

Géochimie de l'Environnement



Chapitre 2 : Chimie et contamination de l'eau

Guillaume Calu – ICES 2020-2021

2. Chimie et contamination de l'eau

2.1 L'hydrosphère terrestre

2.1.1 Définition et composition de l'hydrosphère

2.1.2 Échanges et dispersions de polluants

2.1.3 Unités et chimie des solutions

2.1.4 Géochimie des eaux naturelles

2.2 Métaux lourds toxiques

2.2.1 Définitions

2.2.2 Le mercure

2.2.3 Le plomb

2.2.4 Le cadmium

2.2.5 Le chrome

2.2.6 L'arsenic

2.3 Contamination des eaux souterraines et de surface

2.3.1 Sources et contaminations

2.3.2 Contamination par les nitrates

2.3.3 Contamination par les phosphates

2.3.4 Eutrophisation

2.1 – L'hydrosphère terrestre

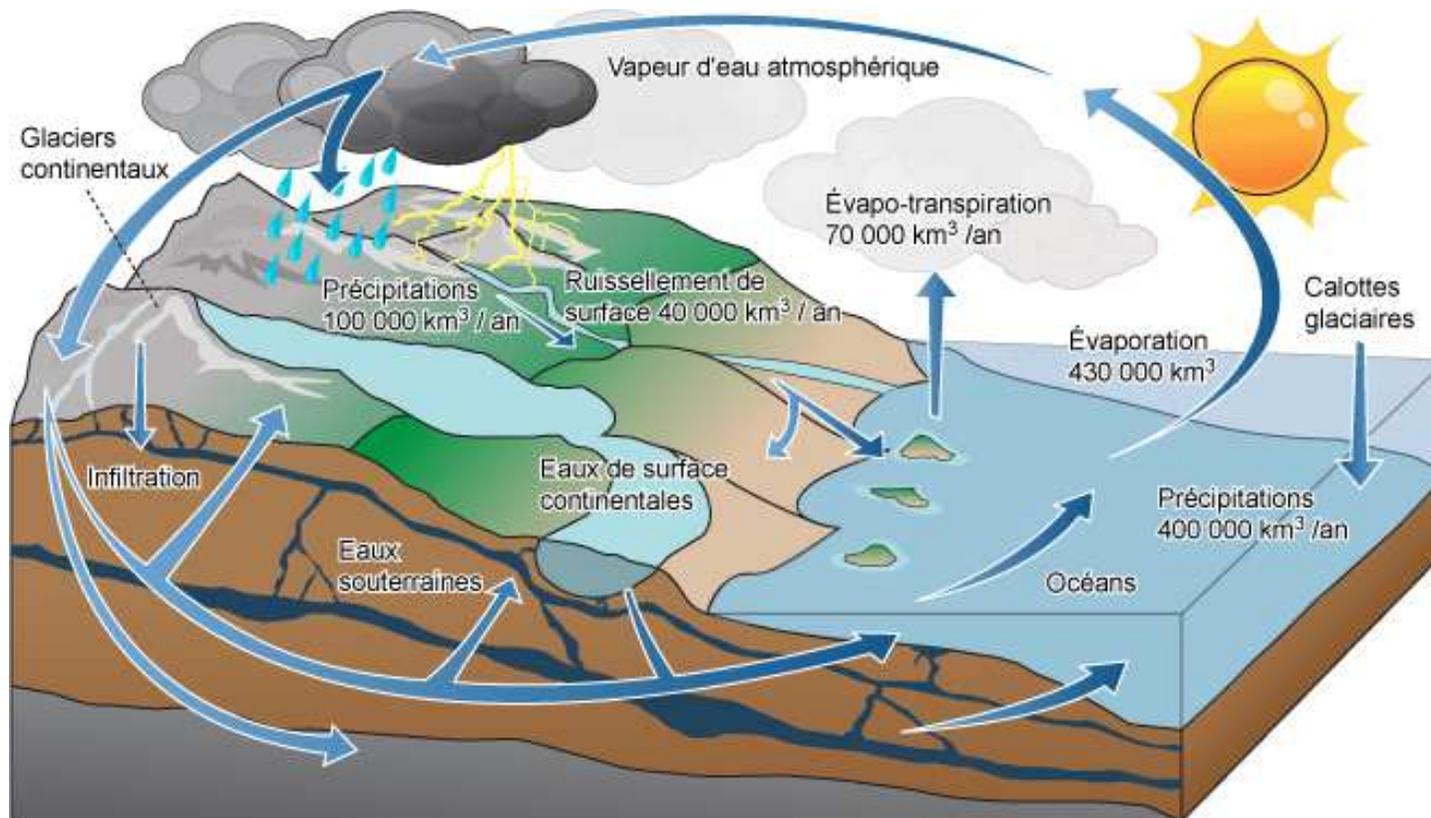
2.1.1 – Définition et composition de l'hydrosphère

L'hydrosphère terrestre définit l'ensemble des réservoirs d'eau de la Terre :

- Océans et mers 95,9 %
- Glaciers 2,9 %
- Eaux souterraines 1 %
- Lacs et rivières 0,0091 %
- Eau atmosphérique 0,001 %

2.1 – L'hydrosphère terrestre

Le cycle biogéochimique de l'eau permet de dresser un bilan à l'équilibre de l'eau sur Terre :



2.1 – L'hydrosphère terrestre

L'Humanité consomme 20% des eaux de ruissellement accessibles qui s'écoulent des rivières jusqu'aux mers.

La moitié de l'eau potable est tirée des eaux souterraines.

Les principales voies d'entrée des polluants dans l'hydrosphère sont dues aux :

- Lessivages des terres agricoles
- Accumulations de polluants dans les boues et à leur rejet brutal
- Ruissellements des zones urbaines par les précipitations
- Effluents des stations d'épuration
- Pollutions « accidentelles » (marées noires, boues toxiques, etc...)

2.1 – L'hydrosphère terrestre

2.1.2 – Échanges et dispersions de polluants dans l'hydrosphère

Un interface privilégié : les estuaires (rivières-océans).

Le flux d'eau douce débouchant par les estuaires représente 40000 km³/an.

Les estuaires sont des zones importantes de production biologique.

