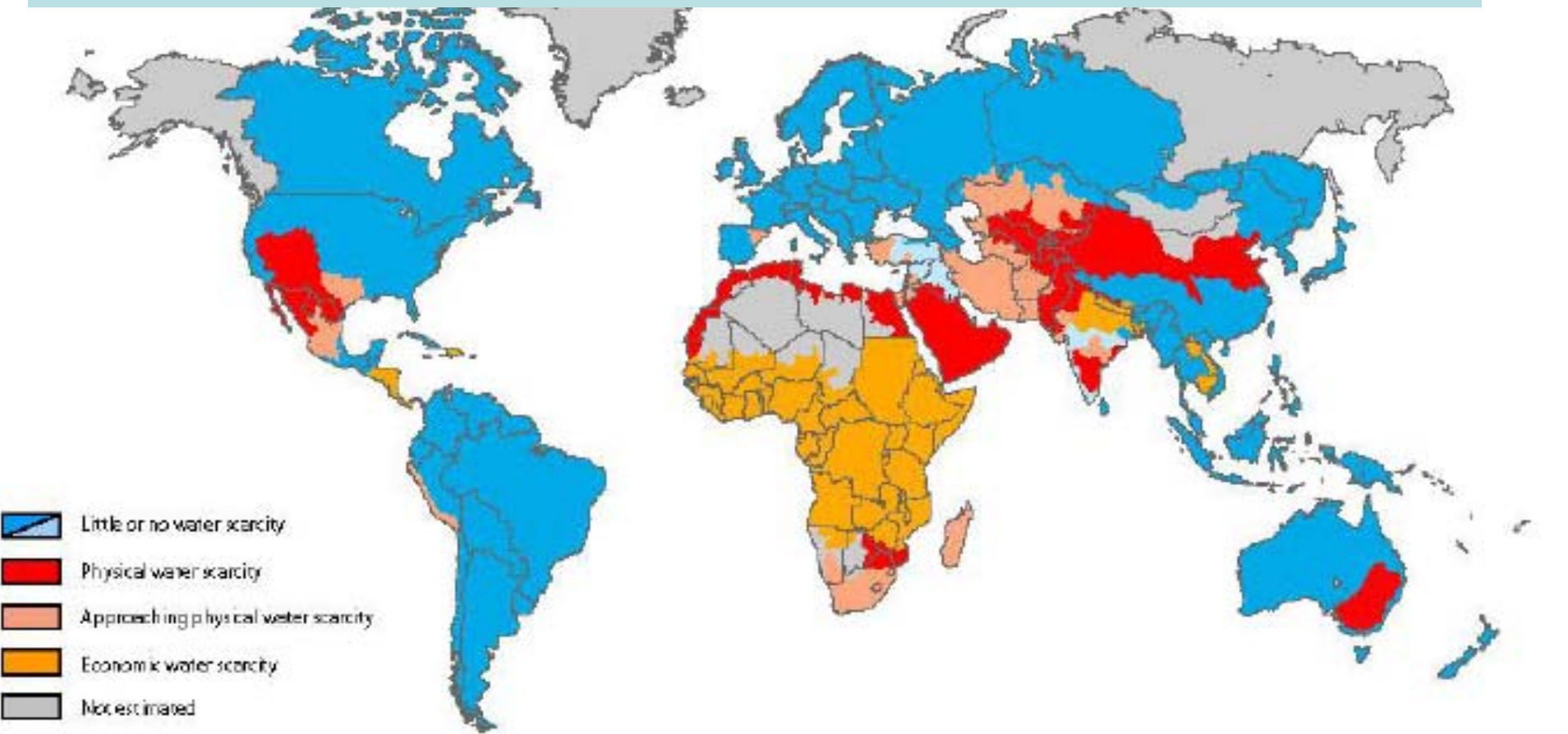
Taux de dépendance en eau importée

-

31%

46%

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.

L'empreinte eau de la France

(cycle hydrologique)

Principaux flux du bilan hydrologique moyen annuel	Volumes, km³/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 des importations du Rhône et de la Garonne	11
Total des ressources en eaux de la France	175

Cycle hydrologique en France

Principaux flux du bilan hydrologique moyen annuel	Volumes, km ³ /an
Recharge totale des nappes souterraines ; 98% s'écoule en rivière, et 2% en mer.	100
Eaux de ruissellement	75
Total des prélèvements par les hommes pour des besoins énergétiques	19
Total des prélèvements d'eau de surface (sauf énergie)	8,7
Total des prélèvements d'eau souterraine.	6,3

Consommation d'eau en France (km³/an)

Prélèv.	Eau domes	Indust.	Irrig.	Produc. Energie	Total
Eaux de Surface	2,6	2,3	3,8	19	8,7 + 19
Eaux souterr.	3,7	1,5	1,1	0,019	6,3
Total	6,3	3,8	4,9	19	34
Quantités d'eau consommée	14% 0,880	14% 0,420	75% 3,67	2% 0,380	16% 5,35

L'empreinte écologique « eau »

- **L'empreinte eau d'un individu, d'une communauté ou d'une entreprise est définie comme le volume total d'eau douce utilisé pour produire les biens et services consommés par l'individu ou la communauté, ou produits par l'entreprise (ou le producteur agricole).**

