

Université Paris XII-Val de Marne

ENPC

Université Paris 7



Master SGE Module Eau (34U3)

D. Thévenot

thevenot@cereve.enpc.fr

Cereve



Centre d'Enseignement
et de Recherche
Eau Ville Environnement

Documents pédagogiques disponibles à :
<http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/enseignement.html>

Master SGE: Introduction au M1

■ Première année de fonctionnement: 2005-2006

⇒ En 2004-2005: année de transition du master SGE à P.7

- Dernière année des Maîtrises, MST et DEA à P.12

⇒ En 2005-2006: mise en place de tous les enseignements

- Quelques difficultés prévisibles !

- Enseignements répartis entre P.12 & P.7

Master SGE: Introduction au M1

■ Rappels importants

- ⇒ Succès à la 1^{ère} année du Master SGE
 - Pas automatique ⇒ redoublement possible !
- ⇒ Admission en spécialité de 2^{ème} année
 - Candidature(s) nécessaire: enquêtes, dossiers, entretiens
 - Dépend des études antérieures: Licence
 - Dépend des résultats en M1, age, contrat d'apprentissage

■ Présentation de Daniel Thévenot

- ⇒ Activité pédagogique
- ⇒ Activité scientifique

Présentation de D. Thévenot

■ Enseignement

⇒ Pollution et traitement de l'eau

⇒ Direction d'Unités d'Enseignement (UE)

○ Master SGE: 1^{ère} année

➤ Eau

➤ Économie & Politique de l'Environnement

➤ Module Optionnel: Physico-chimie

○ Master SGE: 2^{ème} année

➤ Spécialité Professionnelle en apprentissage: Management de l'Environnement des Collectivités et des Entreprises (MECE)

➤ Spécialité Recherche et Professionnelle: Systèmes Aquatiques et Gestion de l'Eau (SAGE) → Épuration des eaux usées

⇒ *Mesures et/pour l'environnement (jusqu'à 2004-2005)*



Présentation de D. Thévenot

■ Recherche au Cereve

- ⇒ Micropolluants métalliques et hydrocarbures
- ⇒ Eaux pluviales urbaines: retombées atmosphériques et eaux de ruissellement
- ⇒ Systèmes d'aide à la décision en environnement
- ⇒ Programmes de recherche
 - **PIREN Seine**: Zone atelier du CNRS sur la Seine
 - **DayWater**: Développement d'un système adaptatif d'aide à la décision pour la gestion à la source des eaux pluviales urbaines

www.daywater.org

(programme Européen)



Module Eau (34U3): Plan

1. Eau et ses polluants dans un bassin versant

⇒ D. Thévenot (4 x 1,5 h)

2. Hydrogéologie

⇒ G. Varrault (2 x 1,5 h)

3. Traitement des eaux usées (domestiques & industrielles)

⇒ D. Thévenot (2 x 1,5 h)

4. Traitement des eaux pluviales urbaines

⇒ D. Thévenot (2 x 1,5 h)

5. Production d'eau potable

⇒ D. Thévenot (2 x 1,5 h)

6. Gestion de l'eau

⇒ J.-M. Mouchel (2 x 1,5 h)

Chap. 1. Eau et ses polluants: Plan

1.1. L'eau dans les bassins versants: Cycle de l'eau

1.1.1 Valeurs mondiales des stocks et flux d'eau

1.1.2 Hétérogénéité spatiale des flux d'eau

1.1.3 Variabilité temporelle des flux d'eau

1.2. Principaux polluants et problèmes de qualité

1.3. Sources et puits de pollution

■ Conclusion

1.1. Eau: propriétés physiques (rappels)

■ Densité : max à 4°C

⇒ Retournement
hivernal des lacs

■ Conductivité thermique faible

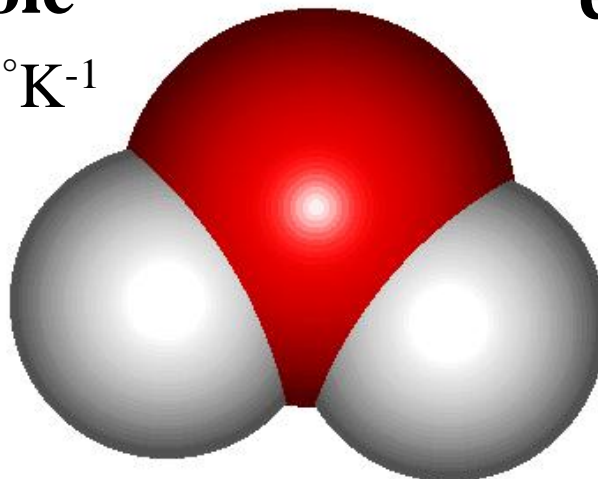
⇒ $K = 5.9 \cdot 10^{-1} \text{ m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

■ Capacité calorifique élevée

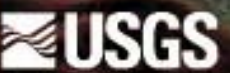
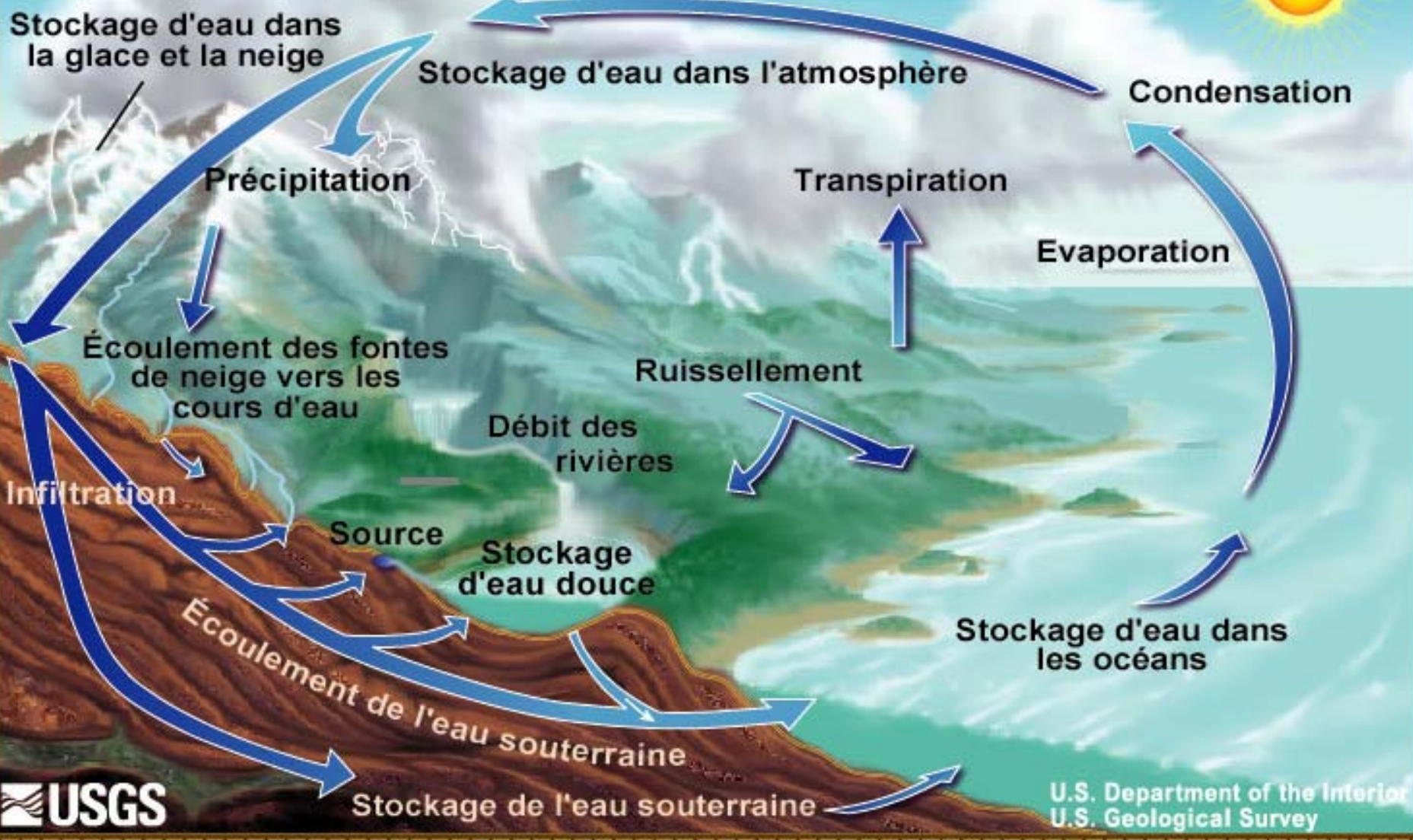
⇒ $C_p = 4,1855 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

■ Chaleur latente élevée (évaporation)