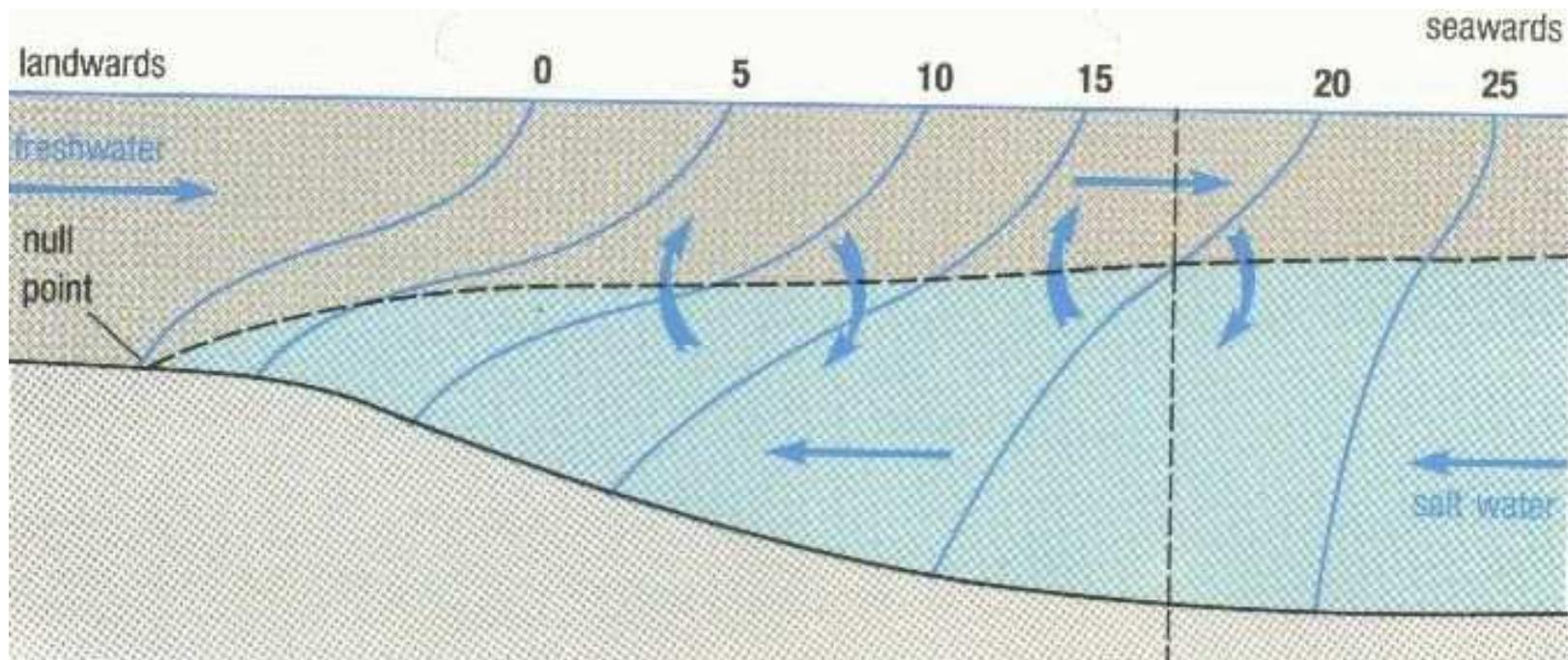
75% de la population mondiale vit à <50 km de la mer.

Les estuaires sont donc des zones fragiles et fortement anthropisées.

2.1 – L'hydrosphère terrestre

Deux courants s'affrontent : l'intrusion saline remontant le fleuve et le débit fluvial descendant en surface (circulation résiduelle).

La surface de séparation où s'accumulent les vitesses résiduelles recoupe le fond au point nodal.



2.1 – L'hydrosphère terrestre

Favorise la concentration des particules en suspension.

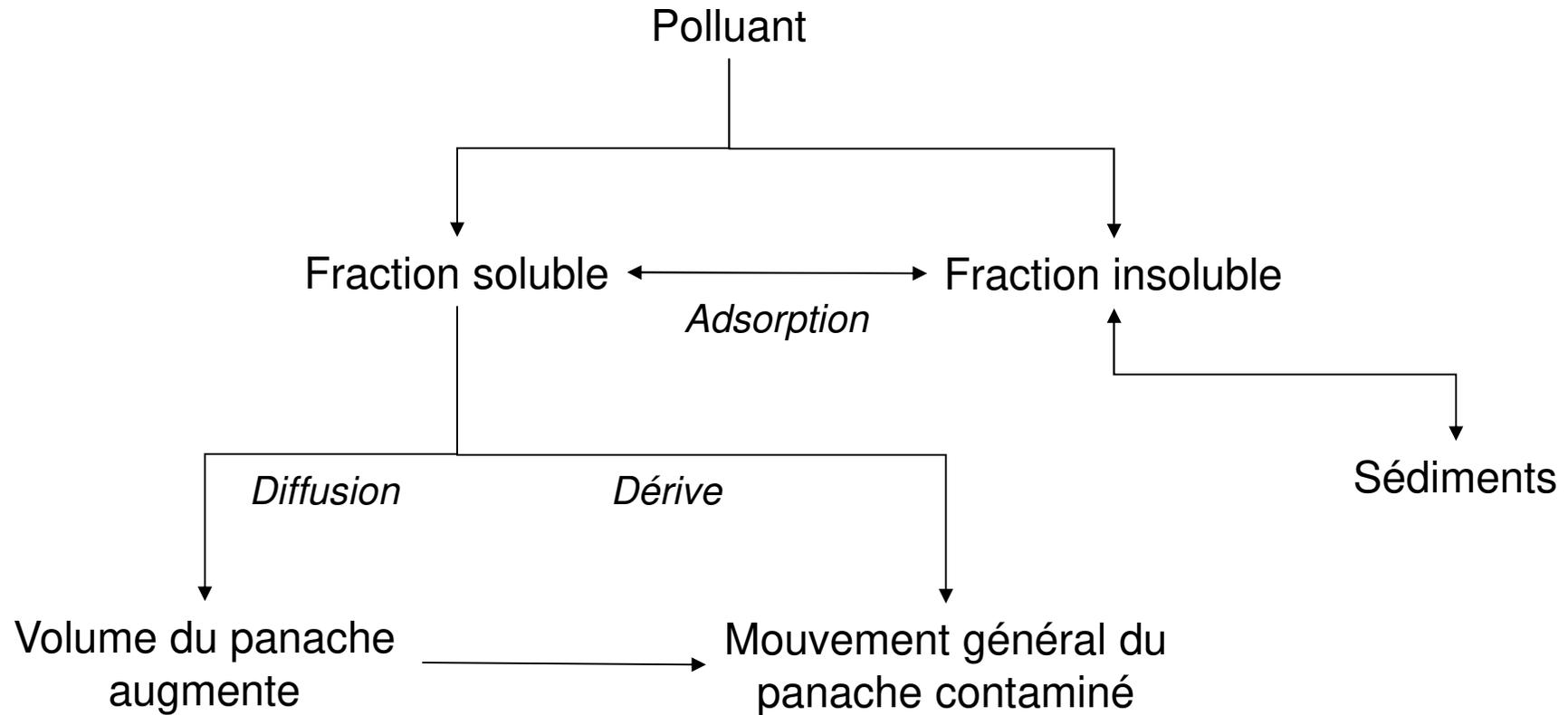
Forme un bouchon vaseux, où les polluants se concentrent.

Lors des épisodes de bouchon vaseux vers le large, la force de Coriolis dirige l'écoulement des sédiments selon l'hémisphère.

Exemple : panache du bouchon vaseux de la Gironde et son accumulation de cadmium.

Dans l'océan, la dispersion des polluants varie selon qu'ils sont en phase mobile ou particulaire.

2.1 – L'hydrosphère terrestre



Dispersion océanique des polluants

2.1 – L'hydrosphère terrestre

2.1.3 – Unités et chimie des solutions

On utilise aussi les unités relatives ppm ou ppb.

La conversion entre solubilité (mg/L) d'une substance et ppm s'effectue grâce à la masse volumique de l'eau (1kg = 1L).