Exemple d'empreinte eau



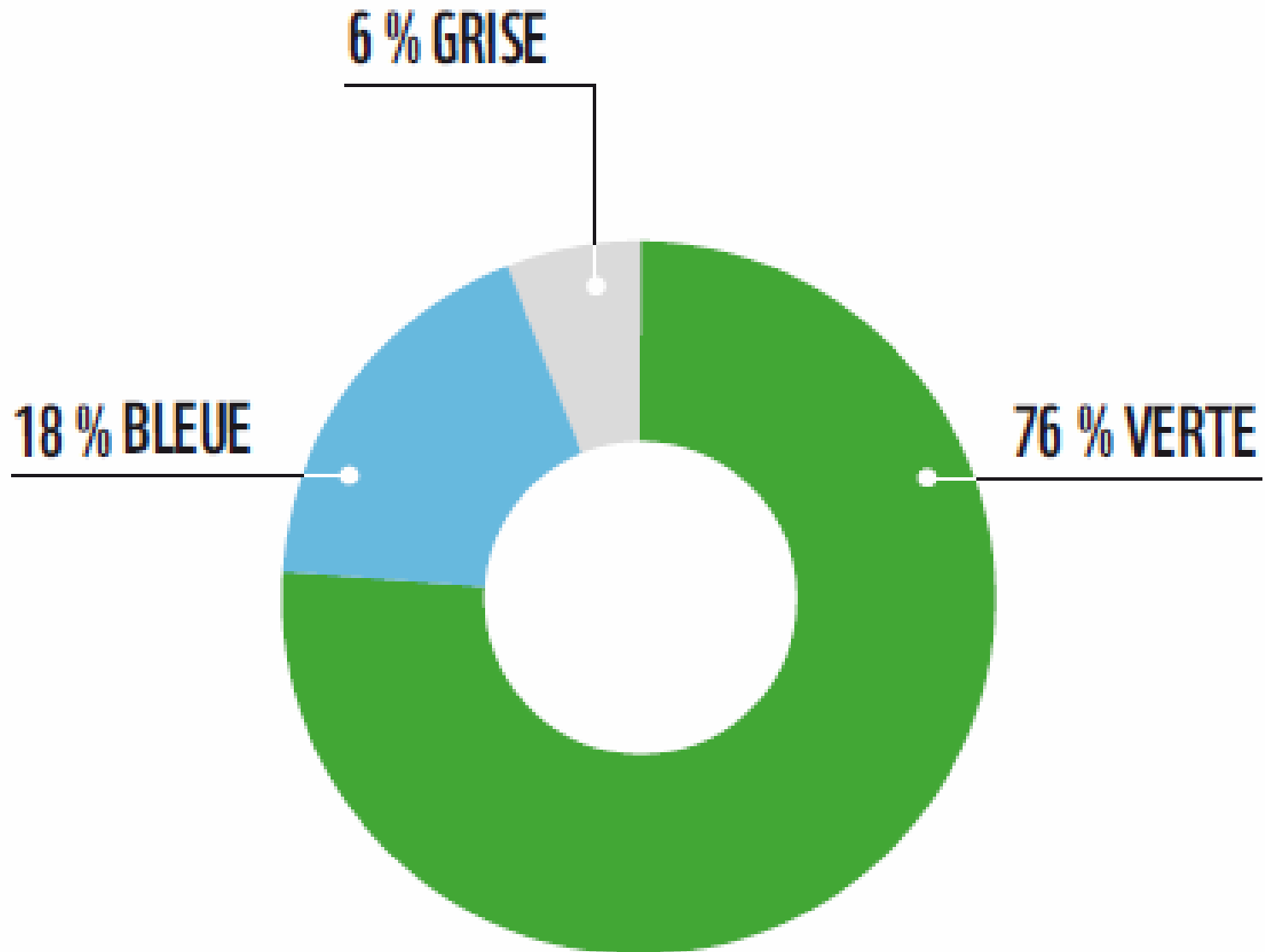
L'empreinte eau, suite

- **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.

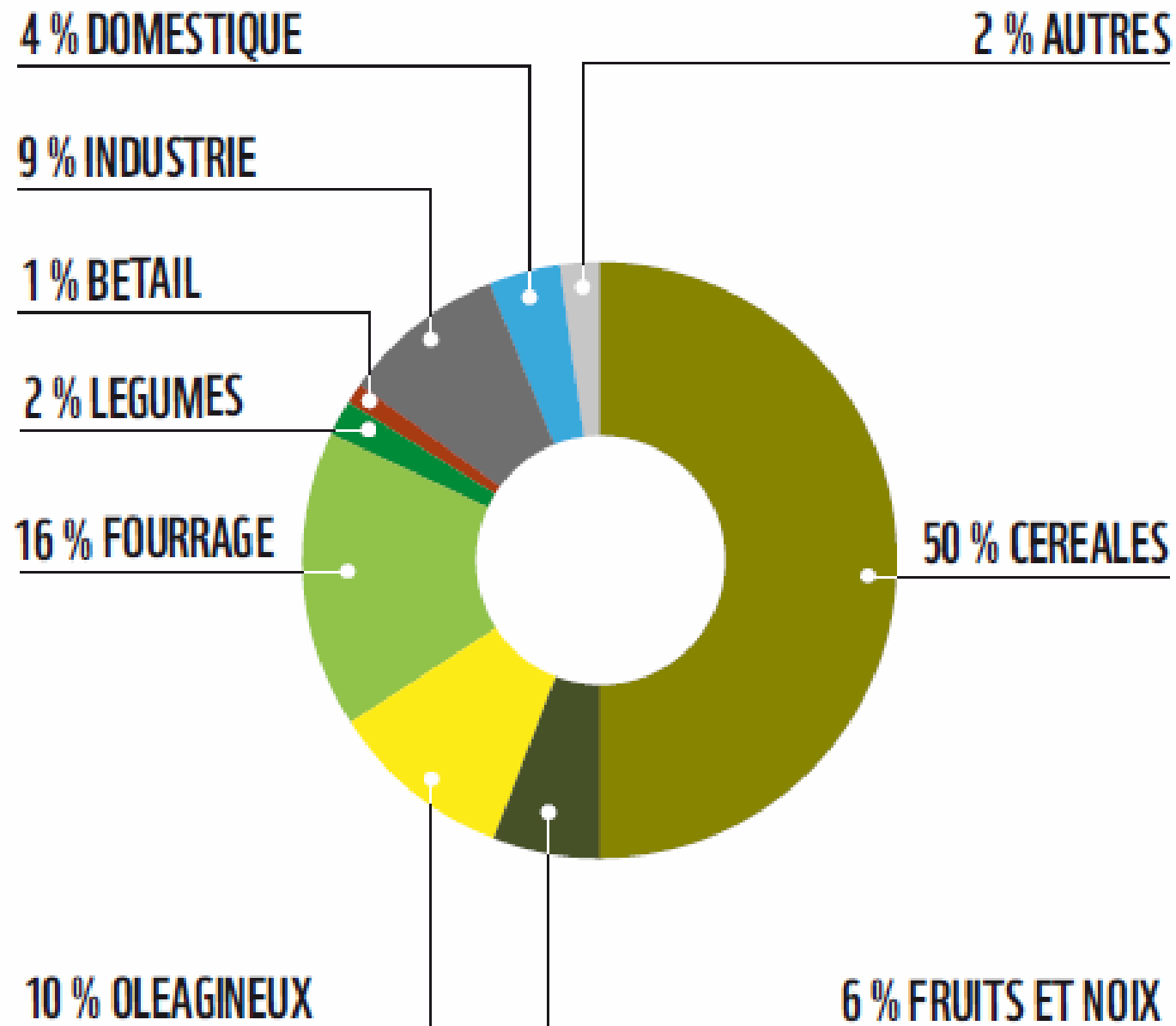
L'empreinte eau, suite

- L'empreinte eau de production totale de la France est de 90 km³ (ou milliards de m³) par an (moyenne 1996 – 2005) , soit 1% de l'empreinte eau de production mondiale. Elle se compose en majorité d'empreinte eau verte
- **Les cultures représentent 86 % de l'empreinte eau de production**
(essentiellement sous forme d'eau verte), les céréales comptant à elles seules pour 50 % de cette empreinte.