⇒ $L_v = 2300 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$



Le cycle de l'eau



U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey



1.1. Cycle de l'eau :

1.1.1 Stocks mondiaux (km³)



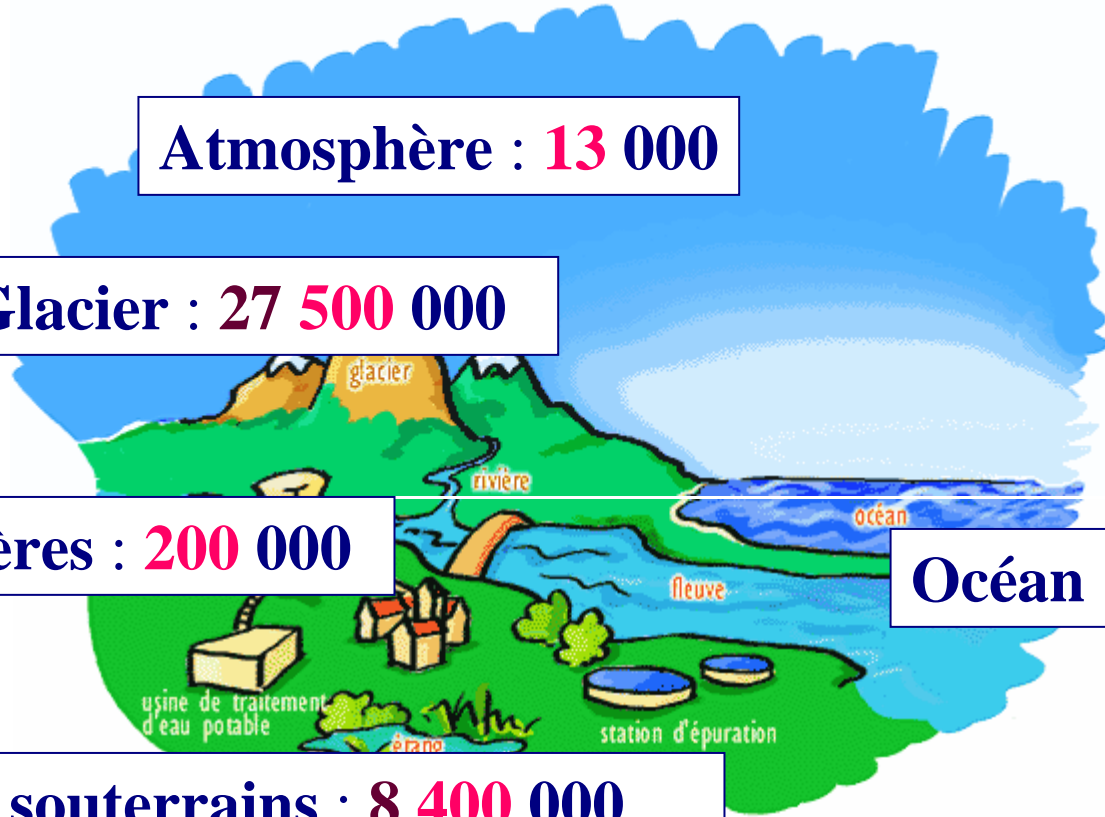
Atmosphère : **13 000**

Glacier : **27 500 000**

Lacs et rivières : **200 000**

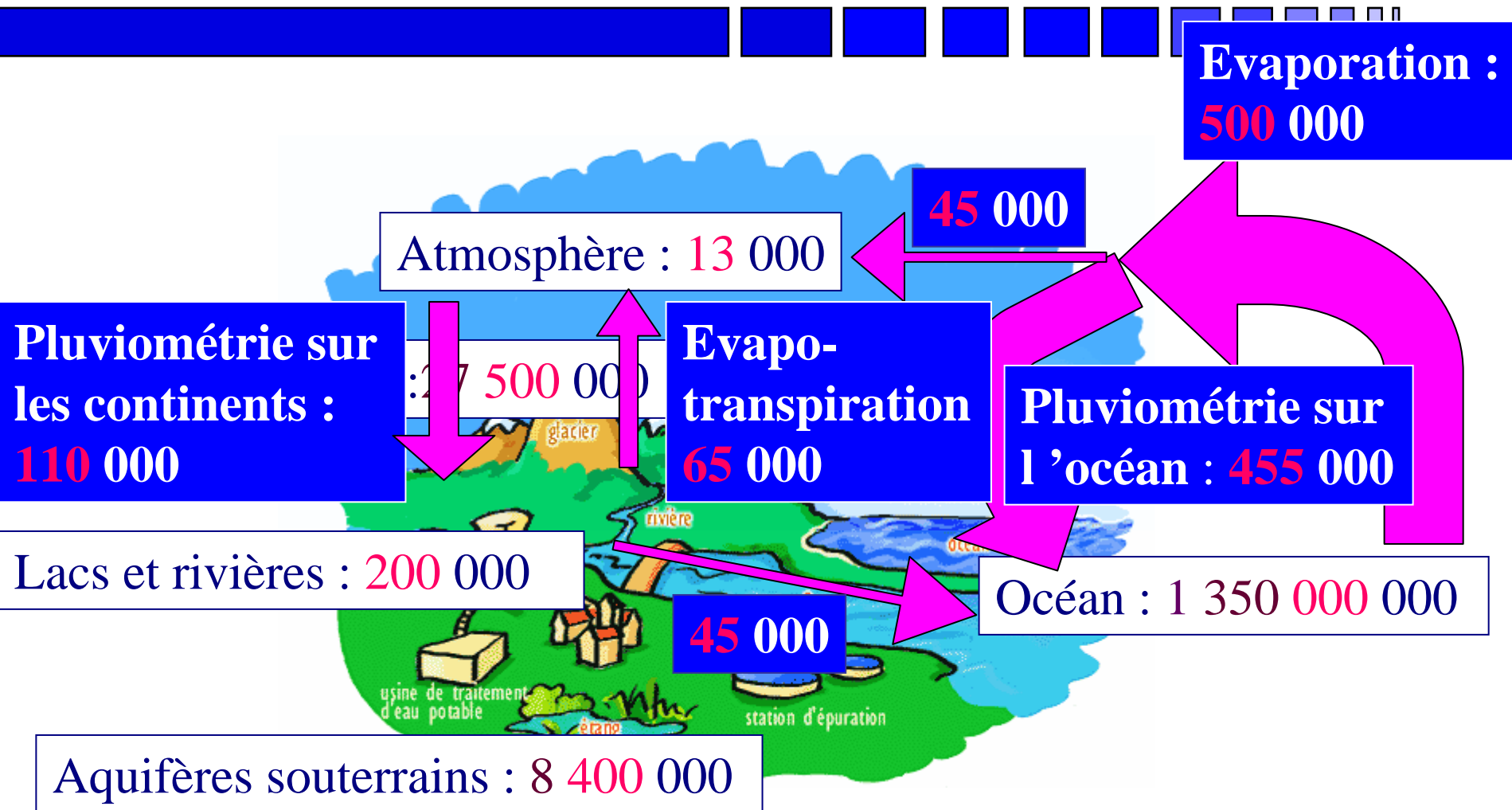
Océan : **1 350 000 000**

Aquifères souterrains : **8 400 000**



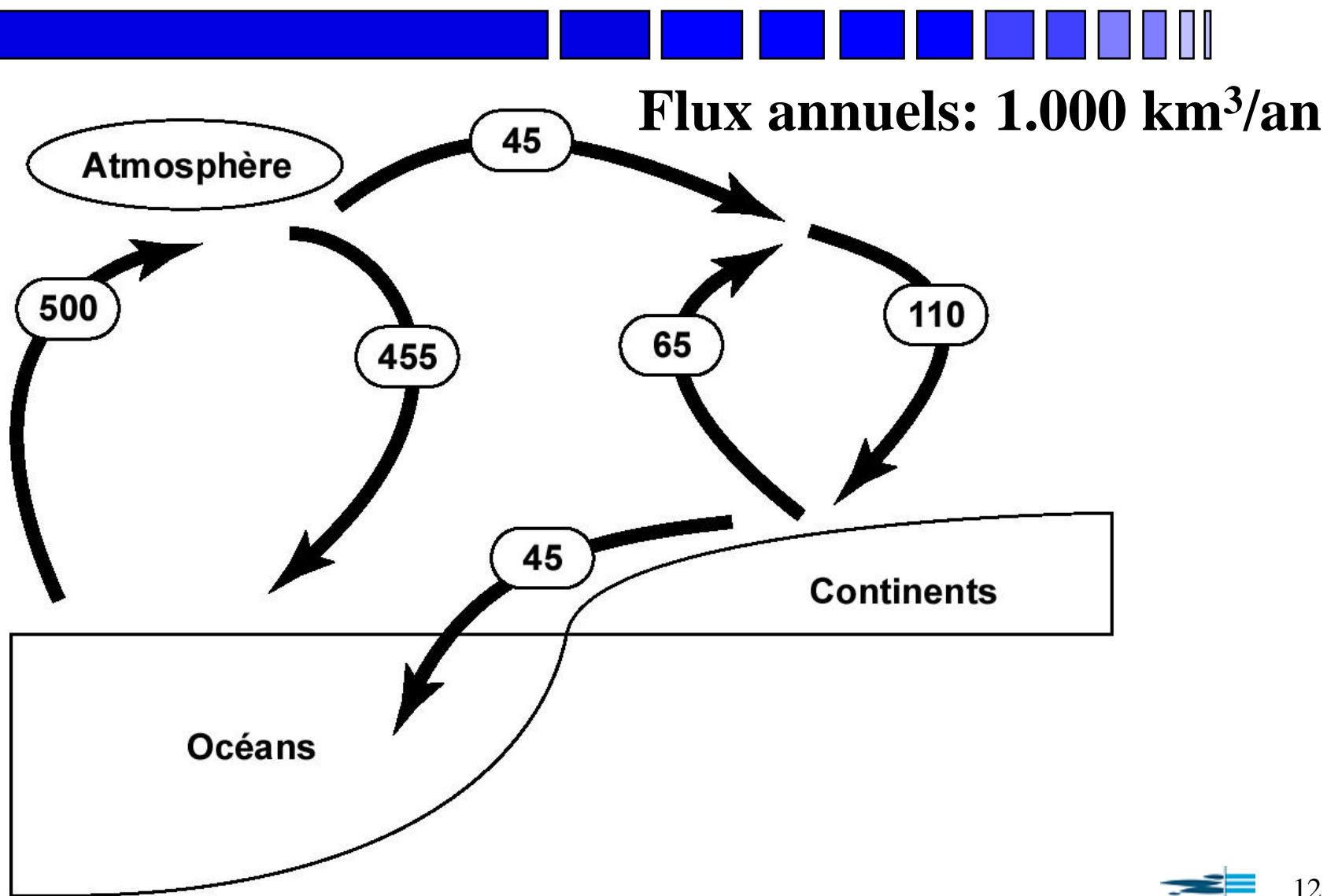
1.1. Cycle de l'eau :

1.1.1 Stocks (km³) et flux annuels (km³/an)



1.1. Cycle de l'eau :

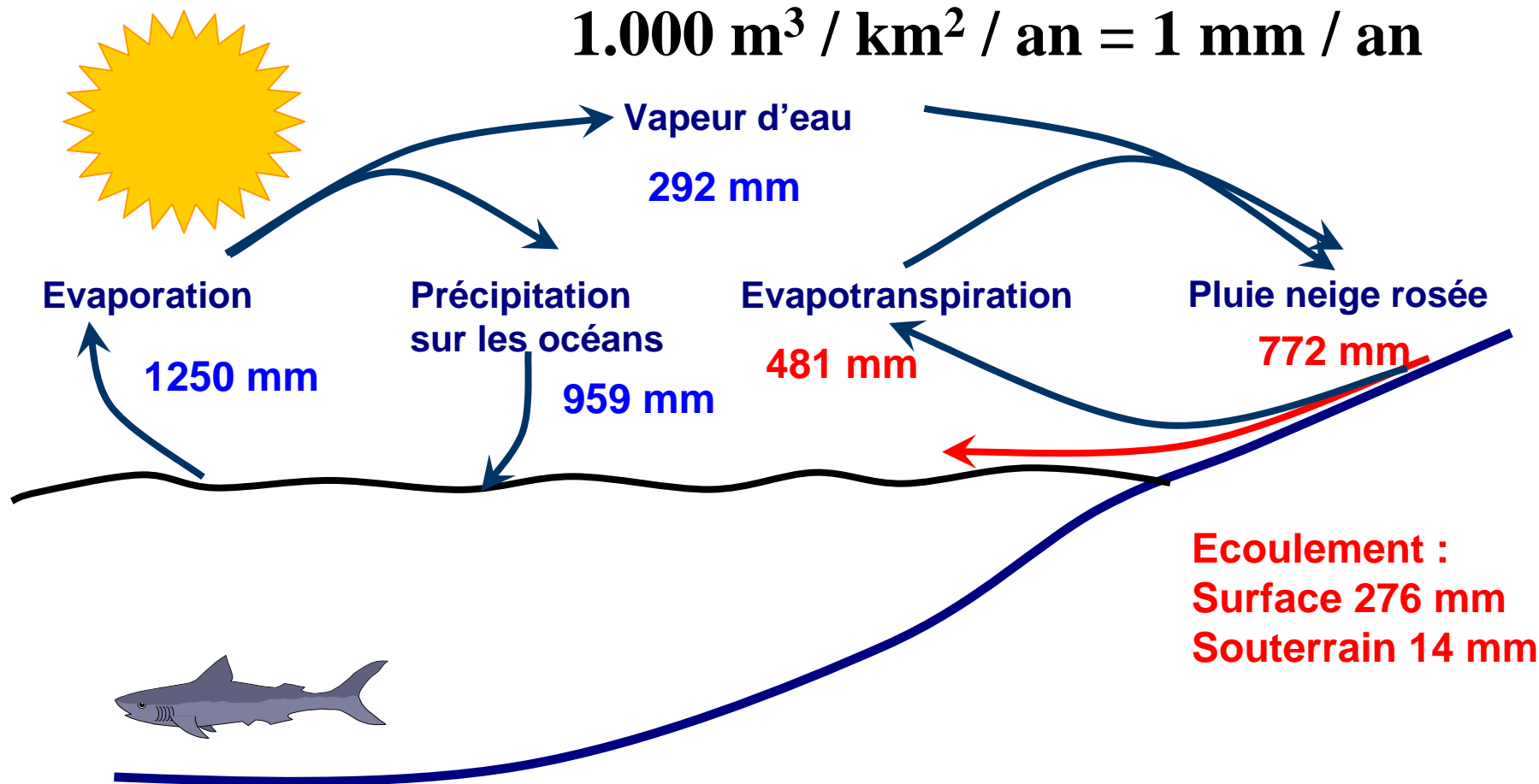
1.1.1 Bilan simplifié des flux annuels d'eau



1.1. Cycle de l'eau :

1.1.1 Bilan simplifié des flux annuels d'eau

$1.000 \text{ m}^3 / \text{km}^2 / \text{an} = 1 \text{ mm} / \text{an}$



1.1. Cycle de l'eau :

1.1.1 Stocks et flux annuels d'eau



Stockage	Volume (10 ³ km ³)	Part du stock total (%)	Temps de séjour (ans)
Océans	1 350 000	97,403	2500
Glaciers	27 500	1,984	1600-9700
Eaux souterraines	8 000	0,592	1400
Mers intérieures	105	0,00758	??
Lacs	100	0,00722	17
Hum. du sol	70	0,00505	1
Vapeur d'eau	13	0,00094	8 jours
Eaux fluviales	1,7	0,00012	16 jours
Eaux cellules	1,1	0,00008	Qqs heures

$$T=V/Q$$

V=vol.

Q=flux



1.1. Cycle de l'eau:

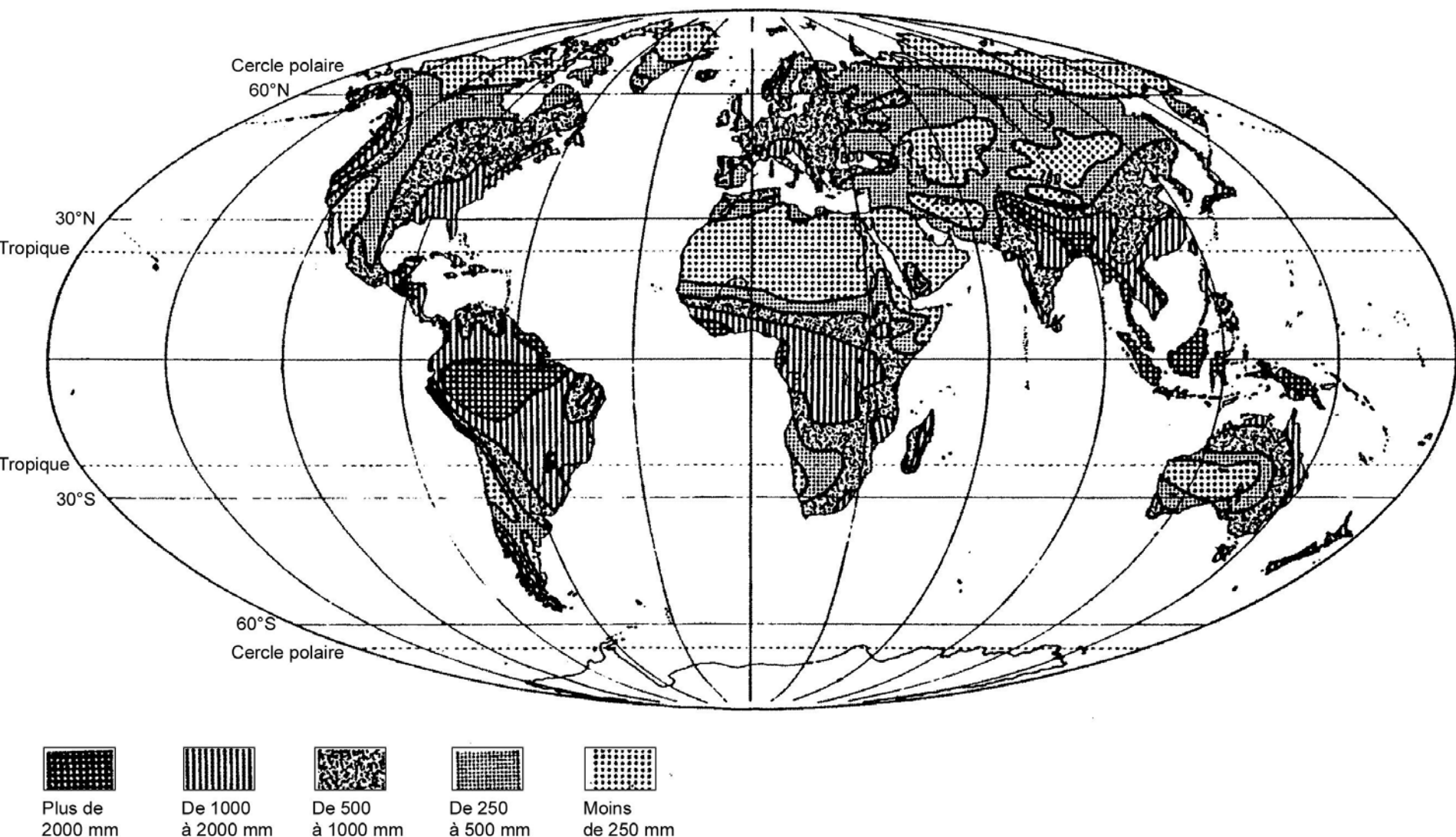
1.1.2 Hétérogénéité des écoulements de surface

■ Hétérogénéité géographique des écoulements

⇒ très grande !

Continent	Ecoulements: $10^3\text{m}^3/\text{an}/\text{km}^2$ ou mm / an	Ecoulements : $10^3\text{m}^3/\text{an}/\text{hab}$
Europe	277	4,23
Am. Nord	324	17,4
Afrique	134	5,72
Asie	311	3,92
Am. Sud	672	38,2
Océanie	269	83,7

1.1.2 Hétérogénéité des pluies (mm / an)



1.1.3 Stabilité des flux d'eau mondiaux continentaux



	Flux annuel (mm/an)		Flux annuel (km ³ /an)	
	1975	1999	1975	1999
Précipitations	720	772	111 000	119 000
Écoulement de surface	175	276,4	27 000	42 600
Écoulement souterrain	68	14,3	10 500	2 200
Fonte des glaciers	16,2		2 500	
Evaporation	460	481,3	71 000	74 200



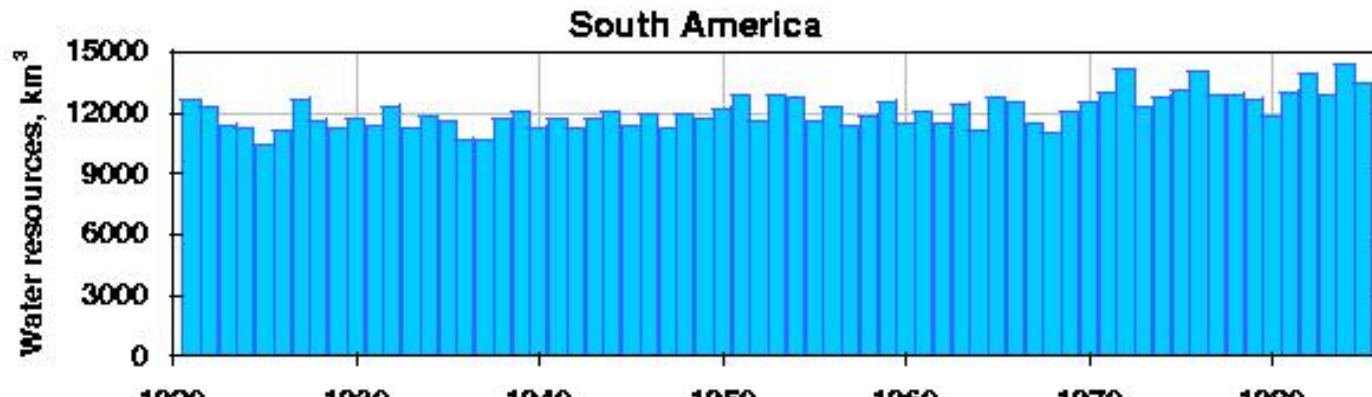
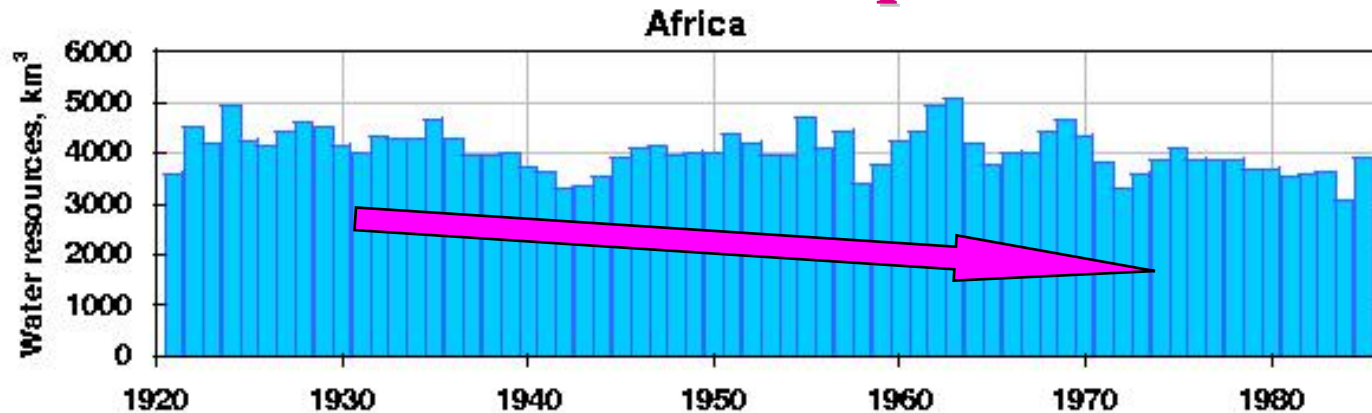
Shiklomanov, 2000



1.1.3 Variabilité temporelle des débits fluviaux annuels

■ Variabilité temporelle des débits annuels

⇒ Stationnarité sauf **Afrique**



1.1. Cycle de l'eau:

1.1.3 Variabilité annuelle des écoulements

■ Tendances à long terme

- ⇒ Relation avec l'échauffement global « global change »
- ⇒ Rôle complexe de l'eau: vapeur et liquide (nuages = parasol !)