Exemple : $s = 0,0062 \text{ mg/L}$

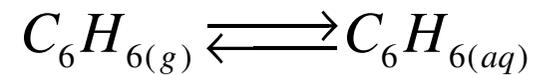
$$s = 0,0062 \text{ mg/kg}$$

$$s = 0,0062 \text{ g}/10^6 \text{ g}$$

$$s = 0,0062 \text{ ppm}$$

2.1 – L'hydrosphère terrestre

- Solubilité des gaz et COV dans l'eau selon la loi de Henry :



$$K_H = \frac{a_{(C_6H_6aq)}}{a_{(C_6H_6g)}} = \frac{[C_6H_6]}{P_{C_6H_6}}$$

$$[C_6H_6] = K_H \cdot P_{C_6H_6}$$

2.1 – L'hydrosphère terrestre

- LogP (ou Log Kow) : mesure de la solubilité différentielle de composés chimiques dans 2 solvants (apolaire/polaire) :

$$\text{Log}P = \log \left(\frac{C_{\text{octane}}}{C_{\text{eau}}} \right)$$

Dans solvants de référence octane et eau.

Indice écotoxicologique permet d'estimer si un polluant va s'accumuler dans les membranes biologiques ou éliminé dans les urines. Si LogP augmente le risque de bioaccumulation est important.

2.1 – L'hydrosphère terrestre

2.1.4 – Géochimie des eaux naturelles

- Les composés azotés

<u>Forme azotée</u>	<u>Formule</u>	<u>Degré d'oxydation</u>
Nitrate	NO_3^-	+5
Nitrite	NO_2^-	+3
Monoxyde d'azote	NO	+2
Protoxyde d'azote	N_2O	+1
Diazote	N_2	0
Ammonium	NH_4^+	-3

2.1 – L'hydrosphère terrestre

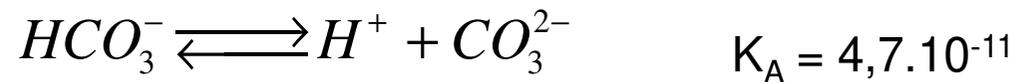
- Dioxyde de carbone dans l'eau

Les eaux naturelles, même pures, renferment des quantités significatives de CO₂ et de ses formes solubles : pH > 7



Sous la forme d'acide carbonique (diacide), s'effectue la dissociation jusqu'à obtenir du carbonate.

2.1 – L'hydrosphère terrestre



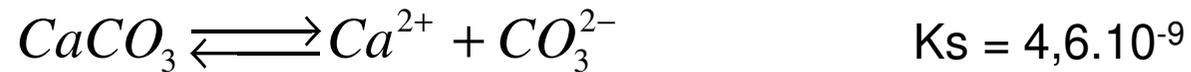
L'ion bicarbonate HCO_3^- se dissocie en ion carbonate CO_3^{2-} .

L'ion carbonate se retrouve fixé dans les roches calcaires formées de $CaCO_3$ carbonate de calcium.

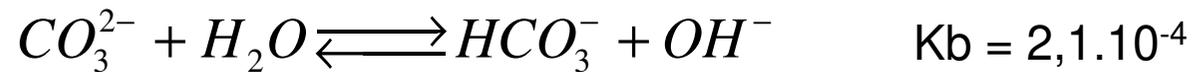
Les eaux naturelles sur terrain calcaire sont des eaux dites calcaires.

2.1 – L'hydrosphère terrestre

Le carbonate de calcium se dissout dans ces eaux calcaires :



L'ion carbonate dissout se comporte comme une base :



2.1 – L'hydrosphère terrestre

- Concentrations ioniques des eaux naturelles

Les ions calcium et bicarbonate prédominent les eaux calcaires.

Les eaux de rivière érodant des silicates rocheux sont riches en ions métalliques et H_4SiO_4 dissout.

Le minéral fluoroapatite enrichit également les eaux en ions fluorures (0,01-50 ppm).

2.1 – L'hydrosphère terrestre

- Eau de mer

La concentration totale en ions est plus forte que dans l'eau douce.

Le composé dissout majoritaire est le chlorure de sodium NaCl.

Au total, les sels représentent 3,8% de la masse d'eau de mer.

L'ion bicarbonate impose un pH moyen de 8 (variable).

La salinité est une mesure de conductivité des sels solubilisés.

La salinité moyenne des océans est de 35 g/L.

2.1 – L'hydrosphère terrestre

Exemple de composition ionique d'une eau de mer :

CaCO ₃	0,12 g/L
CuSO ₄ ,H ₂ O	1,75 g/L
NaCl	29,7 g/L
MgSO ₄	2,48 g/L
MgCl ₂	3,32 g/L
NaBr	0,55 g/L
KCl	0,53 g/L

2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.1 – Définitions

« Métaux lourds » ou éléments-trace métalliques : terme d'usage (sans définition scientifique). Atomes de densité $> 5 \text{ g/cm}^3$

Métaux de transition, métaux pauvres, métalloïdes, chalcogènes...

En général tout élément toxiques pour l'Homme et l'environnement émis par les activités humaines.

Les métaux lourds sont des polluants de l'eau, de l'air, du sol, ils sont capables de bioaccumulation...

Ils sont rarement dangereux sous forme atomique mais deviennent toxiques sous forme ionique, oxydée ou organométallique.

2.2 – Métaux lourds toxiques

1988 : Convention LRTAP (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance).

1998 : Protocole d'Aarhus ; réduire les émissions de Hg, Cd et Pb.

La France déclare aussi ses émissions d'arsenic, de chrome, de cuivre, de manganèse, de nickel, de sélénium, et de zinc.

Dans ce cours, cinq métaux lourds seront abordés : mercure (Hg), plomb (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr) et arsenic (As).

2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.2 – Le mercure (Hg)

Applications anciennes et variées de ce métal liquide à température ambiante ($T_f = -38,8^\circ\text{C}$).

Autrefois dans les thermomètres, instruments météorologiques, batteries, piles, pièces automobiles...

Utilisation réglementée depuis 1999.

Encore présent dans les ampoules à fluorescence (5-10 mg/ampoule) et dans les lampes à mercure d'éclairage urbain.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Principales sources d'émission en France :

- La métallurgie des métaux ferreux (agglomération de minerai, fours de production d'acier)
- La chimie industrielle du chlore
- La filière des minerais non-métalliques, cimenteries et autres matériaux de construction
- Traitement des déchets par incinération.