L'empreinte eau de production



L'empreinte eau de production



L'empreinte eau de consommation

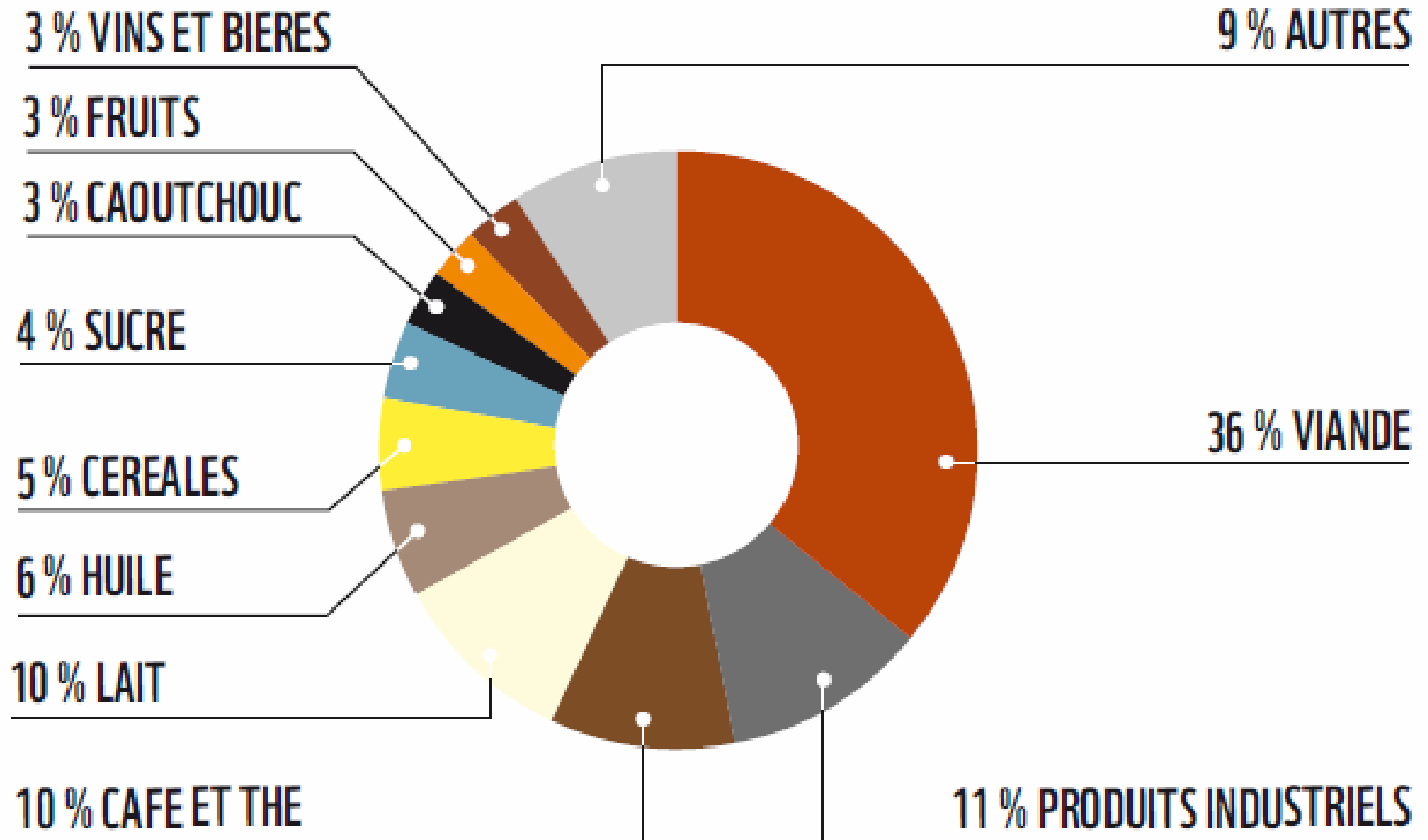
Total : 106 km³/an

76% eau verte

87% eau agricole

PRODUITS AGRICOLES						PRODUITS INDUSTRIELS				USAGES DOMESTIQUES	
INTERNE			EXTERNE			INTERNE		EXTERNE			
Verte	Bleue	Grise	Verte	Bleue	Grise	Bleue	Grise	Bleue	Grise	Bleue	Grise
43,7	1,4	3,8	36,7	4,6	2,1	0,9	3,3	0,6	6,3	0,6	2,2