■ Régions arides

- ⇒ + 1 à 2 °C
 - -10 % des précipitations
 - -40 à -70 % du ruissellement

■ Saisonnalité des débits

■ Phénomènes extrêmes: crues, inondations

L'eau : le principal effet de serre et effet parasol

Limitation de l'effet de serre

Augmentation de l'effet « parasol » des nuages

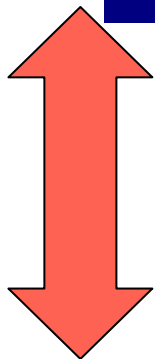
Croissance d'autres gaz à effet de serre

Augmentation de la couverture nuageuse

Les effets du retour de l'eau dans l'atmosphère et les modifications des courants océaniques sont les facteurs les plus incertains dans la modélisation du climat

Augmentation de l'évapotranspiration

Augmentation de la pluie

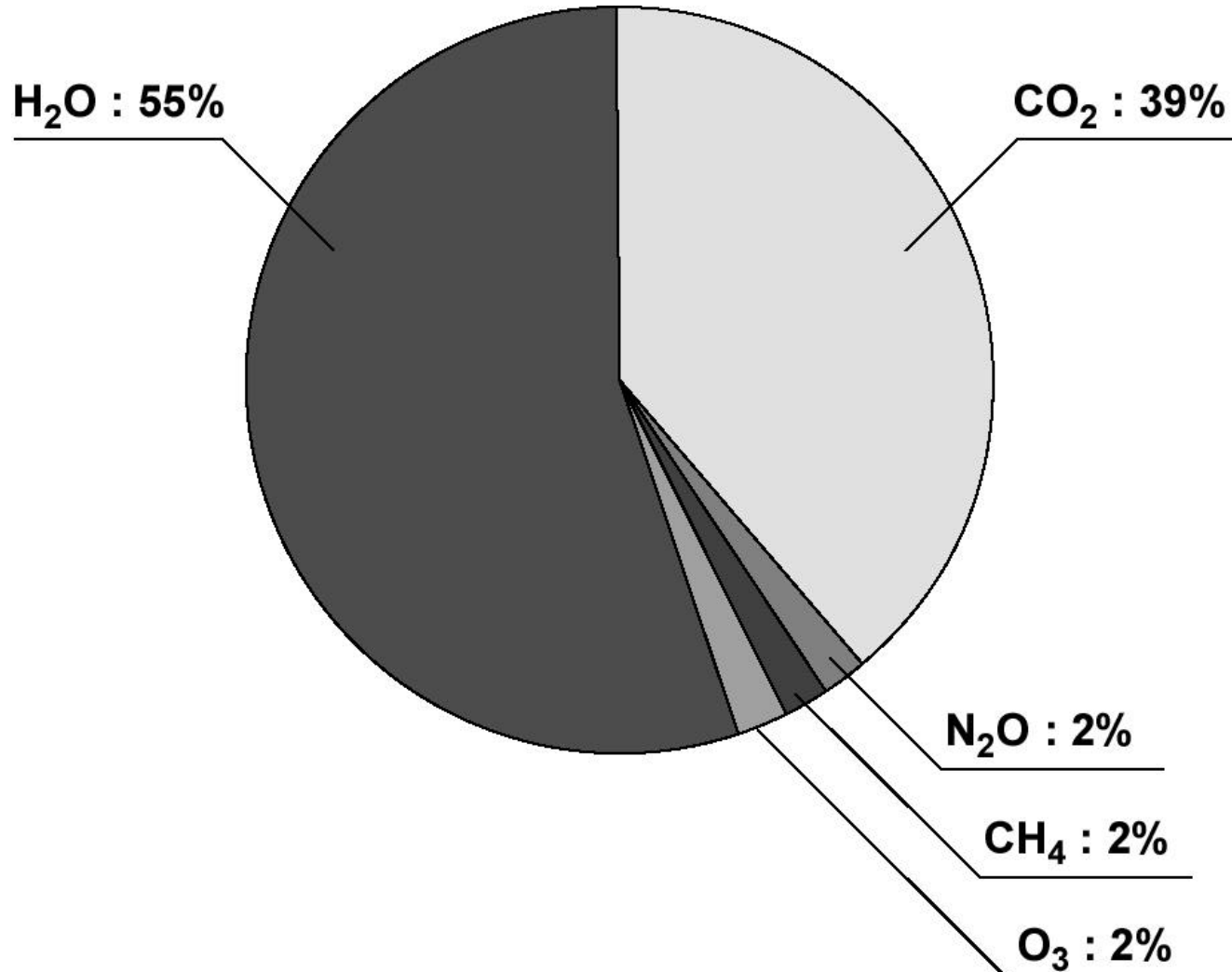


Augmentation de la température

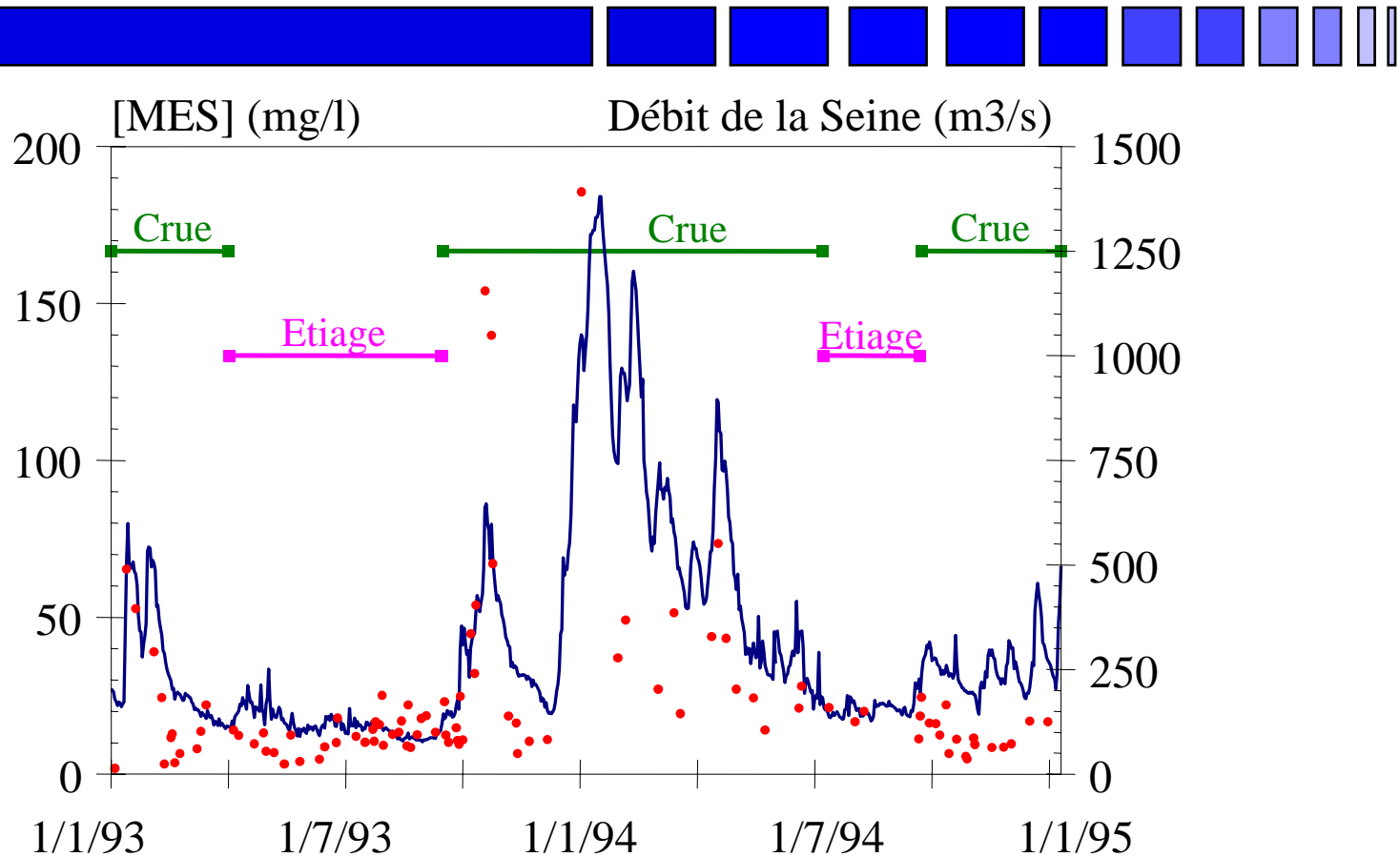
Croissance des plantes



1.1.3 La vapeur d'eau: principal gaz à effet de serre



1.1.3 Variabilité saisonnière des écoulements en Seine: Paris



➤ **Crue: débit et [MES] élevés**

➤ **Etiage: débit et [MES] faibles**

1.1.3 Variabilité saisonnière des écoulements en Seine

■ Étiages en été

- ⇒ **Débits faibles**: maintenus à 150 m³/s par vidange des 4 barrages réservoirs
- ⇒ Barrages: profondeur de 4,5 à 8 m pour la navigation
- ⇒ **MES faibles**: 10-15 mg/l (sauf blooms algaux)

■ Crues en automne et hiver

- ⇒ **Débits élevés**: 1.000 à 1.500 m³/s limités par remplissage des 4 barrages réservoirs
- ⇒ **MES élevées**: 150-200 mg/l (comme eaux usées domest.)
- ⇒ Principal flux annuel de particules et de polluants fixés: 90% du flux annuel en environ 10% du temps (**crues**)

1.1.3 Variabilité saisonnière des écoulements en Seine

■ Écluses et barrages en Seine: Chatou



1.1. Cycle de l'eau: Que retenir ?

■ Cycle de l'eau

⇒ Stocks en eau

- Stabilité mondiale des stocks
- Évolution de leur répartition géographique

⇒ Flux disponibles: écoulements de surface

- Très différents selon la latitude, selon la population
- En évolution grave pour certains pays !

⇒ Grande variabilité saisonnière: étiages & crues

1.1. Cycle de l'eau

■ Questions ?