2.2 – Métaux lourds toxiques

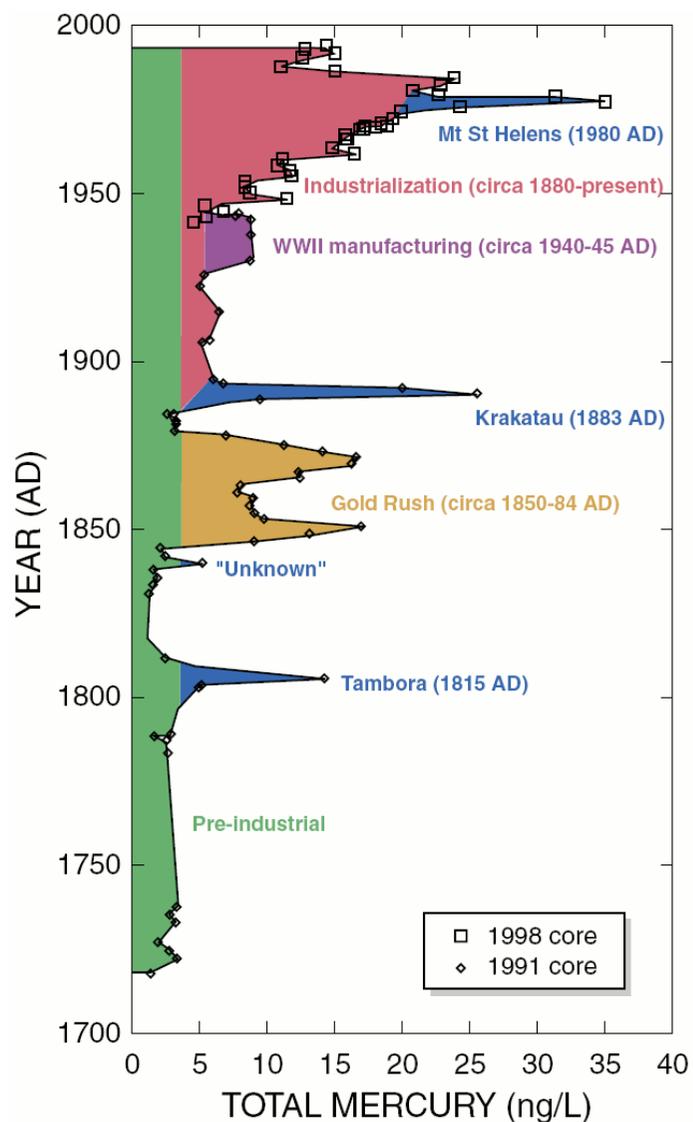


Figure : teneurs relevées en mercure par carottage dans les glaces du mont Frémont (USA) reportées sur la période 1725-2000

2.2 – Métaux lourds toxiques

Une histoire de dentistes

Le mercure forme des amalgames avec d'autres métaux.

Usages dans plombages dentaires (amalgames Hg, Ag, Cu, Zn, Sn).

Crée une évaporation superficielle de Hg en serrant des dents.

En moyenne 1 kg de déchets Hg par dentiste / an.

Ces plombages sont désormais interdits dans de nombreux pays.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le mercure volatile

Le plus volatile des métaux. Évaporation par micro-gouttes. Vapeur de Hg fortement toxique.

Le mercure liquide n'est pas directement toxique sous forme atomique.

Inhalé, il traverse la barrière hémato-encéphalique et endommage le système nerveux central en se solubilisant en Hg^{2+} .

Intoxications : difficultés de concentration, vue et toucher perturbés.

Rejets de mercure atomique en baisse grâce à un meilleur contrôle des unités d'incinération des déchets et du tri pour recyclage.

Aux USA l'emploi de Hg dans les produits manufacturés a chuté de 95%.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Émissions de Hg dans l'atmosphère

Les centrales à charbon rejettent du Hg : 4.10⁹ tonnes de charbon brûlés chaque année rejettent 800 tonnes de mercure (40% émissions globales).

L'Asie est la plus importante source d'émissions atmosphériques.

La Chine est le plus grand consommateur mondial de charbon (47%).

Les pays en voie de développement rejetant ce que les pays développés arrivent à réduire, les émissions mondiales se maintiennent.

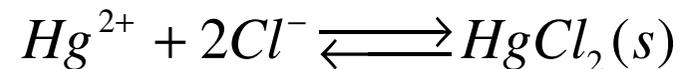
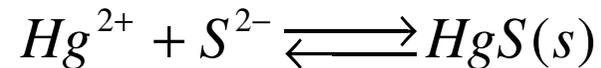
Dans l'atmosphère, Hg est émis gazeux par combustion du charbon ($T_{\text{ebullition}} = 357^{\circ}\text{c}$). Une partie est émise sous formes HgO et Hg₂Cl₂.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Mercure ionique

L'ion mercure ou mercurique Hg^{2+} est la forme ionique majoritaire.

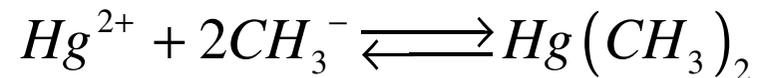
Il précipite en présence d'ions sulfure S^{2-} ou d'ions chlorures Cl^-



L'ion Hg_2^{2+} se combine avec le chlore en Hg_2Cl_2 et est moins toxique.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le mercure forme également un composé organométallique : le diméthylmercure $Hg(CH_3)_2$.



Sa formation se produit dans les sédiments boueux des rivières et lacs via la flore microbienne anaérobie.

Formation également de méthylmercure CH_3HgX et CH_3HgOH .

L'acidification des eaux facilite la solubilité du mercure et sa méthylation : risque supplémentaire avec pluies acides.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le méthylmercure est une toxine plus puissante que Hg^{2+} car soluble dans les tissus lipidiques des animaux (bioaccumulation).

La barrière hémato-encéphalique est franchie. Toxicité principale au niveau du système nerveux central.

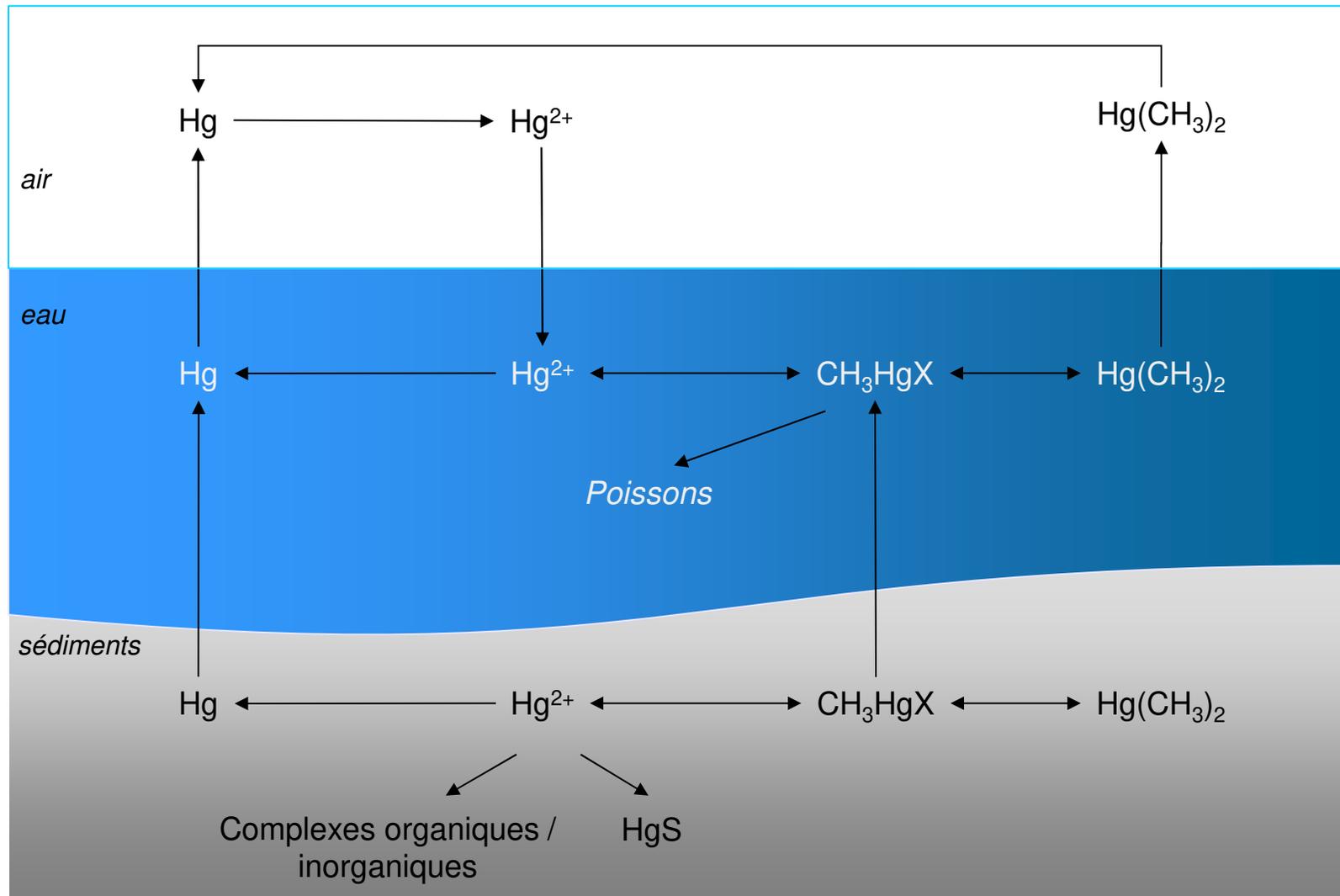
Dans le cerveau, le méthylmercure est transformé en Hg^{2+} : dégâts neurologiques.