L'empreinte eau de consommation



L'empreinte eau de consommation

m³ par an et par habitant

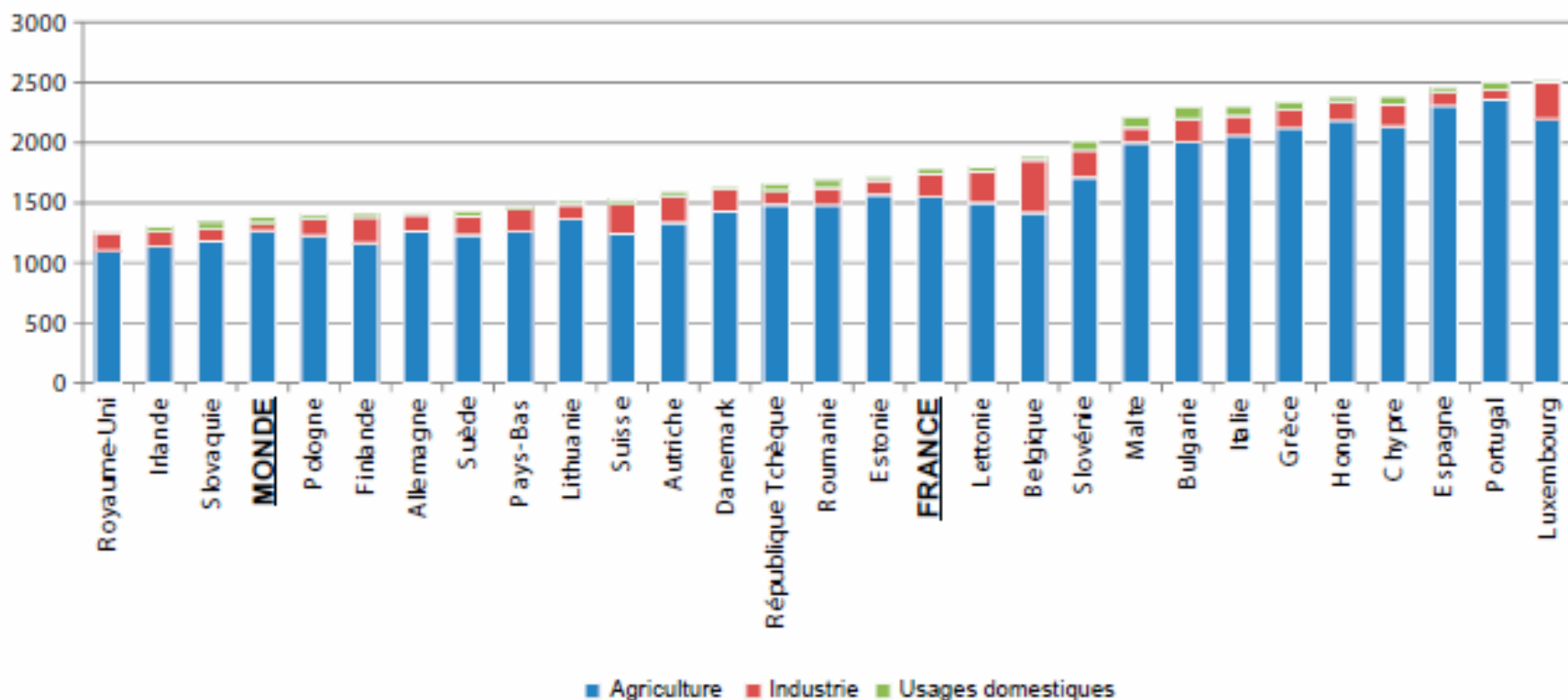
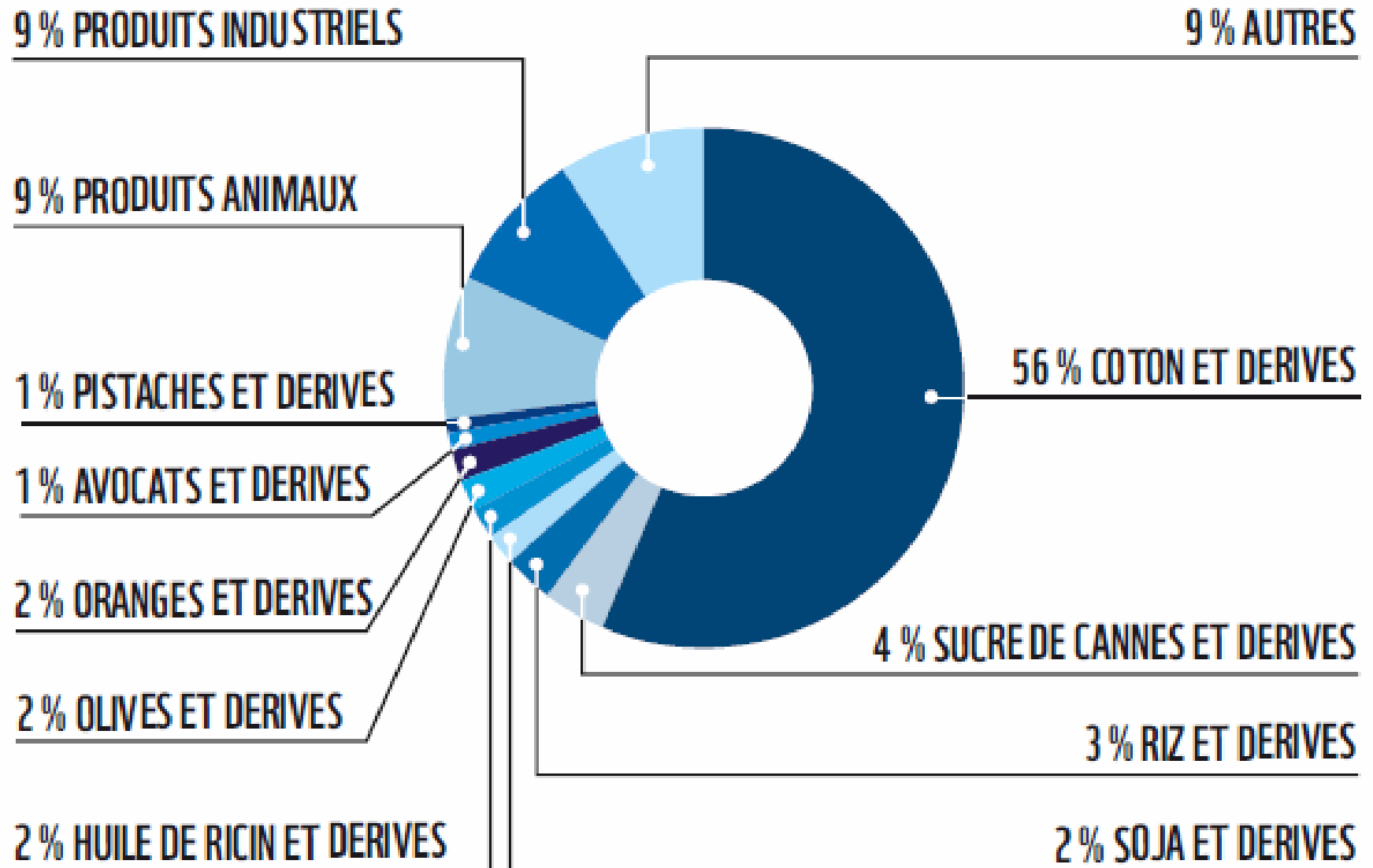


Fig 7 : Empreinte Eau de consommation par personne dans l'Union Européenne, et moyenne mondiale (en m³/an/ personne)

Importation d'eau bleue virtuelle



6. Demande mondiale en eau...

Demande en eau	1900	1950	1980	1990	2000
Population (millions)	2.000	2.542	4.410	5.285	6.200
Prélèvements annuels totaux, km ³ /an	579	1.382	3.175	3.632	4.000
Consommation totale, km³/an	330	758	1.554	1.821	1.950
Surfaces irriguées, M ha	47.3	101	198	243	265
Prélèvements Agricoles, km ³ /an	513	1,080	2.112	2.425	2.600
Consommation agricole, km³/an	321	722	1.445	1.697	1.800
Rapport Consommation/Prélèvements	63 %	67 %	68 %	70 %	70 %
Surfaces Cultivées en pluvial, M ha					1.300
Surfaces de parairie-paturage					4.600
Consom. Agriculture pluviale, km³/an					6.330
Prélèvements Domestiques, km ³ /an	21,5	86,7	219	305	380
Consommation Domestique, km ³ /an	4,6	16,7	38,3	45	50
Rapport Consommation/Prélèvements	21 %	19 %	17 %	15 %	14 %
Prélèvements Industriels, km ³ /an	44	204	713	735	780
Consommation Industrielle, km ³ /an	5	19	71	79	100
Rapport Consommation/Prélèvements	11 %	9 %	10 %	11 %	11 %
Evaporation dans les barrages, km ³ /an	0,3	11,1	131	167	210

Adapté de Shiklomanov, 1999, et Académie des Sc., 2006
(Ressource en eau “bleue” disponible : 13,500 km³/an pour prélèvements)