1.2. Principaux polluants et problèmes de qualité des eaux: Plan

1.2. Principaux polluants et problèmes de qualité des eaux

1.2.1. Usages de l'eau

1.2.1.1 Usages domestiques, industriels & agricoles

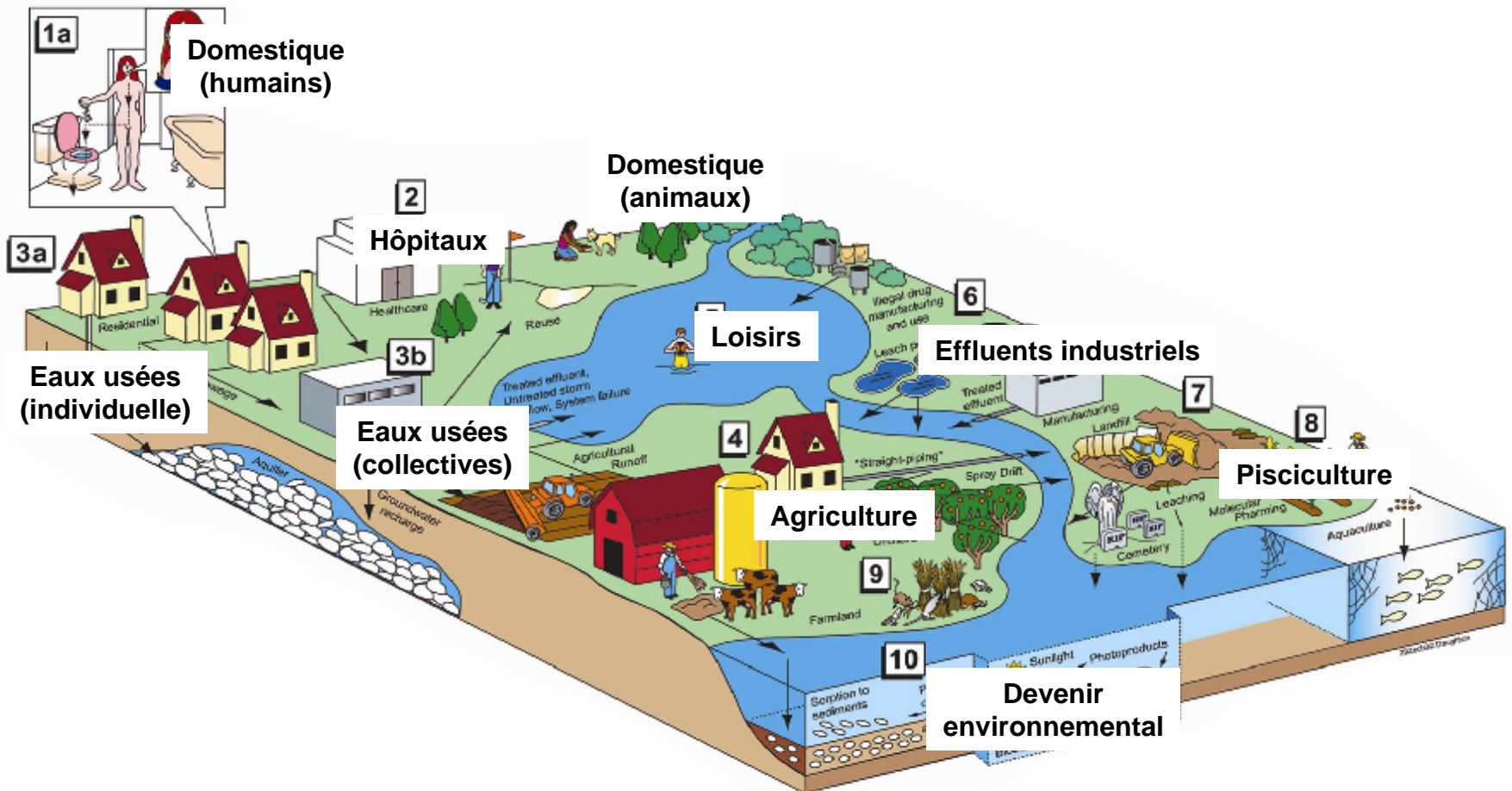
1.2.1.2 Spécificité des milieux urbains

1.2.2. Principaux polluants

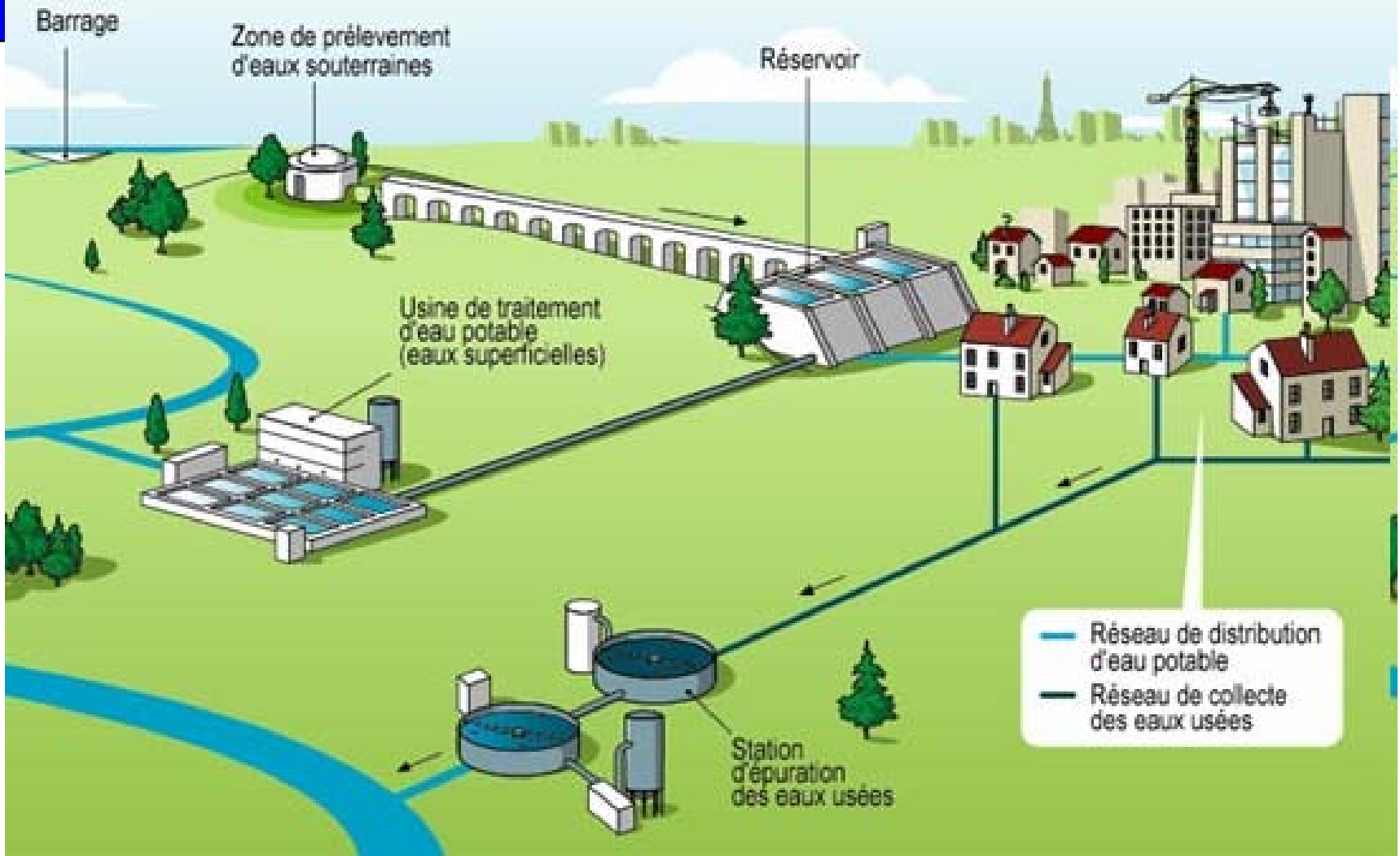
1.2.3. Problèmes de qualité

1.3. Sources et puits de pollution

1.2.1 Usages de l'eau



1.2.1.1 Usage domestique de l'eau



1.2.1.1 Usage domestique de l'eau

- **France : 200 - 300 l / hab. / jour**
- **Monde : 1,2 milliard d'habitants sans accès à l'eau potable**
- **Investissements nécessaires**
 - ⇒ 180 milliards de dollars par an pendant dix ans
 - ⇒ Aujourd'hui 80 milliards de dollars/an

1.2.1.1 Usage industriel de l'eau

■ **Énergie: refroidissement des centrales thermiques**

⇒ Centrales à charbon ou fioul

⇒ Centrales nucléaires: cas des réfrigérants atmosphériques

■ **Barrages réservoirs pour production hydroélectrique**

⇒ Eau restituée à l'aval après passage en turbine

■ **Industries**

⇒ Volumes consommés plus faibles !

1.2.1.1 Usage agricole de l'eau

■ Irrigation - drainage

⇒ 5 000 à 15 000 m³ / ha irrigué / an

■ Fort développement de cet usage

⇒ Quelle justification de cultiver dans des zones arides des plantes nécessitant beaucoup d'eau ?

○ Cas de la culture du maïs dans le Sud-ouest de la France

→ Diminution des débits estivaux en rivière

→ Diminution des nappes phréatiques

1.2.1.1 Usages de l'eau : état en 1999

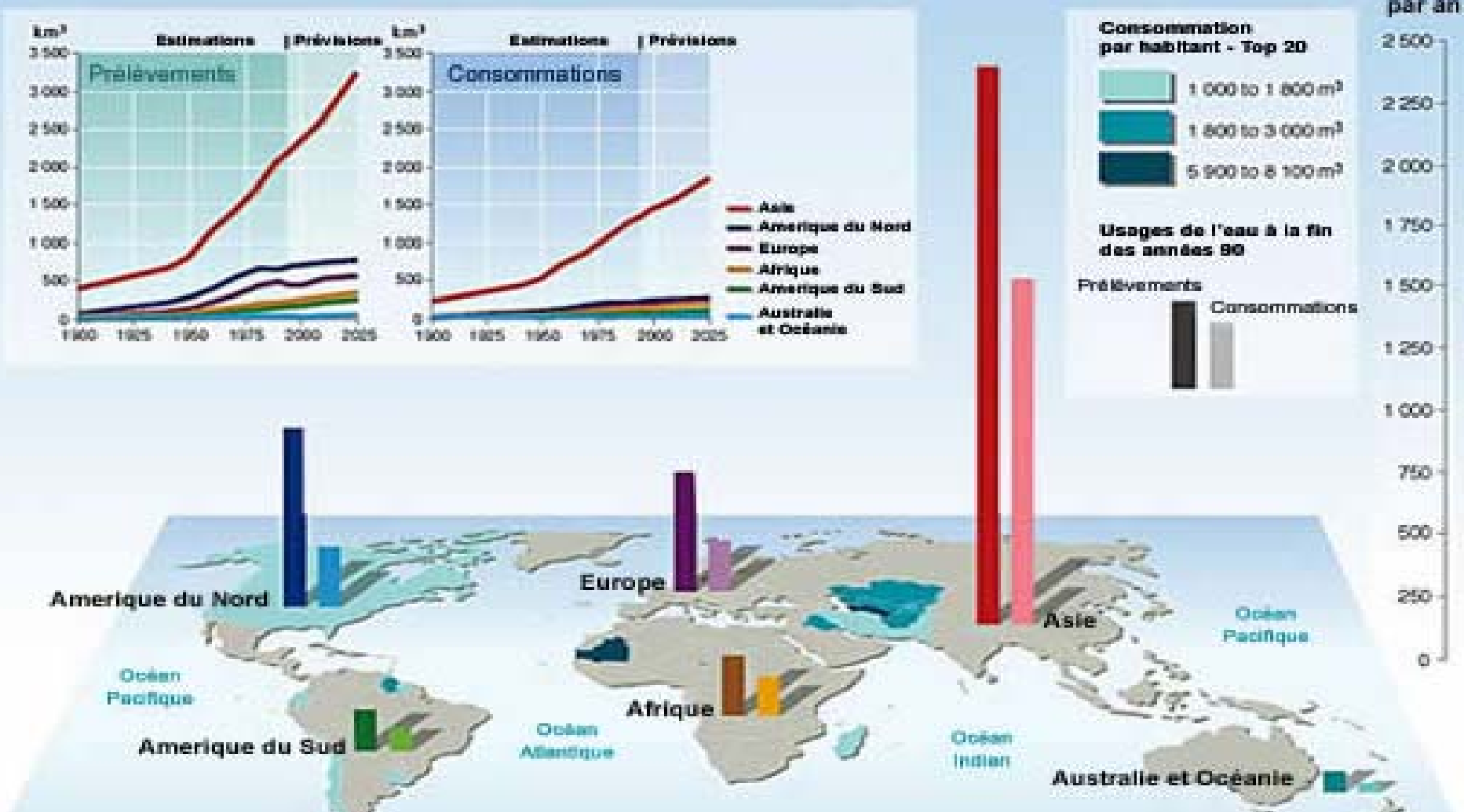


Zone géographique	Utilisation (km ³ /an)	Non restitué (km ³ /an)	Domestique (%)	Agriculture (%)	Industrie (%)
Europe de l'ouest	260	80	17	36	47
Monde arabe	172	150	7	89	4
Inde et Asie SE	950	800	5	90	5
Monde entier	3 462	2 200	8	70	22



1.2.1.1 Consommation mondiale en eau

Les Prélèvements et les Consommations d'Eau dans le Monde



Prélèvements annuels : 3 000 – 5 000 km³

Consommations annuelles : 2 200 – 3 000 km³ / an

1.2.1.2 Spécificité du milieu urbain

■ Perturbation du cycle hydrologique par le milieu urbain et rejet de polluants

⇒ **Usages** de l'eau

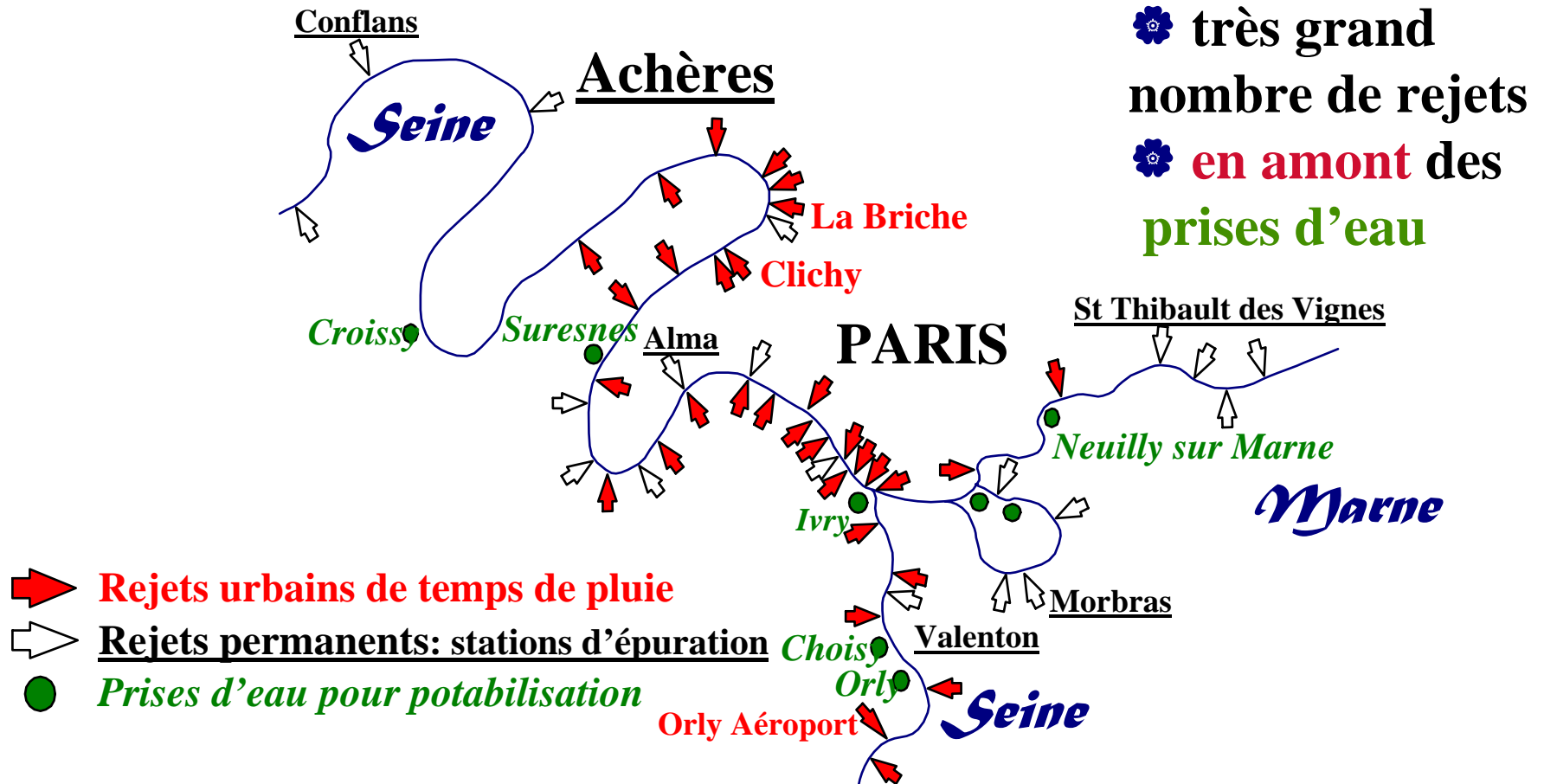
- Prélèvements pour alimentation en eau potable → voir chap. 5
- Assainissement des eaux usées (collecte) → voir chap. 3
- Traitement des eaux usées et rejet en milieu naturel → voir chap. 3

⇒ **Eaux pluviales urbaines**

- Imperméabilisation des surfaces ⇒ ruissellement ↗
- Imperméabilisation ⇒ infiltration naturelle dans les sols ↘ chap.2
- Ruissellement ↗ ⇒ inondations en ville ↗ si orage
- Des techniques alternatives à l'assainissement traditionnel: toits en terrasse, chaussées poreuses, bassins, fossés... → voir chap. 4

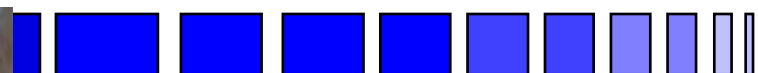
1.2.1.2 Spécificité du milieu urbain

■ Sites de rejets et prises d'eau à Paris





Inondations urbaines



■ Rue de Romainville Montreuil



**Source : pétition de
riverains sur Internet**

1.2.1 Usages de l'eau: Que retenir ?

■ Usages de l'eau

- ⇒ Usages **domestiques**: réduits pour 1,2 milliard habitants
 - Épidémies, guerres, sous-développement
 - Cas de l'Afrique, Amérique du sud et Asie
- ⇒ Usages **agricoles**
 - En expansion du fait de l'irrigation
 - Est-ce justifié: à l'échelle du pays, de la planète ?
- ⇒ **Milieus urbains**
 - Demande en eau ↗
 - Ressource en eau ↘ : volume ↘ et qualité ↘
 - Inondations urbaines ↗

1.2.1 Usages de l'eau

- Des questions ?



1.2. Principaux polluants et problèmes de qualité des eaux: Plan

1.2. Principaux polluants et problèmes de qualité des eaux

1.2.1. Usages de l'eau

1.2.2. Principaux polluants

1.2.2.1. Paramètres de qualité des eaux

1.2.2.2. Agrégation en « Altérations » du SEO

1.2.3. Principaux problèmes de qualité des eaux

1.2.3.1 Loi sur l'eau

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

1.3. Sources et puits de pollution

1.2.2. Principaux polluants

■ Définition (UE 1991)

⇒ Composition ou état, directement ou indirectement **modifié par l'activité humaine**, de façon que cela se traduit par une moindre **utilisation** de l'eau

■ Classification des polluants (1/2)

⇒ Physiques

- Échauffement par rejets d'eau chaude → pollution thermique des centrales à fioul, charbon (nucléaires)
- Solides: sédiments, flottants
- Hydrauliques: modification des écoulements, habitats

1.2.2. Principaux polluants

■ Classification des polluants (2/2)

⇒ Chimiques

- Majeurs: matière organique (MO), N, P, sels majeurs
- Micropolluants: métaux traces, HC_{Ali}, HAP, pesticides
- Émergents: perturbateurs endocriniens, médicaments, soin corporel...

⇒ Biologiques

- Algues, périphyton, macrophytes → eutrophisation si croissance non contrôlée (biodiversité ↓)
- Microorganismes: bactéries fécales, virus, parasites...

⇒ Radioactifs

- Rejets d'isotopes instables: hôpitaux, industries, EDF...

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface

- 1. **Description du milieu**
 - Aspect, couleur, couverture végétale
- 2. **Débits** (m³/s)
- 3. **Bactériologie** (*non suivis depuis 1992*)
 - *E Coli, streptocoques fécaux, salmonelles*
 - *unités cultivables / 100 mL*
- 4. **Radioactivité** (*non suivis depuis 1981*)
 - ⇒ Mesures faites par EdF...