La majeure partie du Hg présent chez l'homme est sous forme de méthylmercure.

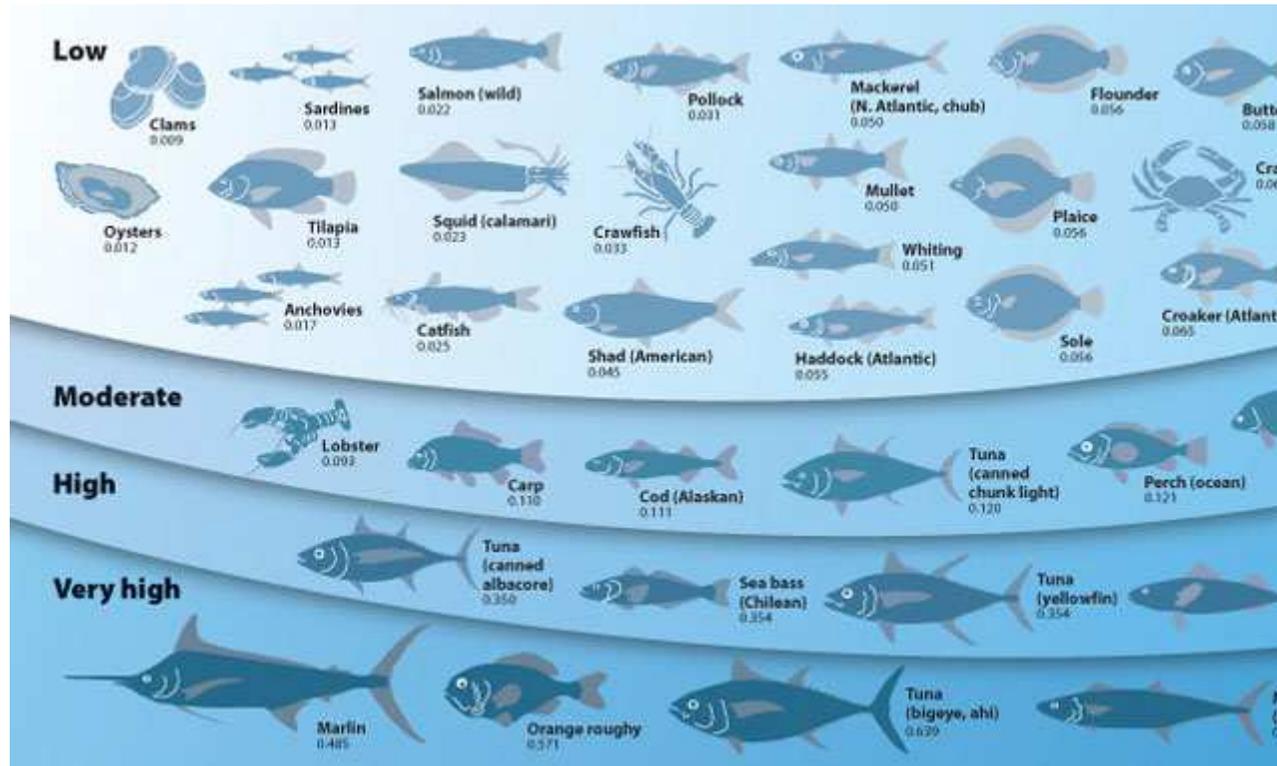
Dans les poissons, le méthylmercure représente 80% du Hg. Il est lié aux protéines : pas de décontamination possible avant consommation.

Il pénètre à travers les ouïes : les poissons prédateurs en accumulent par la chaîne alimentaire.

2.2 – Métaux lourds toxiques



2.2 – Métaux lourds toxiques



2.2 – Métaux lourds toxiques

La catastrophe de Minamata

De 1932 à 1966, la compagnie pétrochimique Shin Nippon Chisso rejeta du mercure dans la baie de Minamata, au Japon.

Les habitants du village de Minamata développèrent des symptômes, décrits dès 1949 sous le nom de "maladie de Minamata".

Réduction du champ visuel, altération de l'audition, troubles de la sensibilité, de la parole, perte de coordination des membres (ataxie), convulsions et tremblements, symptômes tératologiques et enfants morts-nés de mères contaminées.

Les autorités japonaises dénombrent 2 265 victimes officielles. Mais plus de 13000 personnes ont été indemnisées et 25000 personnes sont encore en attente d'une décision.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Mercure et orpillage

Le mercure est utilisé depuis l'Antiquité pour amalgamer l'or et l'argent.

Les amalgames sont plus denses et plus faciles à extraire du sol et sédiments.

De 1570 à 1900 on estime que $2 \cdot 10^5$ tonnes de mercure ont été utilisés pour extraire ces métaux en Amérique du Sud.

L'industrie de l'or chinoise emploie encore légalement du mercure.

L'orpillage clandestin en consomme pour un ration Hg:Au de 15:1 ...

2.2 – Métaux lourds toxiques



Exemple d'orpaillage clandestin en Amazonie

2.2 – Métaux lourds toxiques

La pollution au mercure des fleuves amazoniens contamine toute la chaîne trophique jusqu'aux populations indigènes.