Demande en eau, 2000

Tous chiffres en km³/a	Popu Millions	Pluie	Ecoulement Total	Prélè. Agric irrig	Prélè. Ind. Industriels	Prélè. domestiques	Total Prélè. v.	Prélè. sur écoulement	Cons. hors pluvi. al	Cons. Agric. Pluviale	Conso. totale avec pluvi. al	Conso. par individu m³/an
Europ	712	7 400	3 000	440	220	70	730	24 %	340	1 420	1 760	2 470
Asie	3 722	33 600	12 500	1 600	250	180	2 030	16 %	1 175	2 340	3 515	940
Afrique	853	21 300	4 000	160	20	25	205	5%	120	400	520	730
Amérique Nord	489	14 200	5 600	320	230	75	625	11 %	260	1 200	1 460	3 000
Amérique Sud	367	30 000	9 800	80	60	30	170	2%	70	820	890	2 425
Australie, Îles du Pacifique	30	6 500	1 900	20	2	5	27	1%	15	150	165	5 500
TOTAL	6 200	113 000	36 800	2 620	782	385	3787		1980	6 330	8 310	

7. En 2050....

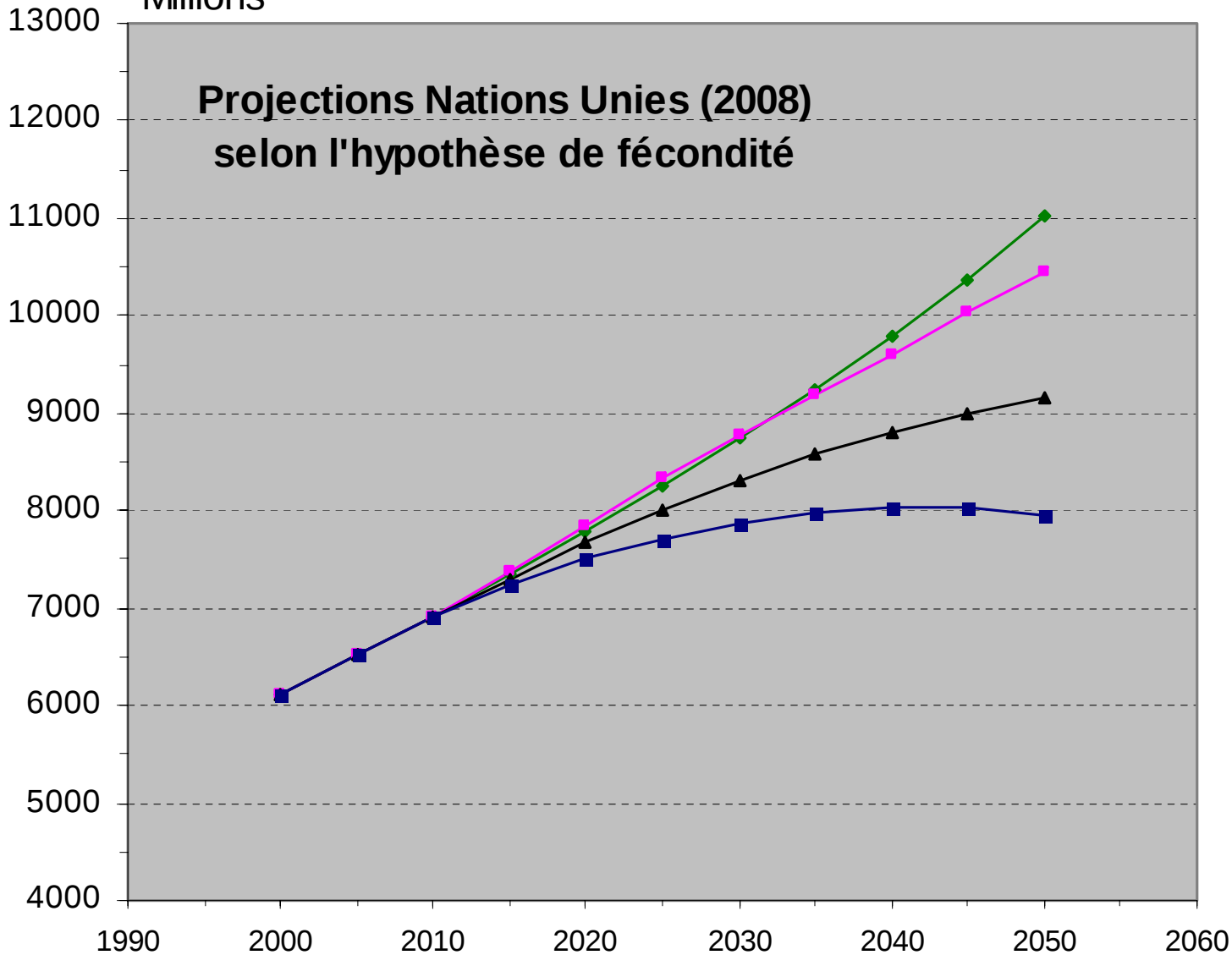
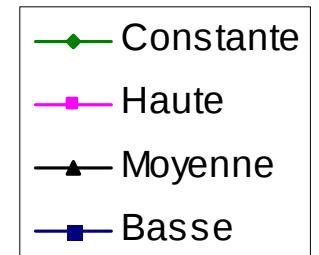
Démographie

- 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 km³/an)**
 - **1 300 millions d'ha d'agriculture pluviale et des surfaces prairies-arbustes en pâture, 3 200 millions ha (consommant 6 330km³/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.