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface

■ 5. Physico-chimie : Paramètres globaux

- Température: eau et air (°C)
- pH
- Conductivité ionique (microS/cm): sels majeurs
- **M.E.S.** (mg/l) & matières décantables 2h (cm³/l)
- **Oxygène** dissous (mg O₂/l) et indice de saturation (%)
- **Matière oxydable (MO)**: DBO₅ et oxydabilité KMnO₄ (mg O₂/l), DCO (mg O₂/l)
- Formes de **l'azote (N)**: NH₄⁺, azote Kjeldhal (N-III) NTK, NO₃⁻, NO₂⁻ (mg/l)
- Formes du **phosphore (P)**: orthophosphates, P_{total} (mg/l)

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface

■ 6. Physico-chimie: Polluants

- **Métaux majeurs** : Fe , Mn (mg/l)
- **Métaux toxiques** ($\mu\text{g/l}$) et évaluation du **Métox** par multiplication par un coefficient spécifique (arrêté 28.10.1975 : redevances qualité des eaux):
 - Hg, Cd (coefficient 50)
 - Pb, As (coefficient 10)
 - Cu, Ni (coefficient 5)
 - Cr, Zn (coefficient 1)
- **CN⁻** (mg/l)

*Depuis 1981:
analyses de sédiments
poissons & bryophytes*

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface



■ 6. Physico-chimie : Polluants

● Micropolluants organiques :

- Substances **extractibles** au chloroforme (mg/l)
- **Phénols** et dérivés phénolés (mg/l)
- **Détergents** anioniques (mg/l),
- Dérivés **organochlorés** (mg/l),
- Dérivés **halogénés** adsorbables (AOX) volatils (VOX) et totaux (TOX),
- **Hydrocarbures** totaux (indice CH₂ par infrarouge),
- Hydrocarbures mono-aromatiques : benzène, toluène, xylène,
- **Hydrocarbures aromatiques polycycliques** (HAP),
- Amines aromatiques, dérivés organo-nitro-phosphorés...
- **Pesticides** : herbicides, fongicides, insecticides...

*Depuis
1981:
analyses
de
sédiments
poissons &
bryophytes*

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface

■ 6. Physico-chimie : Polluants

⇒ **Polluants Prioritaires** (PP) de la Directive Cadre sur l'Eau (22 décembre 2000)

⇒ http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/priority_substances.htm

- 33 substances dans une première liste
- Dont 11 potentiellement dangereuses
- Consultation et décisions par un groupe d'experts:
« *Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment* »

1.2.2.1 Paramètres de qualité des eaux de surface

■ 7. Toxicité globale

⇒ Test daphnies

○ Dilution pour mortalité - immobilité à 50%,

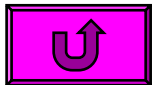
⇒ Test Microtox

○ Dilution pour diminution de 50% de l'activité bioluminescente de bactéries

■ 8. Hydrobiologie

⇒ Biodiversité

⇒ Indices biologiques globaux (IBG)



1.2.2.1 Paramètres de qualité

■ Que retenir ?

- ⇒ Paramètres globaux: pH, O₂, T, MES ou turbidité
- ⇒ Nutriments et polluants majeurs: matière organique, NH₄⁺, NO₃⁻, orthophosphates, P_{total}
- ⇒ Micropolluants et toxiques
 - Métaux, HC, HAP, pesticides
 - Mais aussi: perturbateurs endocriniens, médicaments, produits de soins corporels... **Polluants émergents**

■ Mais nécessité d'agrèger les paramètres!

- ⇒ Systèmes d'Évaluation de la Qualité des Eaux (**SEQ-Eau**) développé par les Agences de l'Eau

1.2.2.2 SEQ Eau

■ Objectif: qualité

⇒ Eau

⇒ Physique des rivières

⇒ Biologie

■ Objectifs: usages

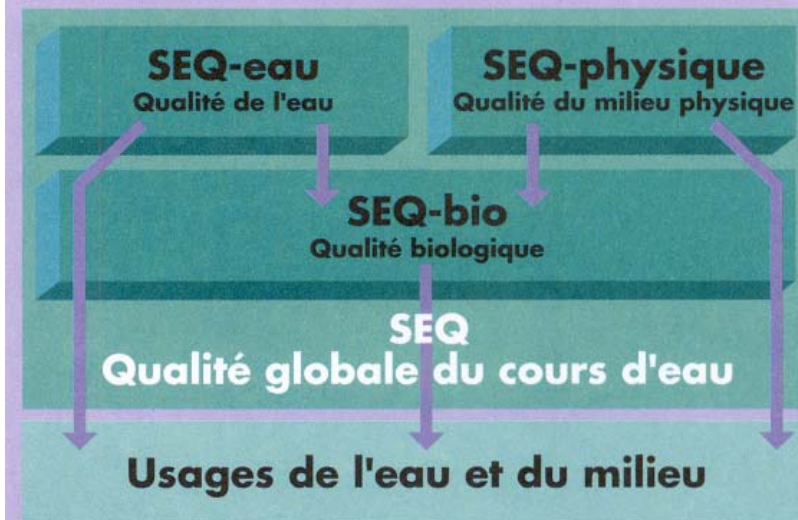
⇒ Qualité globale

⇒ Usages de l'eau

A TERME

L'évaluation de la qualité globale d'un cours d'eau distinguera :

- la qualité de l'**eau** évaluée par le **SEQ-eau**
- la qualité du **milieu physique** ou **hydro-morphologie et hydrologie** du cours d'eau (état des berges, obstacles à l'écoulement, hauteur d'eau), qui détermine notamment l'**habitat** des peuplements d'êtres vivants et les relations avec les milieux annexes.
Elle n'est pas actuellement mesurée de façon courante.
- La qualité **biologique** constatée grâce aux inventaires de peuplements d'invertébrés benthiques, de végétaux ou de poissons. Elle est largement influencée par l'eau (contenu) et le milieu physique (contenant).



- Les **usages** potentiels de l'eau et du milieu qui peuvent être influencés par la qualité de l'eau (alimentation en eau potable...), ou par la qualité physique (loisirs...), ou encore par la qualité biologique (pêche...).

1.2.2.2 SEQ Eau: principe

■ 3 SEQ complémentaires

- ⇒ Physico-chimie de l'eau
- ⇒ Biologie
- ⇒ Hydro-morphologie (physique)

Bleu - Vert - Jaune - Orange - Rouge

■ 5 classes de qualité

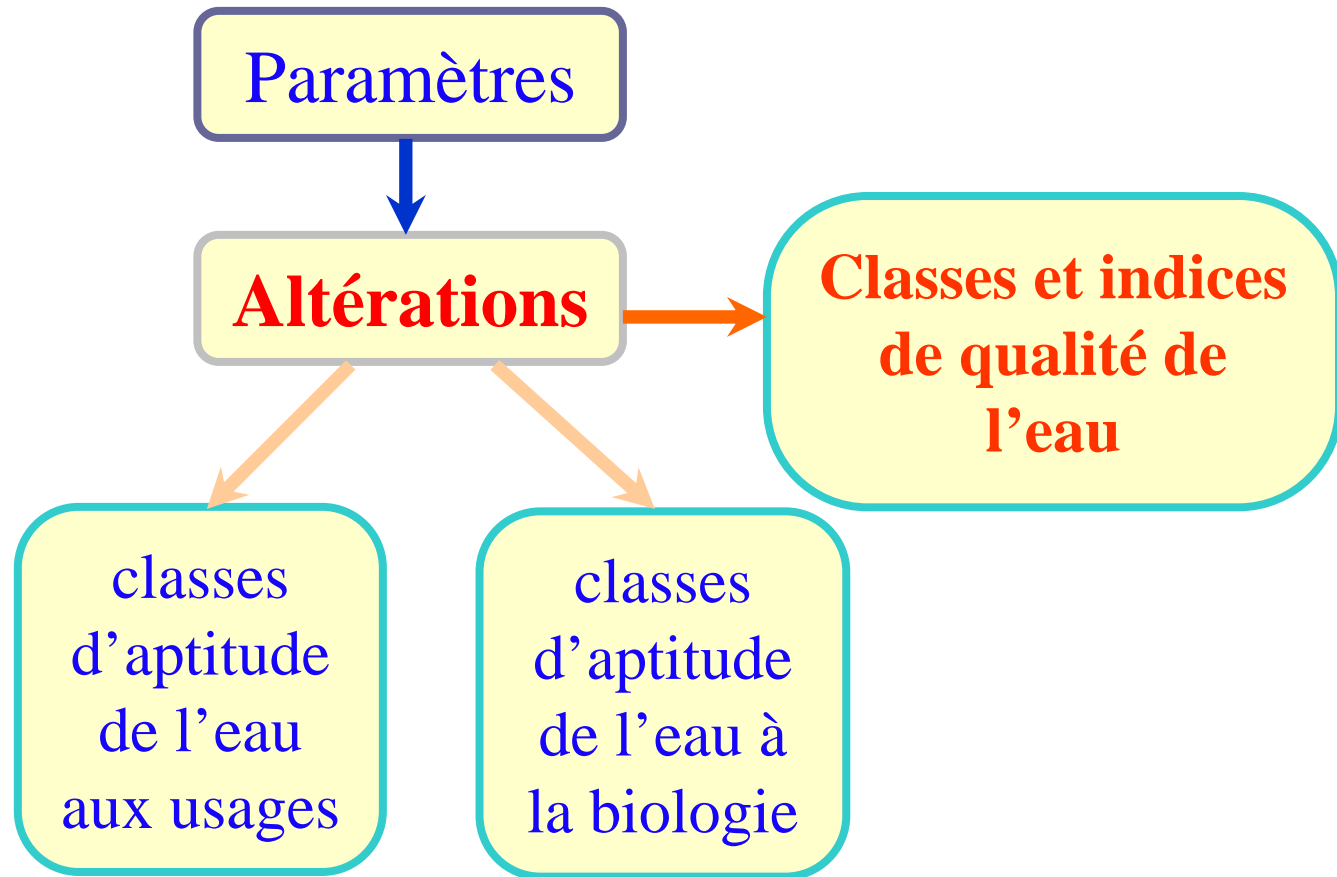
- ⇒ Mesure de l'écart à une **référence**, définie par écotype
- ⇒ Paramètre « déclassant »



	Très bonne
	Bonne
	Moyenne
	Mauvaise
	Très mauvaise

1.2.2.2 SEQ Eau: altérations

- **Grouper les paramètres en altérations**



1.2.2.2 SEQ Eau: altérations

■ Altérations par effet des paramètres

- | | |
|--|--|
| 1- Matières organiques et oxydables | <i>consomment l'oxygène de l'eau</i> |
| 2- Matières azotées (hors nitrates) | <i>nourrissent les proliférations d'algues</i> |
| 3- Nitrates | <i>gênent la production d'eau potable</i> |
| 4- Matières phosphorées | <i>provoquent les proliférations d'algues</i> |
| 5- Particules en suspension | <i>troublent l'eau</i> |
| 6- Couleur | |
| 7- Température | |
| 8- Minéralisation | <i>modifie la salinité de l'eau</i> |
| 9- Acidification | |
| 10- Phytoplancton | <i>trouble l'eau et fait varier l'oxygène et l'acidité</i> |
| 11- Micro-organismes | <i>gênent la production d'eau potable et la baignade</i> |
| 12- Métaux (sur bryophytes) | <i>indiquent la pollution de l'eau par les métaux</i> |
| 13- Micropolluants minéraux | } <i>empoisonnent les êtres vivants</i> |
| 14- Pesticides | |
| 15- Micropolluants organiques | |

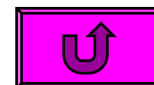
1.2.2.2 SEQ Eau: altérations

■ Agrégation des paramètres en altérations

1- Matières organiques et oxydables..	<i>O2-satO2-DCO-DBO5-COD-NKJ-NH4⁺</i>
2- Matières azotées (hors nitrates)	<i>NKJ-NH4⁺-NO2⁻</i>
3- Nitrates	<i>NO3⁻</i>
4- Matières phosphorées	<i>Ptot-PO4³⁻</i>
5- Particules en suspension	<i>MES-Turbidité-Tranparenance SECCHI</i>
6- Couleur	<i>Couleur</i>
7- Température	<i>Température</i>
8- Minéralisation	<i>Conductivité-Ca²⁺-Na⁺-Mg²⁺-K⁺-SO4²⁻-Cl-TAC-TH</i>
9- Acidification	<i>pH-Al dissous</i>
10- Phytoplancton	<i>Cha+phéopigments-Algues-pH&satO2-ΔO2</i>
11- Micro-organismes	<i>Coli. totaux-Coli. fécaux-E.Coli-Strepto.fécaux</i>
12- Métaux (sur bryophytes)	<i>Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu</i>
13- Micropolluants minéraux	<i>Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu-As-Se-Ba-CN</i>
14- Pesticides	<i>Atrazine-Simazine-Lindane-Diuron (36 substances)</i>
15- Micropolluants organiques	<i>HAP-PCB-Tétrachloroéthylène (63 substances)</i>

1.2.2. Principaux polluants

- Des questions ?



1.2.3. Principaux problèmes de qualité des eaux

■ Perte d'usages de l'eau: « Aptitudes » du SEQ-Eau

⇒ **Vie aquatique**: biodiversité

⇒ Usages liés à la **santé**

- Production d'eau potable
- Loisirs et sports aquatiques

⇒ Autres **usages**

- Irrigation
- Abreuvement
- Aquaculture: pisciculture, conchyliculture

1.2.3. Principaux problèmes de qualité des eaux

■ Réglementation destinée à éviter ces problèmes

1.2.3.1 Loi(s) sur l'eau: 3 Janvier 1992

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

■ Points communs

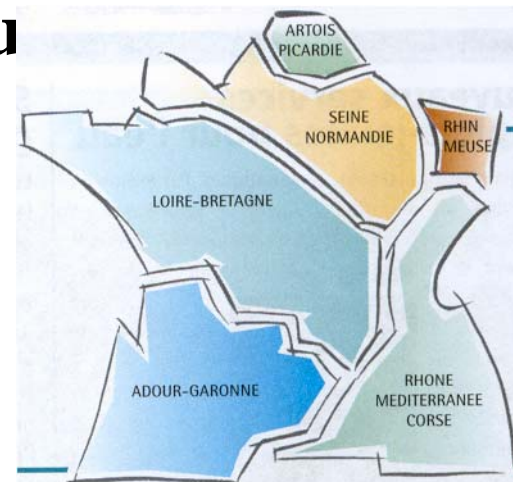
⇒ Eau = bien commun à **tous** les usagers !