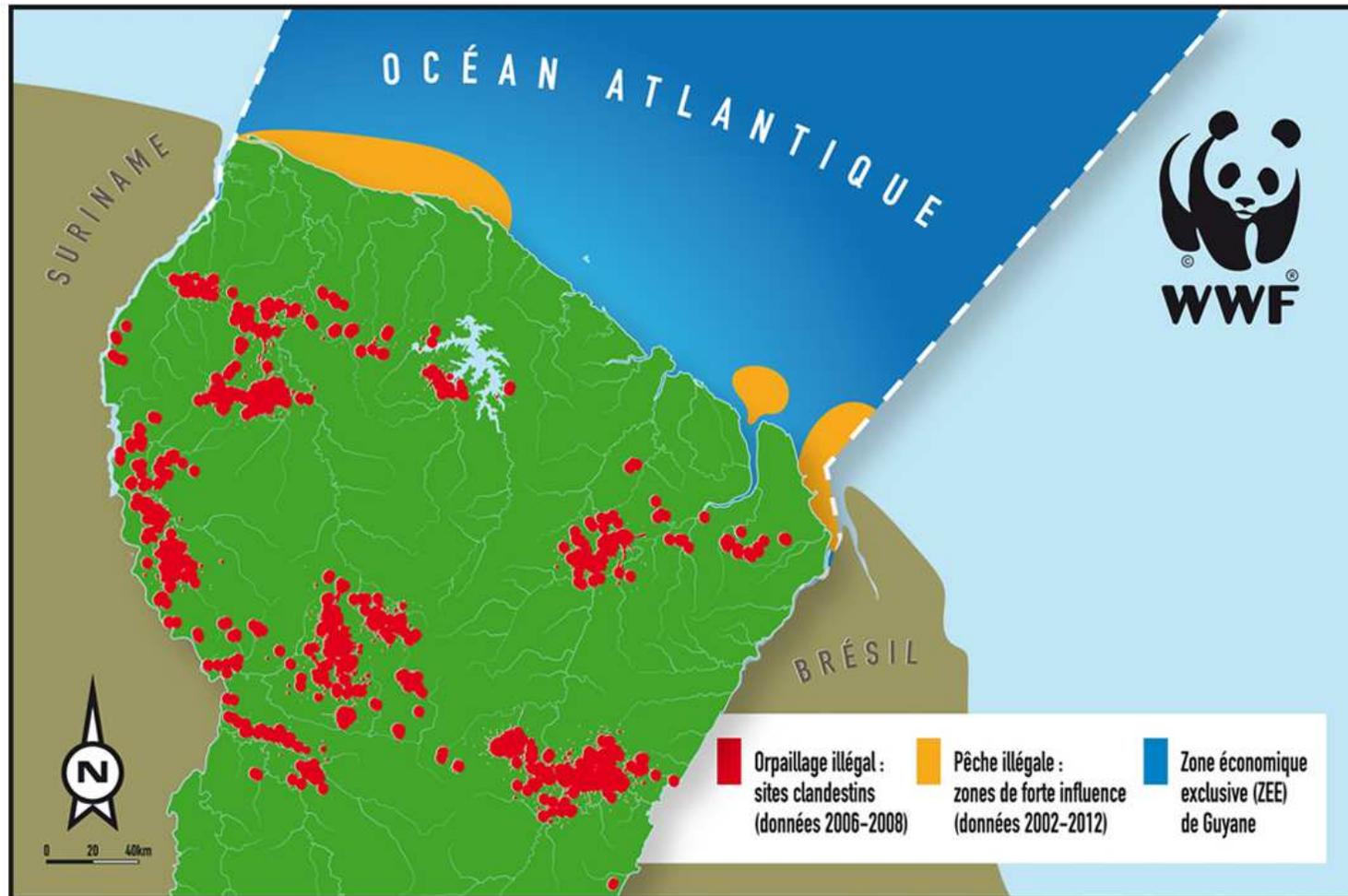
10% des émissions anthropiques Hg dans l'air sont liées à l'orpaillage clandestin.

Certaines populations locales inhalent jusqu'à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ soit 50 fois la dose recommandée par l'OMS.

La France est également concernée via son département guyanais :

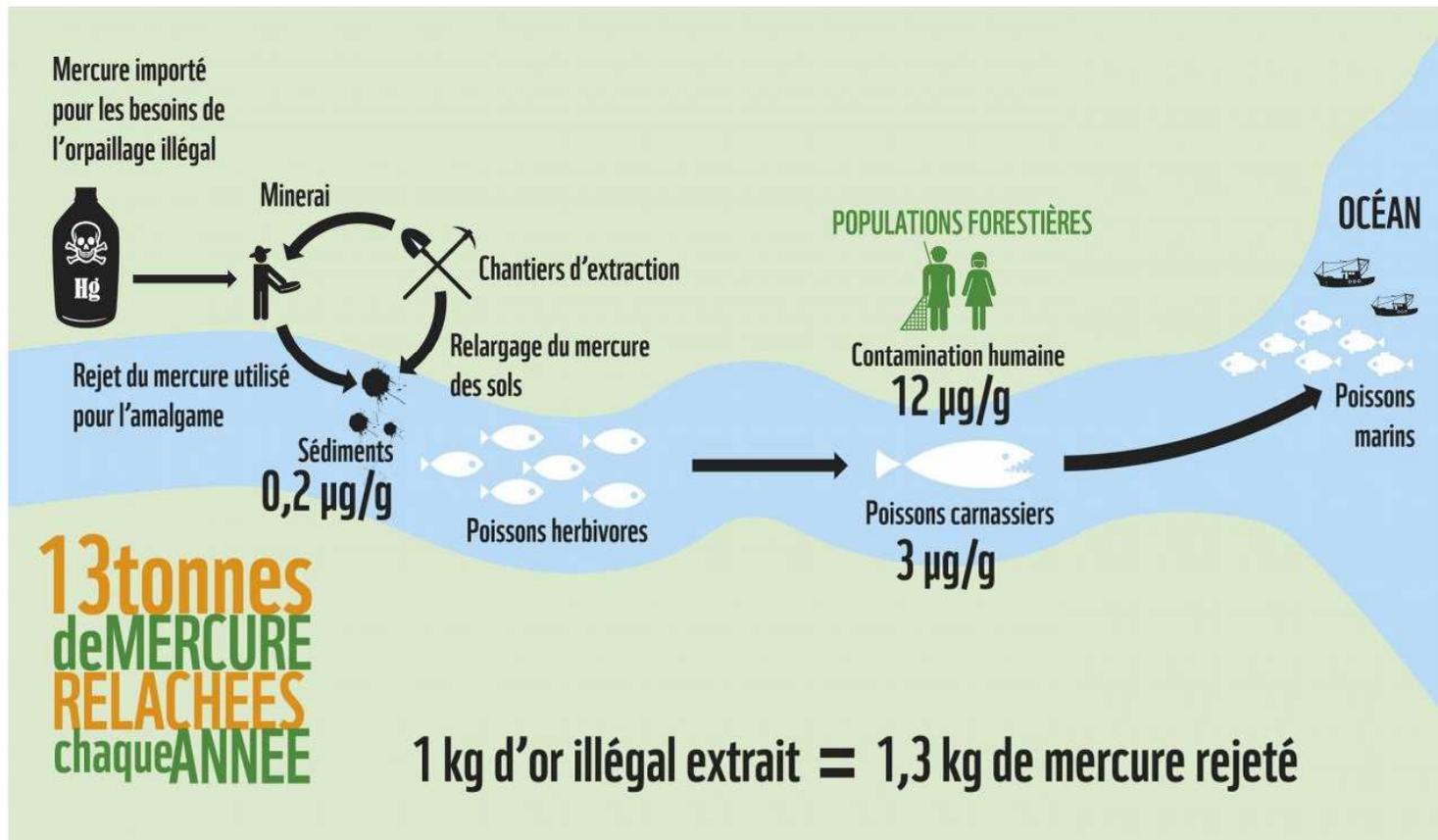
2.2 – Métaux lourds toxiques

Exploitation illégale des ressources naturelles en Guyane.