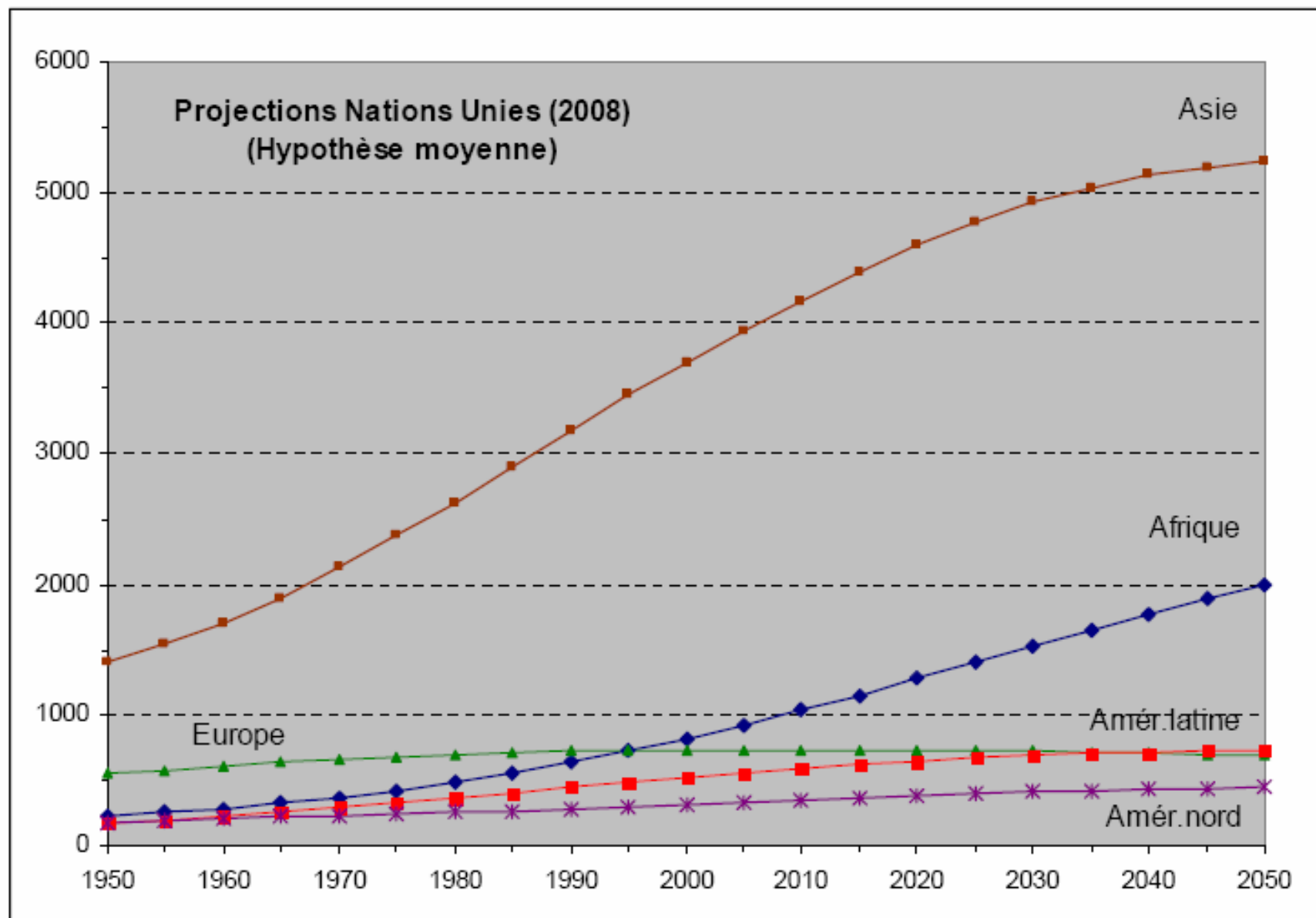
Projections démographiques 2000-2050 (Nations-Unies, 2008)

Millions

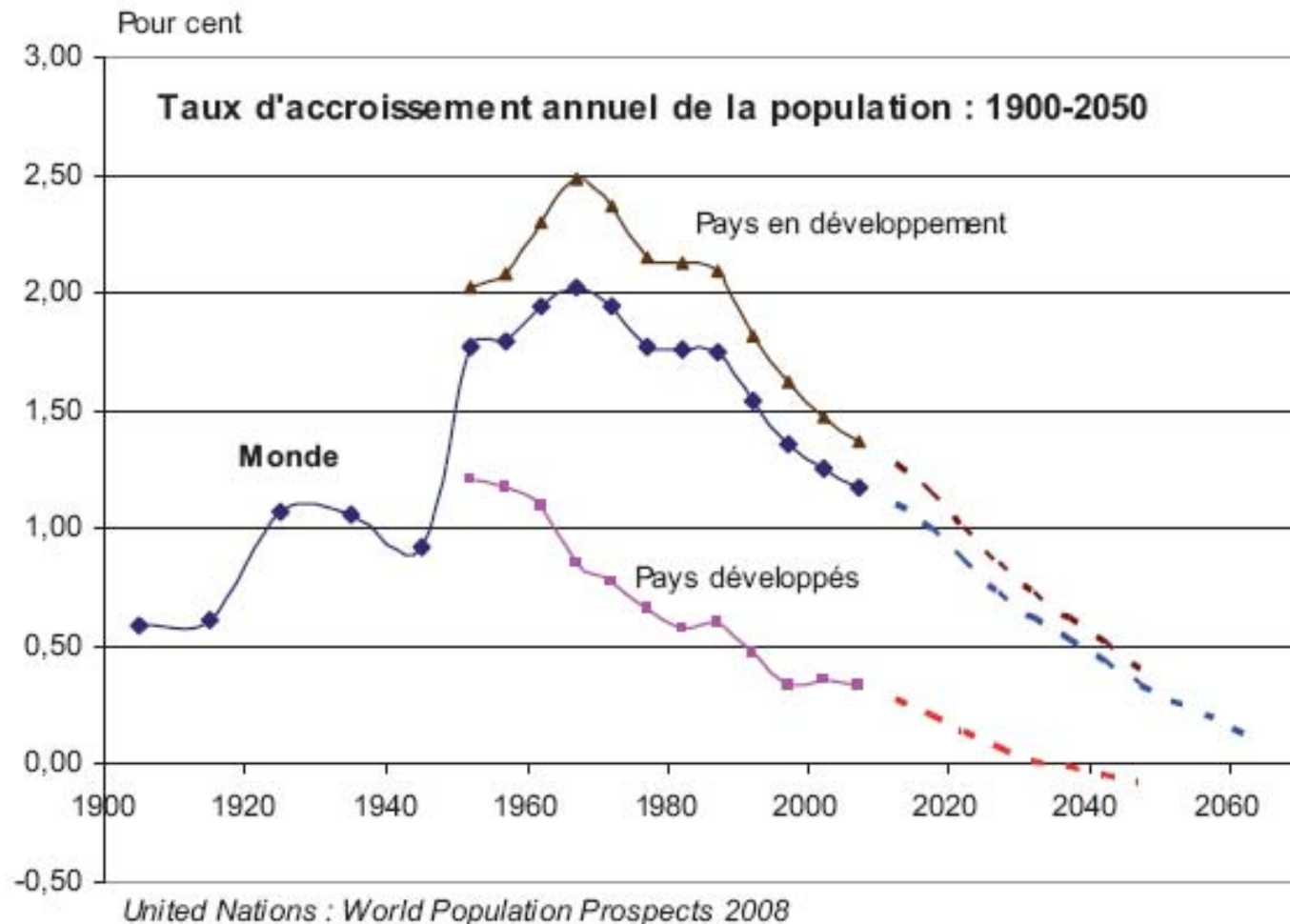
Projections Nations Unies (2008)
selon l'hypothèse de fécondité



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



Taux d'accroissement de la population mondiale



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 :

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

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)

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

Nutrition...