⇒ **Bassin versant** hydrographique = unité administrative pour la gestion de l'eau

1.2.3.1 Loi sur l'eau 92-3 (3 Janvier 1992)



- **Principe:** eau = patrimoine commun !
- **Objectif:** gestion équilibrée de la ressource en eau
- **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE)**
 - ⇒ Comité de bassin des Agences de l'eau
 - Objectifs de qualité & quantité
 - Aménagements à réaliser
 - Délimitation des **sous-bassins** hydrographiques ⇒ **SAGE**



1.2.3.1 Loi sur l'eau 92-3

■ Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (**SAGE**) des sous-bassins

○ Commission locale de l'eau (CLE)

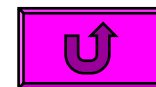
- Objectifs généraux: utilisation, mise en valeur & protection (ressources, éco-systèmes aquatiques, zones humides)
- Constat de l'état du milieu
- Sélection de priorités
- Évaluation des besoins nécessaires

⇒ Projet d'aménagement & gestion de l'eau

■ Cas des industries

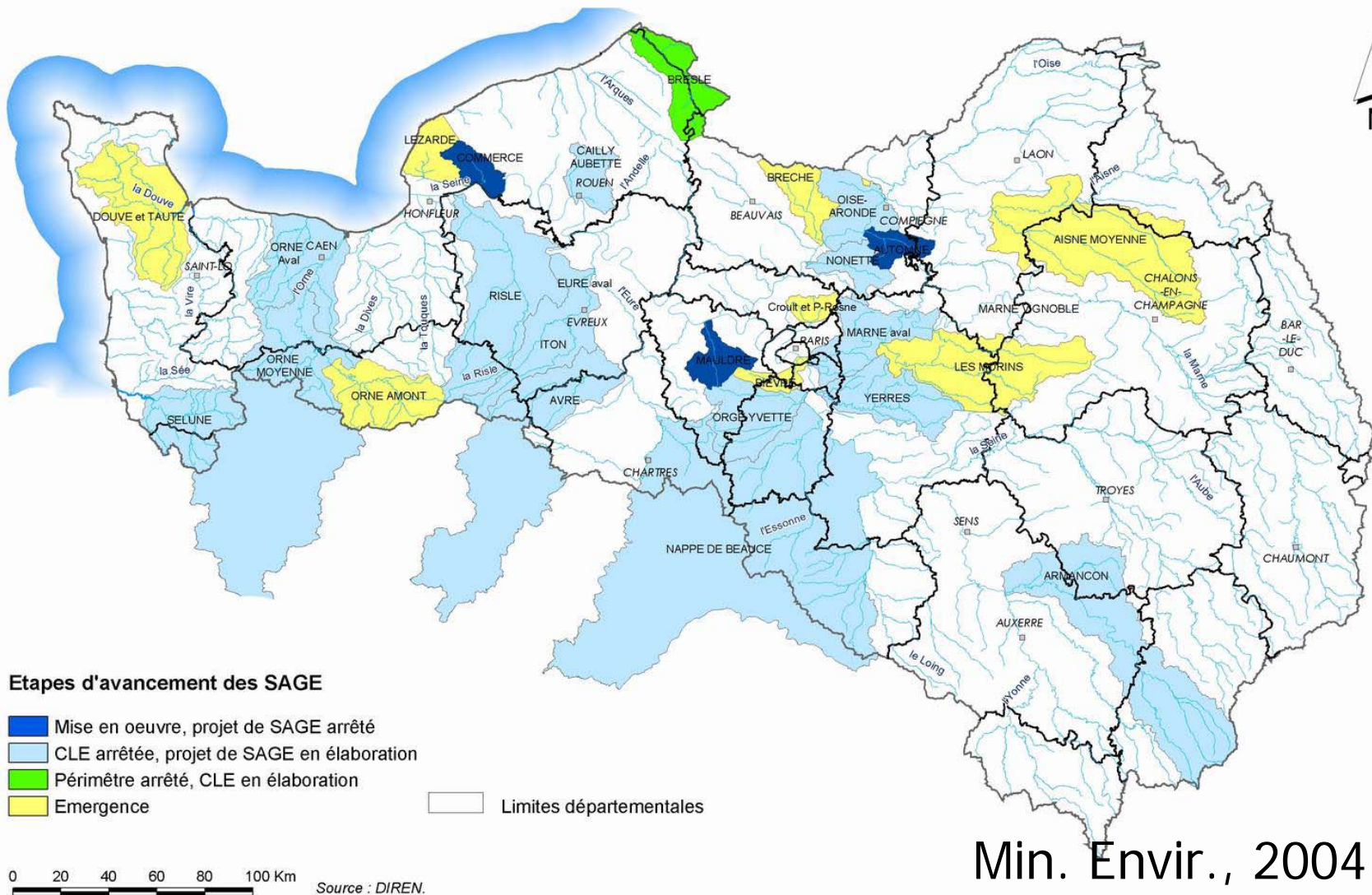
⇒ Établissements **classés (autorisés)**

⇒ ou soumis à **déclaration**



1.2.3.1 Loi sur l'eau 92-3

Cas du bassin de la Seine: SAGE, CLE



1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau (DCE/WFD)



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE

*L'Agence de l'Eau Seine-Normandie
vous présente ses meilleurs vœux
pour l'année 2001*

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Directive 2000/60/CE du 22 déc. 2000

- Cadre pour une **politique communautaire** dans le domaine de l'eau

http://europa.eu.int/eur-lex/fr/oj/2000/l_32720001222fr.html

■ Objet (Art. 1)

- Protection **des eaux intérieures de surface, des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines** qui
 - Préviennent toute dégradation supplémentaire, préserve et améliore l'état des écosystèmes aquatiques ainsi que ... des **zones humides**
...
 - Promeuve une **utilisation durable** de l'eau

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Objet (Art. 1)

- Réduire progressivement les rejets, **émissions et pertes de substances prioritaires**
- Arrêt ou suppression progressive des rejets, **émissions et pertes de substances dangereuses prioritaires**
- Contribuer ainsi
 - à assurer un **approvisionnement** suffisant en eau
 - à réduire sensiblement la **pollution des eaux souterraines**
 - à protéger les **eaux territoriales et marines**

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Définitions (Art. 2)

⇒ **Bon état** d'une eau de surface

- État écologique et son état chimique sont **au moins** "bons »

⇒ **État écologique**

- Qualité de la structure (**biodiversité**) et du fonctionnement (**activité**) des écosystèmes aquatiques

⇒ **Bon état chimique** d'une eau de surface

- État chimique requis pour atteindre les objectifs environnementaux ⇒ **bon état écologique** !

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Coordination des mesures (Art. 3)

⇒ **Districts hydrographiques** = bassins versants

- Semblables aux bassins des **Agence de l'Eau**
 - Exemple: bassin de la Seine Normandie (région 13: Plaines occidentales)
- Autorité compétente: **Agence de l'Eau** (en France)
- Coordonne un **programme de mesures** (actions) pour la mise en valeur de la DCE

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Objectifs (Art. 4): obligation de résultat

1. Prévention **immédiate**

- **Prévenir la détérioration** de l'état de toutes les masses d'eau

2. Bon état **dans 15 ans (2015)**

- Protègent, améliorent et restaurent toutes les **masses d'eau de surface naturelles** afin de parvenir à un **bon état** des eaux de surface au plus tard **quinze ans** après ...

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

■ Objectifs (Art. 4): obligation de résultat

3. Bon état dans **15 ans**

- Protègent et améliorent toutes les masses **d'eau artificielles et fortement modifiées**, en vue d'obtenir un **bon potentiel écologique** et un **bon état chimique** des eaux

4. Suppression des **toxiques**

- Réduire progressivement la pollution due aux **substances prioritaires**
- Arrêter ou supprimer progressivement les émissions, rejets et pertes de **substances dangereuses prioritaires**

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

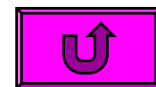
■ Milieux **artificiels** ou **fortement modifiés**

⇒ Modifications à apporter aux **caractéristiques hydro-morphologiques** pour obtenir un bon état écologique tout en évitant des **incidences négatives** sur:

- l'environnement au sens large
- la **navigation** & les installations **portuaires**, ou les **loisirs**
- l'**approvisionnement** en eau potable, la production d'**électricité** ou l'**irrigation**
- d'autres activités de **développement humain durable** tout aussi importantes

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

- **Application de la Directive Cadre sur l'Eau**
 1. Réalisation d'un **état des lieux**
 2. Définition d'**objectifs**
 3. Définition des **moyens** pour atteindre ces objectifs
 4. Mise en **œuvre** de ces moyens
 5. Suivi des **masses d'eau** et vérification de la **réalisation des objectifs**



1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

Cas du bassin de la Seine

■ État des lieux

- Qualité hydro morphologique des rivières
 - Rivières naturelles
 - Rivières fortement modifiées
 - Identification des **pressions anthropiques: risques**
 - Densité de population
 - Capacité de la STEP / débit à l'étiage (0 à 200)
 - Prélèvements en nappe...
 - Évaluation des **incidences**
 - Etat physicochimique: micropolluants minéraux ou organiques
 - Etat biologique: poissons
- ➔ **Risques rivières, risques nappes phréatiques**

1.2.3.2 Directive Cadre sur l'Eau

Cas du bassin de la Seine: fort. **modifié**

Masses d'eau artificielles - masses d'eau fortement modifiées rivières et plans d'eau

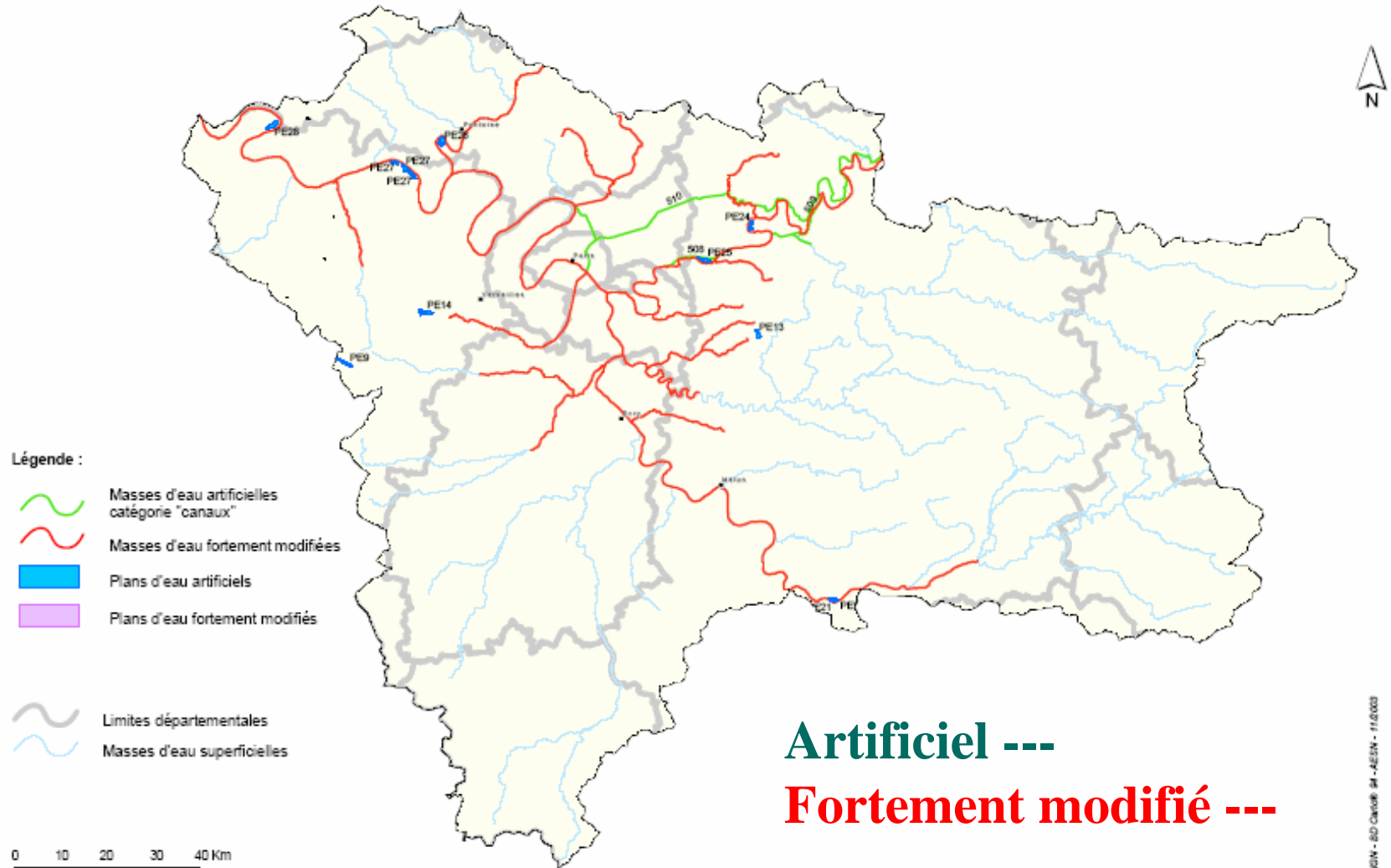


Artificiel ---
Fortement modifié ---

1.2.3.2 Dir cadre sur l'eau

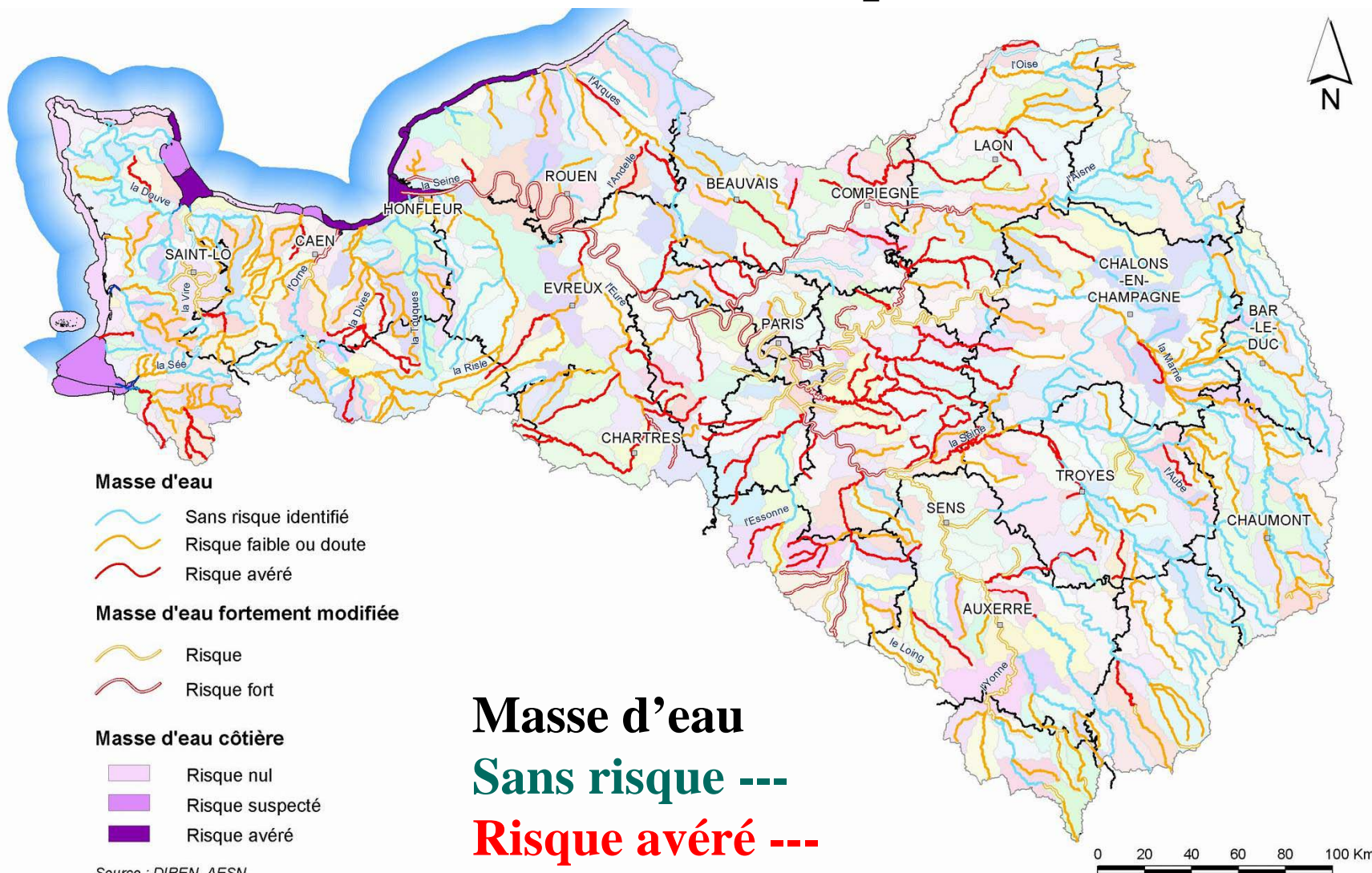
■ Cas de l'Ile de France: fortement **modifié**

Masses d'eau artificielles - masses d'eau fortement modifiées rivières et plans d'eau
Commission géographique Rivières d'Ile-de-France