2.2 – Métaux lourds toxiques

GUYANE : UNE POLLUTION AU FIL DE L'EAU



2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.2 – Le plomb (Pb)

Métal fluide à travailler ($T_f = 327^\circ\text{C}$) : plomberie, pièces moulées, pigments de peinture ...

Pics de pollution atmosphérique à chaque essor industriel : époque romaine, renaissance, révolution industrielle.

Sources d'émission :

Les transports : carburants, pièces mécaniques, huiles...

Industrie manufacturière, métallurgie des métaux non-ferreux, fours verriers...

Le secteur résidentiel / tertiaire, activités de loisirs : chasse, tir récréatif, pêche ...

Production énergétique : charbon, incinération de déchets...

2.2 – Métaux lourds toxiques



Empoisonnements au plomb dans l'Empire romain :

- Aqueducs canalisations en plomb
- Vins romains et cuisine agrémentés de sels de plomb (goût adouci) pour les classes aisées.
- Baisse natalité, classe dirigeante victime d'effets neurotoxiques.

2.2 – Métaux lourds toxiques

L'expédition Franklin (1845)



2.2 – Métaux lourds toxiques

Effets toxicologiques

Le plomb sous forme ionique Pb^{2+} est neurotoxique.

Toxicité proportionnelle à la quantité bioaccumulée dans l'organisme.

Sous forme PbO , il s'accumule dans les os (détérioration par substitution au Ca^{2+}) et dans le cerveau.

Pb relargué en cas de stress, grossesse, vieillissement.

Fœtus et jeunes enfants accumulent Pb via la croissance.

Risque de fausse couche et de déficiences neuropsychologiques.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le plomb dans les eaux potables

Limite teneur 10-15 ppb.

Le plomb soluble dans les vieilles canalisations : fixe le calcaire et précipite en PbCO_3 et PbO_2 .

En cas de choc pH acide ou de traitement des eaux courantes au chlore, le tartre relargue du Pb^{2+} .

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le plomb et les peintures

Vernis et pigments au plomb PbO : céramique de la vaisselle.

Peinture au plomb utilise des pigments polluants :

PbCrO_3 chromate de plomb (jaune)

Pb_3O_4 antirouille rouge

$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ plomb blanc (peinture s'écaillant, goût sucré)

Interdites en peintures d'intérieur, on en trouve encore dans les peintures extérieures et vieilles peintures.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Le plomb dans l'essence

Additif présent dans l'essence depuis 1920.

Dans les années 70, les USA engagent une lutte contre la pollution atmosphérique du transport routier : NO_x, COV.

Réglementation du pot catalytique. Mais le plomb empoisonne cet équipement !

1975 : interdiction des essences plombées aux USA.

1985 : L'UE premier émetteur atmosphérique mondial de Pb veut mettre un terme à l'essence plombée.

1990 : commercialisation en France de l'essence sans plomb

1993 : mise en place du pot catalytique en France.

2000 : interdiction des essences plombées en France.

2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.3 – Le cadmium (Cd)

Sous-produit du raffinage du zinc.
Contaminations autour des fonderies
de zinc, plomb et cuivre.

Piles et batteries à électrodes Cd-Ni
désormais interdites en UE et USA.

Sulfure de cadmium (jaune
tournesol) pigment toxique supposé
à l'origine de la névrose du peintre
Van Gogh.



2.2 – Métaux lourds toxiques

Principales sources d'émission en France :

- La combustion de combustibles, notamment le fioul lourd, les combustibles minéraux solides, ou encore la biomasse.
- L'incinération des déchets avec convection thermique
- La sidérurgie, la métallurgie des métaux non-ferreux
- La production de minéraux non-métalliques, de matériaux de construction
- L'usure de pièces automobiles (freins, pneumatiques), huiles moteurs

2.2 – Métaux lourds toxiques

Risque d'absorption du cadmium en zone industriel, mais également présent dans la cigarette.

En agriculture, le cadmium est un contaminant des engrais phosphatés.

Présence dans les boues toxiques industrielles.

S'accumule dans les légumes (agriculture) et chaîne alimentaire; présent dans les estuaires et contamine les fruits de mer.

Hautement toxique sous forme ionique Cd^{2+}

Régulé à faible dose par les métallothionéines (protéines soufrées).

Cadmium excédentaire accumulé dans le foie et les reins.

Il peut remplacer le calcium des os (ostéoporose).

Au Japon, cas de contamination de l'eau d'irrigation des rizières (industries en amont).

2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.4 – Le chrome (Cr)

Utilisé en électrodéposition (galvanisation) en métallurgie, tannage du cuir pour le rendre imperméable, résistant à la chaleur et bactéries.

Émissions industrielles de chrome : contamine les eaux industrielles puis souterraines.

Utilisé dans le CCA (arsénate de cuivre chromé) : agent protecteur antidégradation du bois (jusqu'à 10% de la masse du matériau).

Forme deux composés ioniques :

- **Un ion peu toxique Cr^{3+}**
- **Un ion toxique cancérigène potentiel Cr^{6+}**

L'ion chromate hexavalent peut oxyder les bases de l'ADN et de l'ARN.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Principales sources d'émission en France :

- La combustion de combustibles, notamment le fioul lourd, les combustibles minéraux solides, ou encore la biomasse.
- Industrie manufacturière, production de métaux ferreux, aciéries électriques et fonderies de fonte.
- Production de minéraux non-métalliques, matériaux de construction, industrie verrière.
- L'usure de pièces automobiles (freins, pneumatiques), huiles moteurs

2.2 – Métaux lourds toxiques

2.2.5 – L'arsenic (As)

Présent dans la formulation de pesticides.

Libération involontaire par les exploitations minières : lixiviats.

Fonderies de fer, acier, cuivre, nickel...

Utilisé dans le CCA (arsénate de cuivre chromé) : agent protecteur antidégradation du bois (jusqu'à 10% de la masse du matériau).

Présence d'arsenic dans les eaux potables contaminées par industries.

Cancérogène pour l'homme par inhalation comme sous forme aqueuse.

2.2 – Métaux lourds toxiques

Principales sources d'émission en France :

- La combustion de combustibles, notamment le fioul lourd, les combustibles minéraux solides, le bois-énergie...
- La production manufacturée de métaux ferreux ou non-ferreux, l'industrie verrière.
- L'usure des routes, des pièces automobiles (freins, pneumatiques).

2.3 – Pollution et purification de l'eau

2.3.1 – Sources, contamination chimique et remédiation

La grande majorité (99%) de l'eau douce sur Terre est dans le sous-sol.