- En 2005, il y avait 1,3 milliards de personnes en surpoids, dont 400 millions d'obèse; 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 obèse, 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**

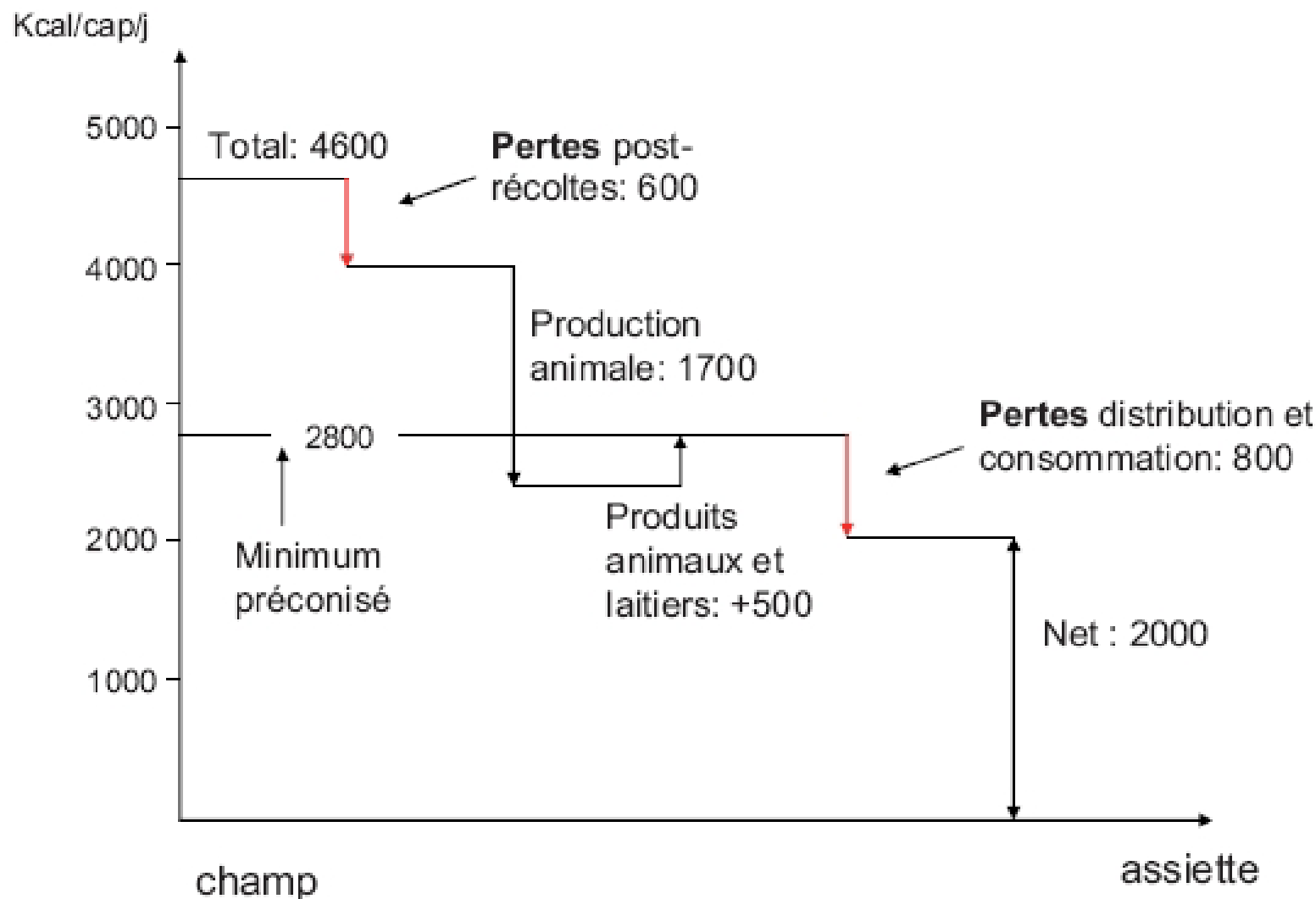
Regions	Asie	Améri que Latine	Moyen Orient, Afr.du Nord	Afrique Sub- Sahari enne	OECD	Russi e Et CEI	Total
Multiplicateur des besoins 2050/2000	2.1	1.9	2.1	3,2	1,27	1,26	1,85
Production 2000, Mt	1310	350	220	250	1020	190	3340
Production nécessaire en 2050, Mt	2720	665	455	800	1300	240	6180

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

Que peut-on faire ?

- Il faudrait utiliser en plus environ
4 500 km³/an d'eau
- Réduire les pertes et le gaspillage (~30% de la production)
- Augmenter la productivité, les rendements agricoles...
- Augmenter les surfaces irriguées...
- Augmenter les surfaces d'agriculture pluviale...

Pertes alimentaires



Source SIWI, 2008

Augmenter la productivité...

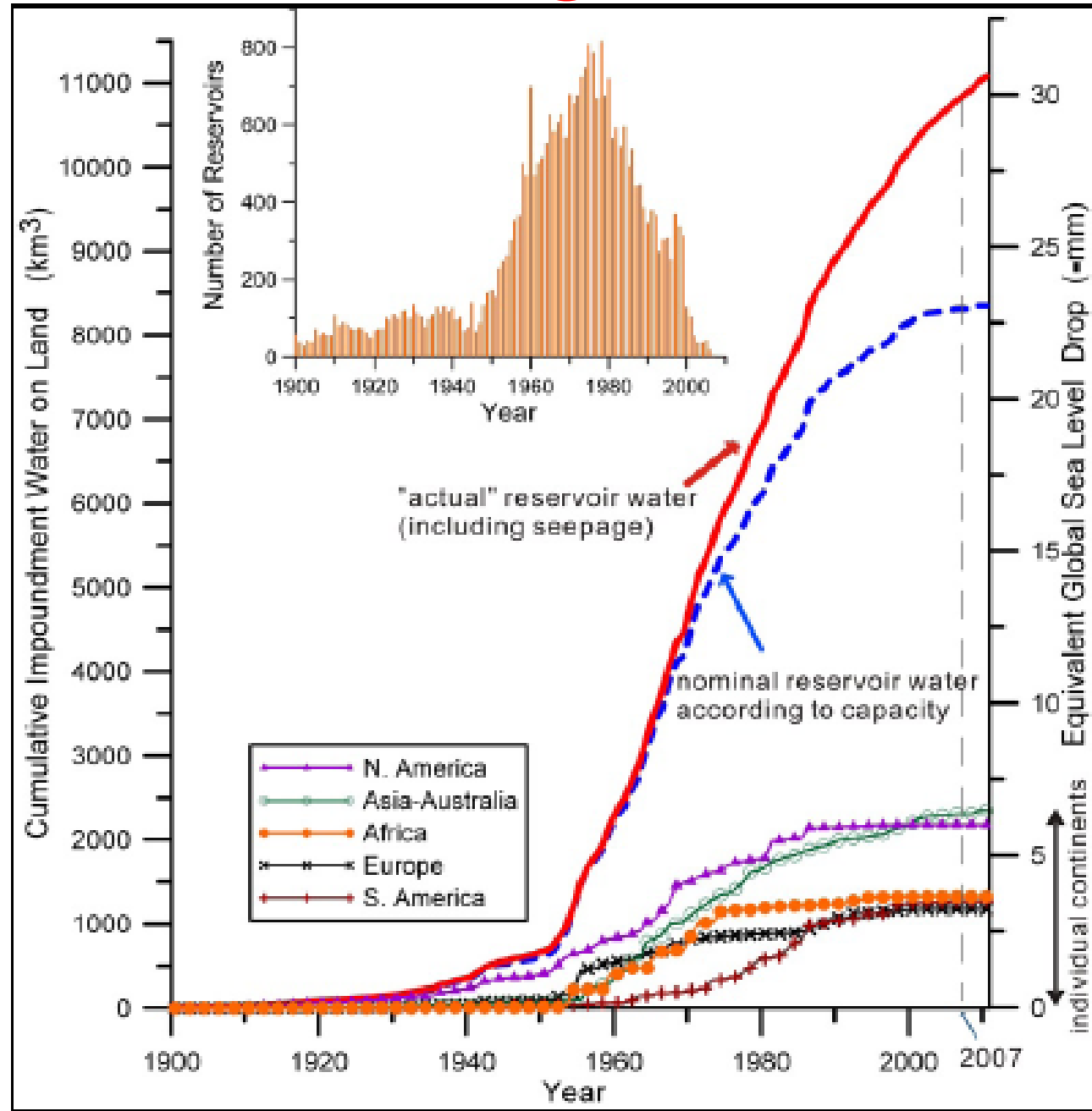
- Efficacité d'utilisation de l'eau...
- Développement de nouvelles variétés (sélection génomique, OGM ?), par exemple pour des conditions semi-arides et des sols salés
- Augmenter l'emploi de fertilisants et phytosanitaires dans les PED...
- Nourrir la planète avec du pur « bio » est hélas impossible; 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 km³/a
- **Très insuffisant...comparé aux besoins de 4.500 km³/a nécessaires**
 - **L'augmentation de l'agriculture pluviale semble être la seule solution**