1.2.3.2 Dir cadre sur l'eau

■ Cas du bassin de la Seine: risques rivières

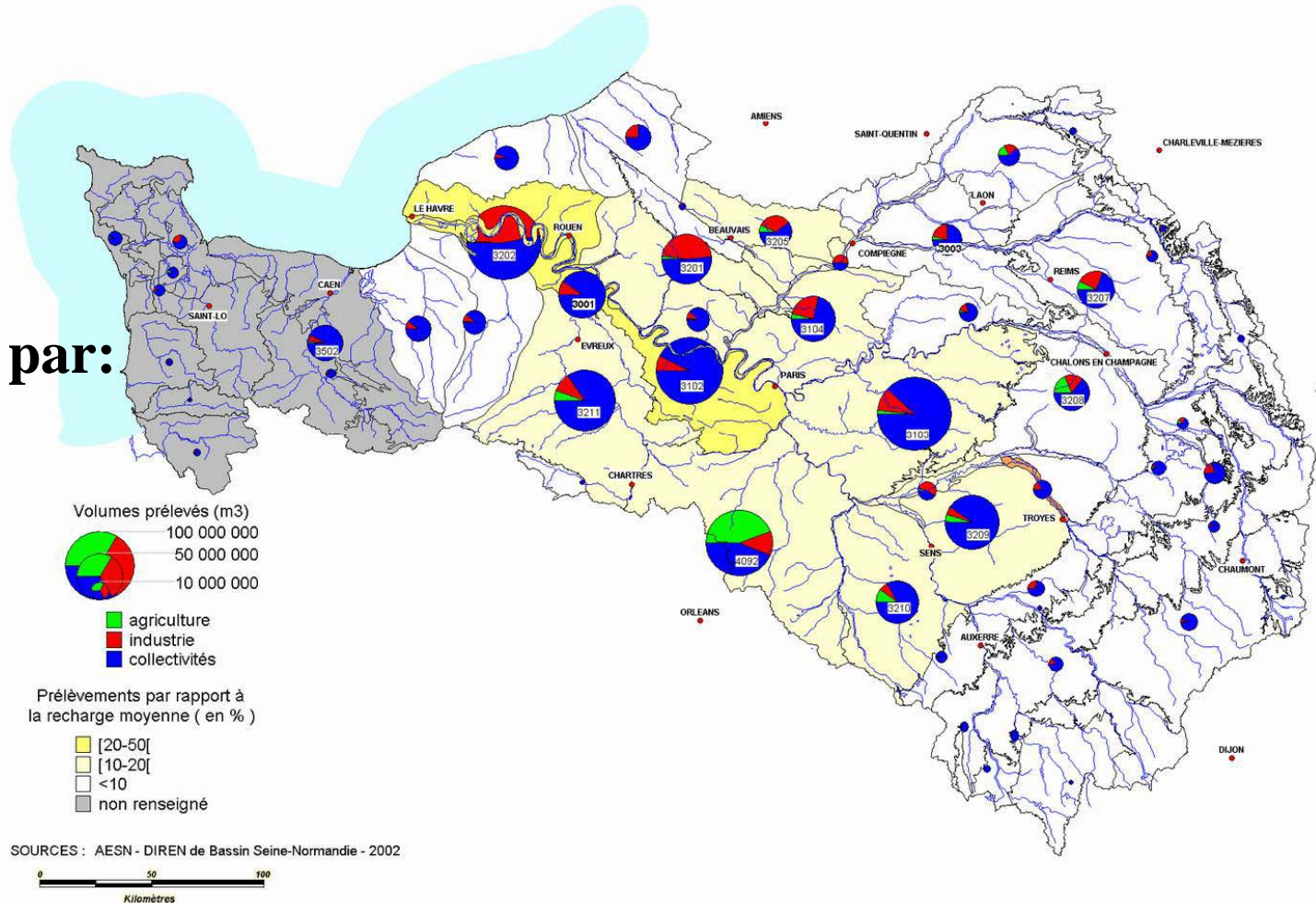


1.2.3.2 Dir cadre sur l'eau

■ Cas du bassin de la Seine: prélèvements en nappe

Les prélèvements et la recharge des masses d'eau souterraine

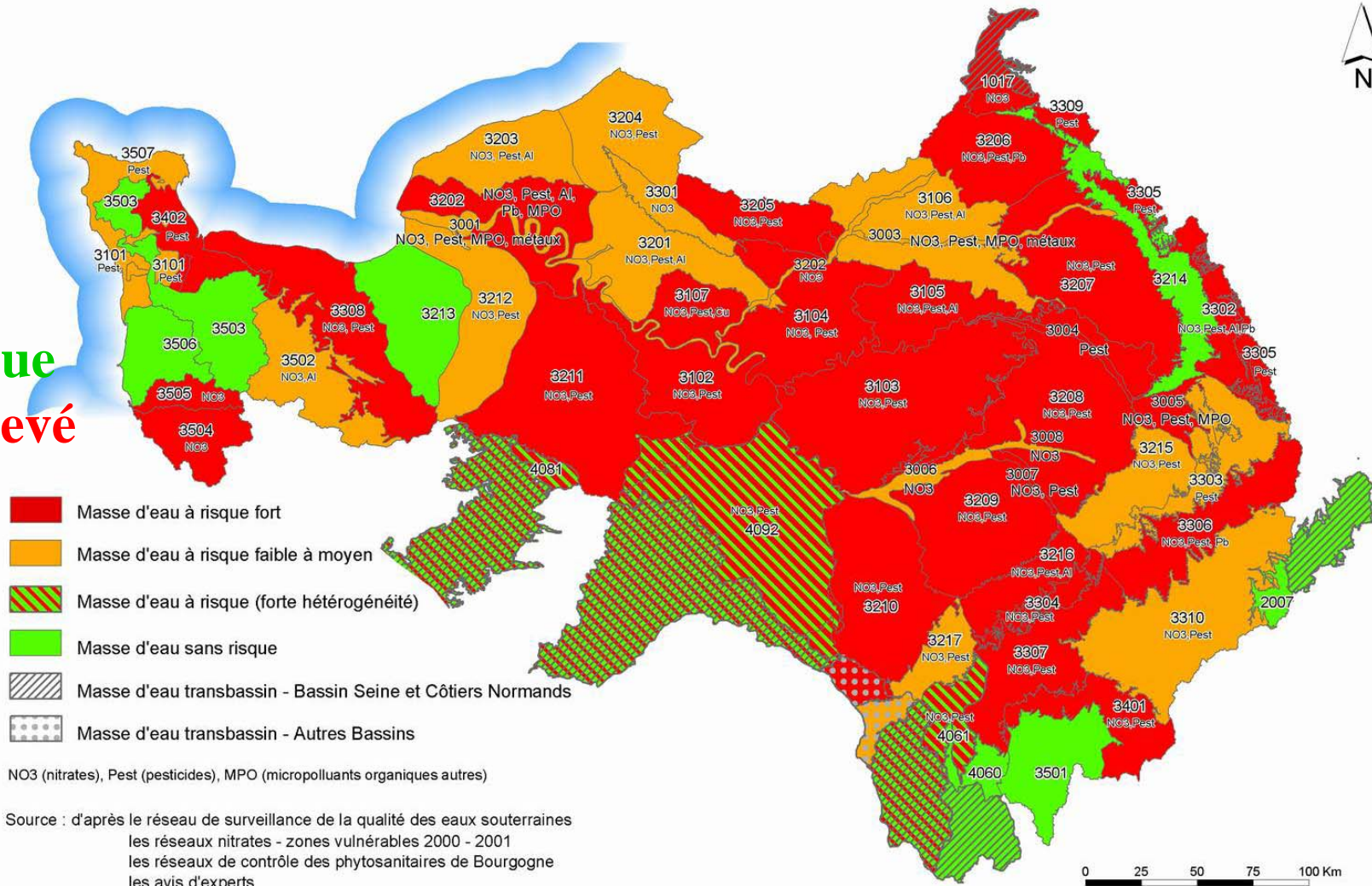
Prélèvements par:
Agriculture
Industrie
Collectivité



1.2.3.2 Dir cadre sur l'eau

■ Cas du bassin de la Seine: risques nappes

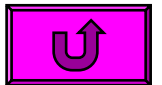
Sans risque
Risque élevé



1.2.3.2 Dir cadre sur l'eau

■ Calendrier

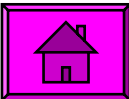
- ⇒ 2004: **État zéro**: caractéristiques, incidence homme, économie eau, zones de protection
- ⇒ 2006: **Surveillance** de l'état des eaux et des zones protégées
- ⇒ 2009: Plan de **gestion**, programme de **mesures (actions)**
- ⇒ 2010: Politique de **tarification incitative**
- ⇒ 2012 + k 6: **Rapport de la CE** sur mise en œuvre de la DCE
- ⇒ 2015: **Objectifs** atteints ! ?



1.2.3. Principaux problèmes de qualité des eaux



- Des questions ?



1.3 Sources et puits de pollution:

Plan

■ 1.3 Sources et puits de pollution

1.3.1. Sources

- ⇒ Sources ponctuelles
- ⇒ Sources diffuses
- ⇒ Illustrations

1.3.2. Puits de pollution

- ⇒ Sédimentation
- ⇒ Biodégradation
- ⇒ Illustrations

1.3.1. Sources de pollution

■ Sources ponctuelles

- Rejets urbains: eau partiellement/totalement traitée
 - Rejets des usines de traitement des eaux usées: eau épurée → voir chap. 3
 - Rejets urbains de temps de pluie: eau non traitée → voir chap. 4
- Rejets industriels: eau partiellement/totalement traitée

■ Sources diffuses

- Rejets agricoles: culture (engrais, herbicides), élevage (lisiers)
- Rejets urbains: eaux de ruissellement pluvial (herbicides, déjections animales) → voir chap. 4

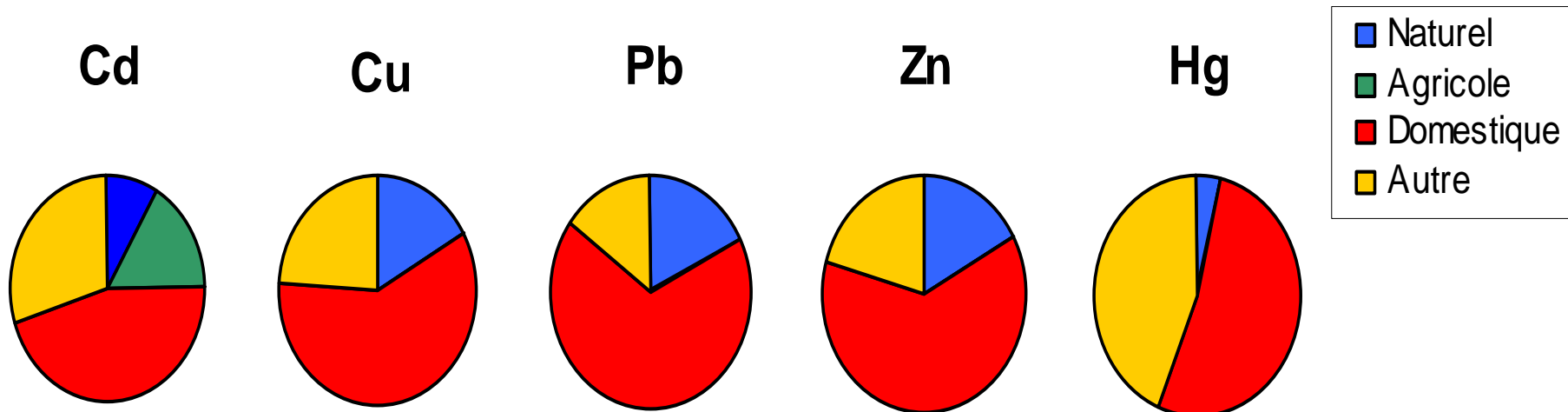
■ Illustrations: métaux & herbicides

1.3.1. Sources: Bilan général des apports en métaux traces

■ Origine des métaux issus du bassin de la Seine à son exutoire de Poses (Meybeck, 2002)

⇒ Prépondérance des **apports domestiques** (proportionnels à la densité d'habitants)

⇒ Apport agricole du **Cd** (engrais: phosphates)



1.3.1. Sources: Herbicides urbains



■ Usages urbains

⇒ Voies ferrées

⇒ Voiries **H. Blanchoud**

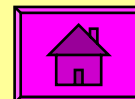
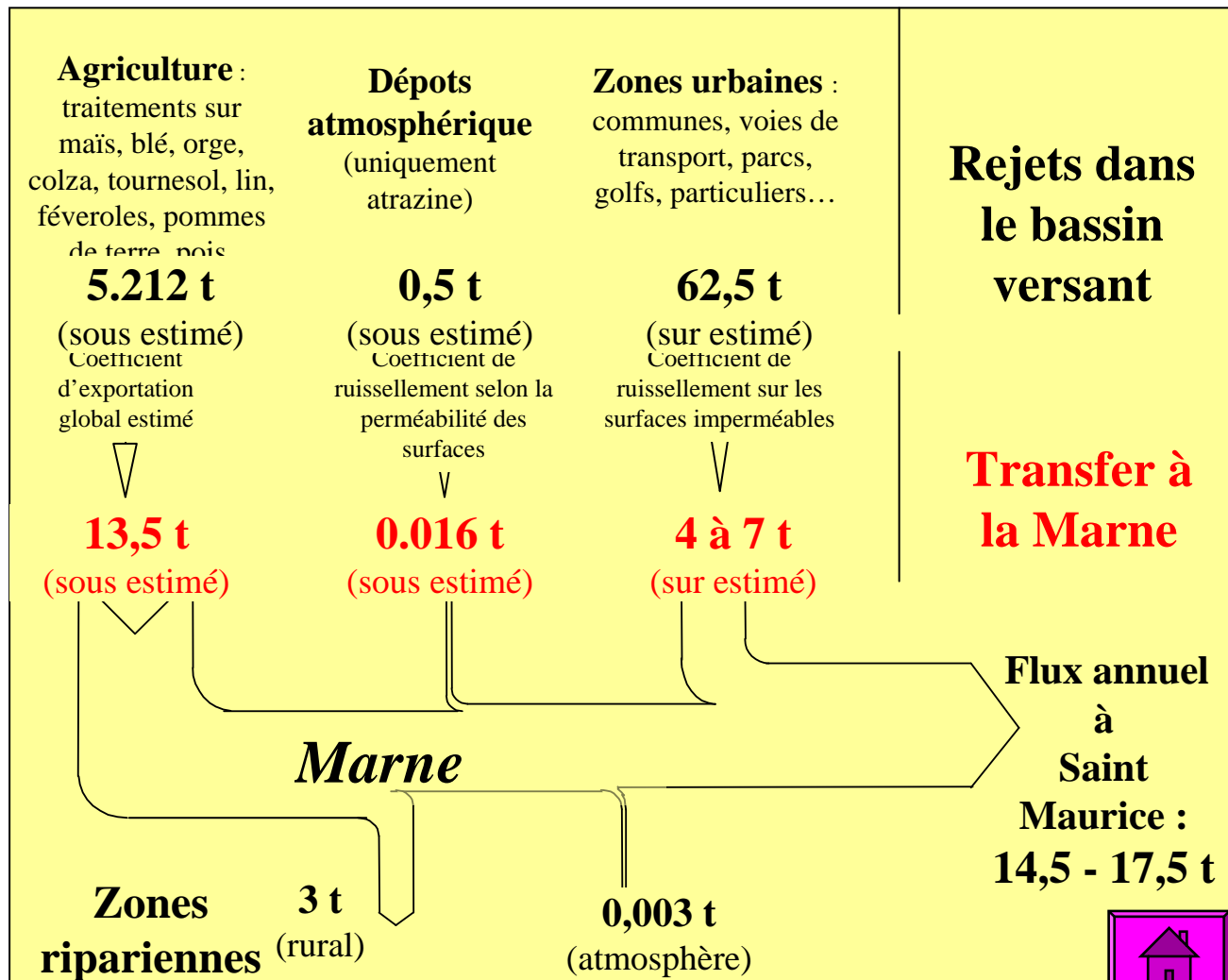
⇒ Parcs **1999**



1.3.1. Sources: Bilan annuel des herbicides dans le bassin de la Marne

Rôle significatif des zones urbaines dans les rejets d'herbicides:

- 100 fois moins d'utilisation
- moitié des rejets en Marne



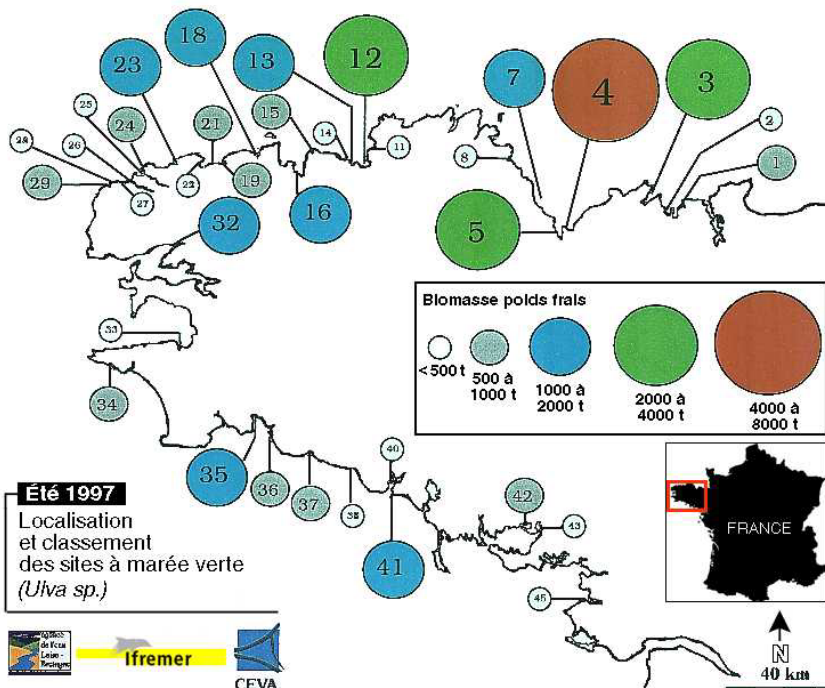
1.3.1. Sources de pollution

- Questions ?