Construction de barrages...

(Chao et al., 2008)



Agriculture pluviale....

Surface disponible pour l'agriculture en 2000 (10⁶ha)

	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)

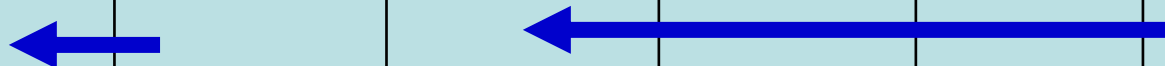
	Asie	Am. Latine	M.O, Af.N	Afr.sub-sah
A: augmentation (10⁶ha) de l'agr. Pour les aliments en 2050	+50 (100 pour les aires protégées)	+185	0 Tout l'espace utilisé	+600 (200 pour les aires réservées)
B: rendements supposés	+50% (possible mais difficile) 4t/ha=>6t/ha	Sans changements 1.35t/ha	Difficile d'augmenter les rendements	+40% les bas rendements actuels (1.15t/ha) pourraient atteindre 1.60t/ha
C: augmentation de la production (Mt)	≈+1200	+250	0	+550
D: Production totale attendue en 2050 (prod 2000+C)	1960	665	155	800
E: Besoins en 2050	2720	665	455	800
F:Deficit en 2050 (D-E)	-760	0	-300	0
Surface totale disponible avec aires protégées	65	480	0	293

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

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 Gm³/an

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...

**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**

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...

Prix agricoles depuis 1900

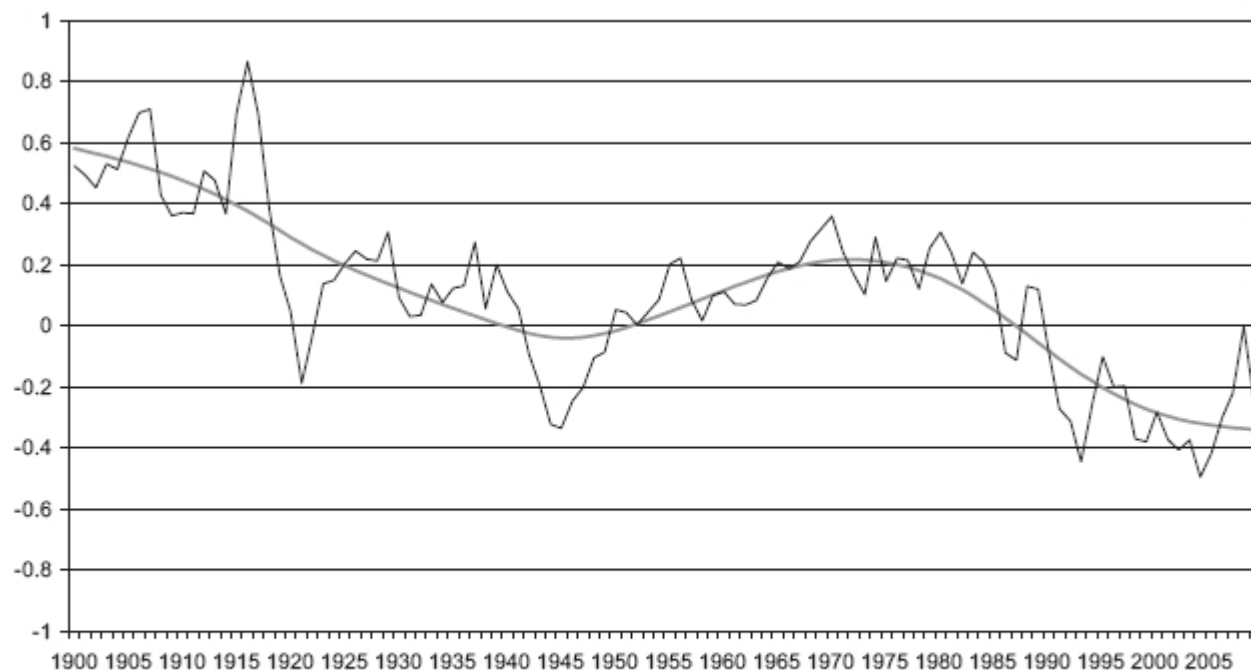


Figure 6.1

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

8.

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

9. Et les écosystèmes ?







To make way for an oil palm plantation, land in Sarawak, in Malaysia's 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

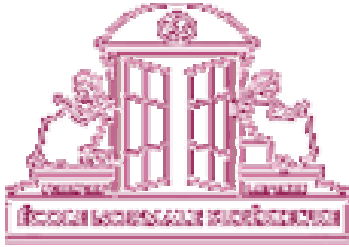


A scenic landscape photograph. In the background, a dense forest of evergreen trees covers a hillside under a blue sky with scattered white clouds. The middle ground features a large, flat, dry field with yellowish-brown grass. A small, calm pond is situated in the foreground, reflecting the sky and the surrounding trees. The text "Gone with the wind..." is overlaid in a large, blue, italicized font across the middle of the image.

Gone with the wind...



Delta de l'Okavango (Namibie)
Kinzelbach, 2006



Ecole Normale Supérieure - Paris

CERES-ERTI

Cycle de Conférences 2012-2013

L'eau, les enjeux du 21^e siècle
9 octobre 2012

L'eau, un trésor en partage

Ghislain de Marsily

Université Pierre et Marie Curie - Paris VI - Académie des Sciences