1.3.2. Puits de pollution

- **Sédimentation et diagenèse des particules**
 - Littoral, estuaires (bouchon vaseux et vasières)
 - Sédiments fluviaux ou lacustres
 - Matière organique particulaire
 - Polluants adsorbés sur particules: métaux traces, HC...
- **Biodégradation en rivières & lacs**
 - Matière organique naturelle ou anthropique → CO₂
 - Azote organique, ammoniacal, nitrates → N₂
- **Illustrations**
 - ⇒ Eutrophisation, métaux, sédiments

Rejets de N & P en mer: eutrophisation





Rejets de N & P en rivière et lacs: eutrophisation



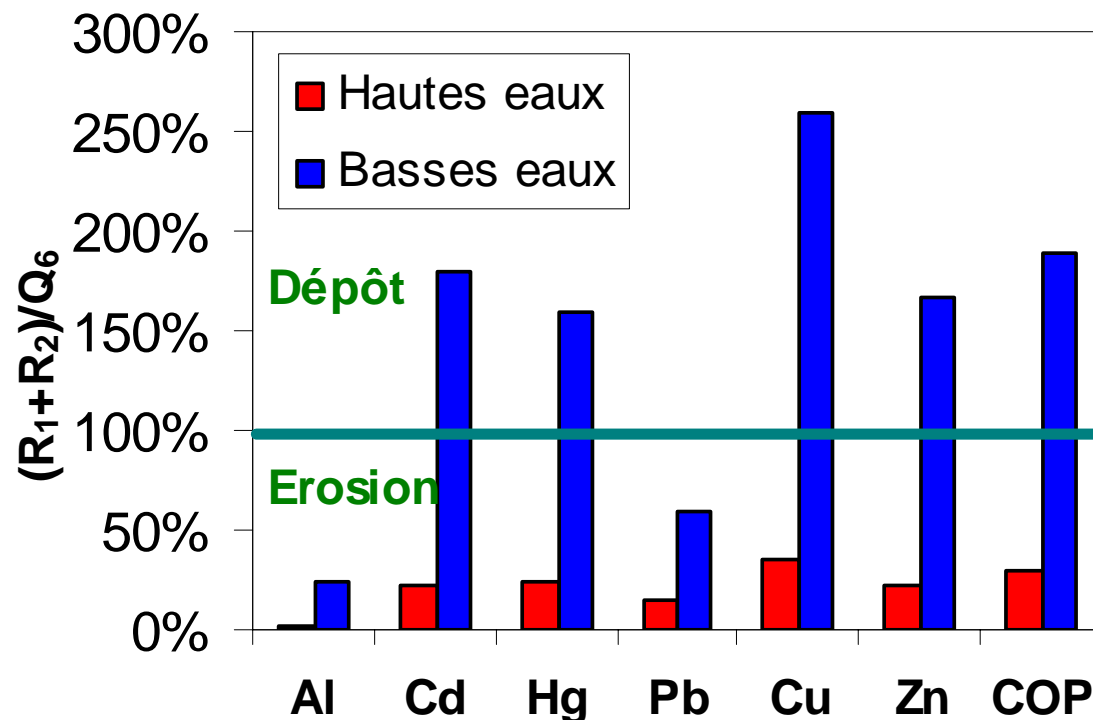
1.3.2. Puits de pollution en réseau fluvial : métaux traces

■ Bilans de métaux (1994-95 : année humide)


⇒ Rapport: Rejets urbains (R_1 RUTP + R_2 STEP) / Flux à Poses Q_6

⇒ **Eté (étiage):**
dépôt majoritaire

⇒ **Hiver (crues):**
érosion des dépôts
(Meybeck, 2002)



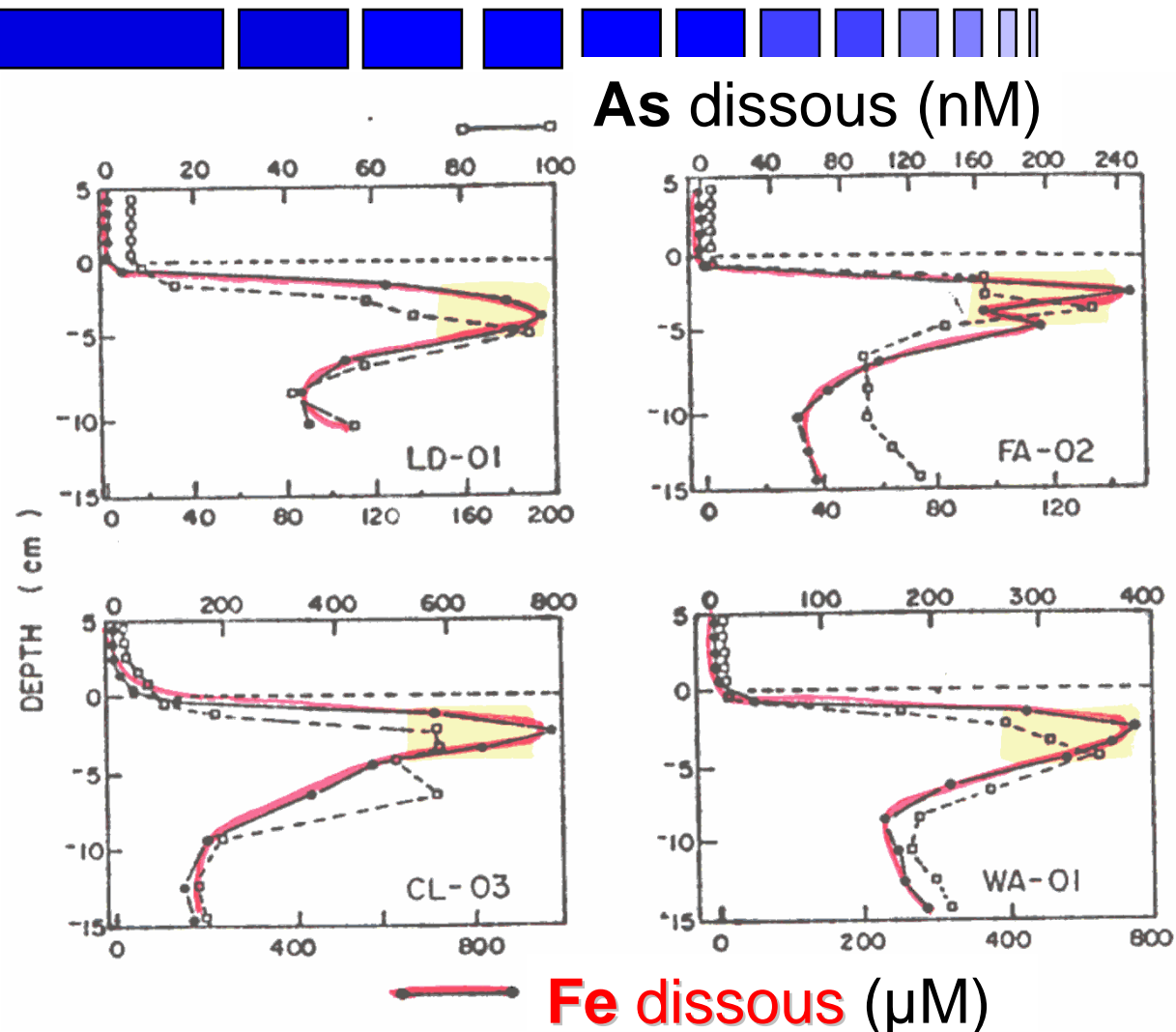
1.3.2 Puits de pollution en sédiments: Réduction des oxy-hydroxydes Fe & Mn

- 
- A 3-5 cm sous l'interface: **pic de Fe⁺⁺ dissous**
 - ⇒ Quels mécanismes ?
 - **Réduction**: en présence de matière organique et de bactéries
 - ⇒ Fe(OH)₃ ⇒ Fe⁺⁺
 - ⇒ MnO₂ ⇒ Mn⁺⁺
 - ⇒ Me⁺⁺ fixé sur Fe(OH)₃ & MnO₂ ⇒ relargués
 - **Diffusion** vers la surface: Fe⁺⁺, Mn⁺⁺ & Me⁺⁺
 - **Réoxydation** de Fe⁺⁺ & Mn⁺⁺ au contact de l'eau libre (si oxygénée)
 - ⇒ **accumulation Fe(OH)₃** en surface

1.3.2 Puits de pollution en sédiments: Réduction des oxy-hydroxydes Fe & Mn

- **As & Fe** dissous dans 4 lacs Canadiens

⇒ Belzile & Tessier (1989)



1.3.2 Puits de pollution en sédiments: Précipitation des sulfures métalliques

- Réduction des sulfates en sulfures
- En présence de H_2S & HS^- : **précipitation**
 - ⇒ Fe^{++} ⇒ FeS noir
 - ⇒ Mn^{++} ⇒ MnS noir
 - ⇒ Me^{++} ⇒ MeS noir
- ⇒ Concentrations dissoutes Fe^{++} , Mn^{++} & Me^{++} plus faibles en profondeur (anoxiques)
- ⇒ Pic de concentration de Fe^{++} , Mn^{++} & Me^{++} à 3-5 cm sous l'interface

1.3.2 Puits de pollution en sédiments: Précipitation des sulfures métalliques

■ Profils dans lac du Chevreuil (Canada)

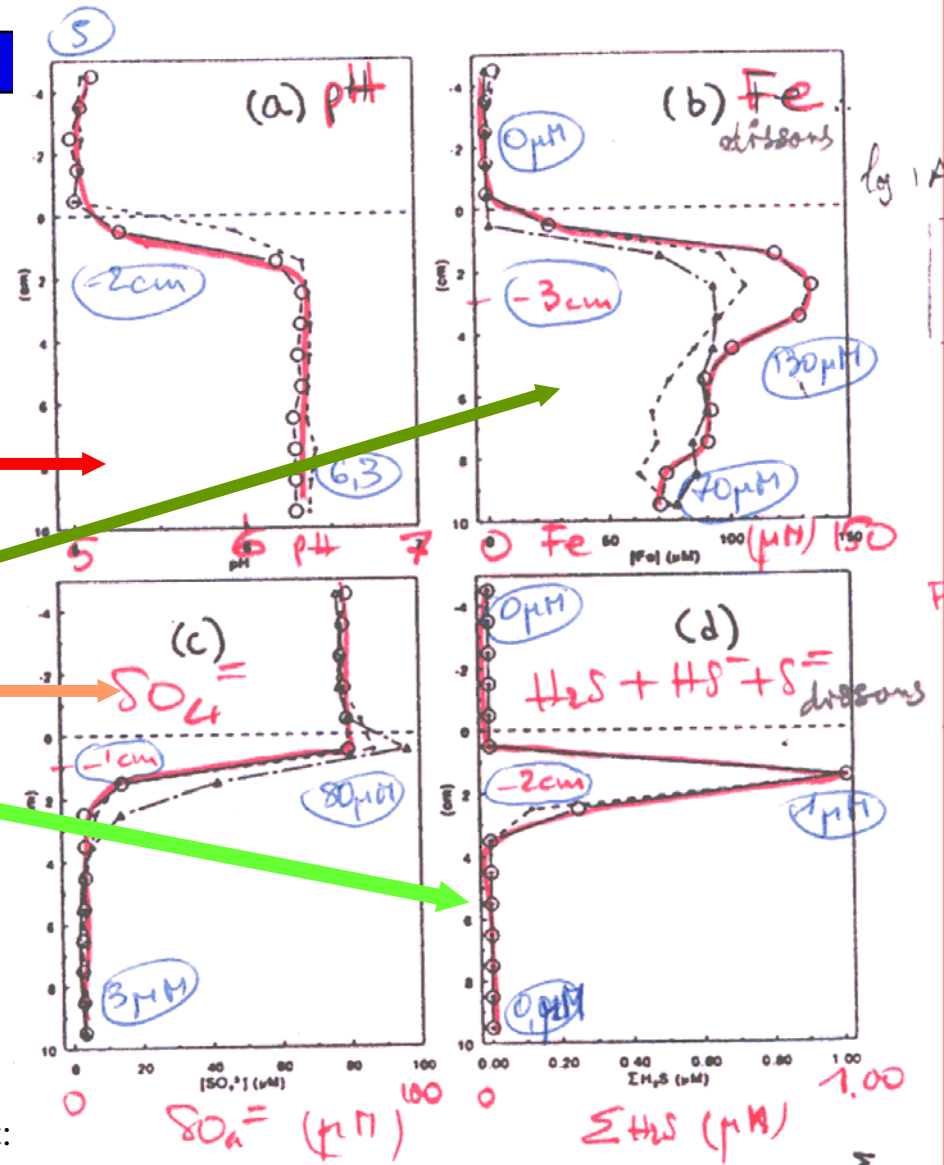
⇒ pH

⇒ Fe dissous (μM)

⇒ sulfates (μM)


⇒ sulfures (μM)

Huerta-Diaz et al. (1994)



1.3.2 Puits de pollution en sédiments

■ Bilan global pour les métaux

- ⇒ Sédimentation des particules naturelles et anthropiques contaminées (pendant l'étiage)
- ⇒ Réduction des sulfates par MO → sulfures
- ⇒ Réduction des oxydes de Fe & Mn par MO
 - Libération des métaux traces adsorbés sur Fe et Mn
 - Ré oxydation de Fe^{++} et Mn^{++} au contact de la colonne d'eau → accumulation d'oxyde de Fe & Mn en surface
 - Précipitation des sulfures de Fe et Mn et adsorption des métaux traces
- ⇒ Sédiment = **puits** et **source** de métaux traces ! 

1.3.2. Puits de pollution



- Questions ?

Eau et ses polluants: Conclusion

■ Conclusions

- ⇒ **Unité hydrographique**: bassin versant → Agences de l'Eau, DCE...
- ⇒ **Solidarité** de tous les usagers pour le maintien de la ressource en eau et de ses usages (DCE)
- ⇒ Rôle essentiel des **activités humaines** dans l'amélioration (contrôle des rejets) ou la détérioration de la qualité de l'eau (surface, souterraine, littoral)
- ⇒ Rôle important de la **sédimentation** et **des activités biologiques** dans la transformation des pollutions et dans leur transfert vers le littoral

Eau et ses polluants: Conclusion

- Questions ?