Principale source d'approvisionnement des eaux souterraines est liée aux précipitations.

La zone de sous-sol saturée en eau souterraine est la **nappe phréatique**.

Réservoir aquifère : nappe phréatique reposant sur couche argileuse ou roche imperméable et stockée dans roches poreuses ou couche fracturée.

Source d'eau douce pour +1,5 milliards d'humains.

Plus de 2 trillions de litres d'eau souterraine extraits chaque jour.
Principalement utilisée pour l'irrigation en agriculture.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

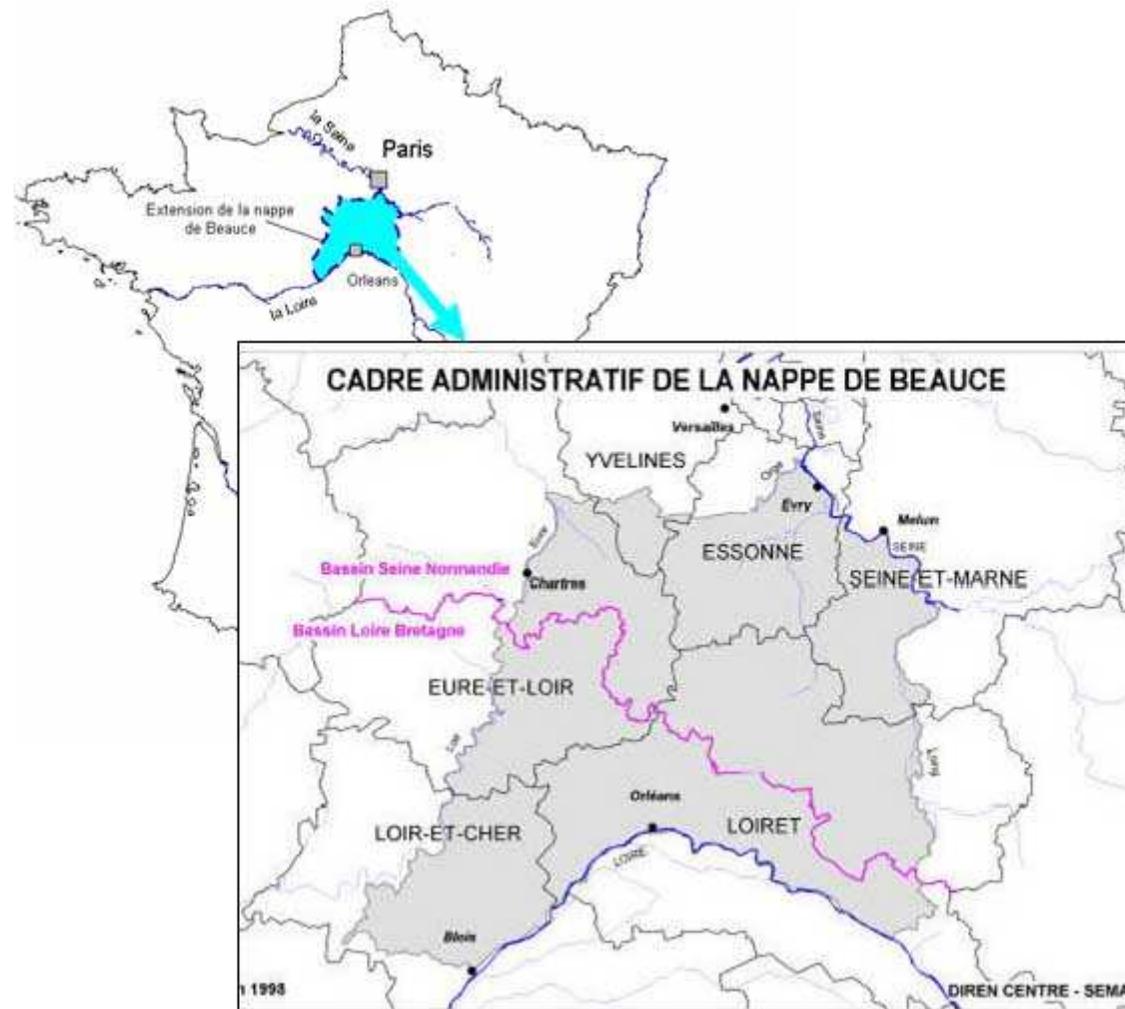
En France, la plus vaste nappe est celle de la Beauce : 9000 km² de surface et 20 milliards de m³ de volume d'eau.

La contamination et la surexploitation de ces nappes phréatiques en font des ressources fragiles.

Leur renouvellement dépend des variations climatiques.

La montée du niveau des eaux marines et la surexploitation de ces nappes phréatiques est responsable de leur salinisation.

2.3 – Pollution et purification de l'eau



2.3 – Pollution et purification de l'eau

2.3.2 – Contamination par les nitrates

Les nitrates représentent une forme de contamination azotée des nappes phréatiques.

Liés à l'agriculture mais aussi à l'activité urbaine.

Risque sanitaire et environnemental pour les sources d'eau potable.

En Europe, la norme-seuil en taux d'azote est de 50 ppm.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

Le nitrate des eaux souterraines provient de 4 sources principales :

- Engrais azoté, inorganique et fumier animal appliqué sur surfaces agricoles.
- Culture des sols
- Rejets humains via fosses sceptiques
- Origine atmosphérique

Au début des années 2000 aux USA, près de 12 millions de tonnes d'engrais azoté synthétique ont été répandus annuellement par l'agriculture.

A l'échelle mondiale, le chiffre atteint les 80 millions de tonnes !

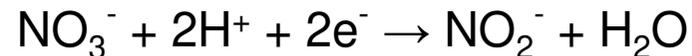
2.3 – Pollution et purification de l'eau

Le nitrate d'ammonium NH_4NO_3 est un engrais azoté : principale source de contamination des eaux souterraines.

L'ammonium non absorbé par les plantes est oxydé en nitrates dans le sol.

Accumulation puis écoulement des nitrates dans les eaux souterraines et de surface : impacts sanitaires et environnementaux.

L'impact sur la santé est lié à sa transformation en nitrites :



Le nitrite se combine au Fe^{2+} de l'hémoglobine pour l'oxyder en Fe^{3+}

Cette forme oxydée de l'hémoglobine est la méthémoglobine.

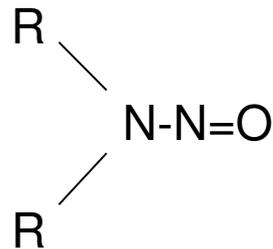
2.3 – Pollution et purification de l'eau

La méthémoglobine est impropre au transport d'oxygène.

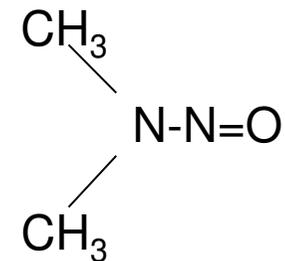
Responsable de la méthémoglobinémie ou maladie bleue du nourrisson.

A forte dose, le nitrate est suspecté de lymphomes de de cancers de la vessie.

Les nitrites formés dans l'estomac (milieu acide) se combinent avec les amines pour former des N-nitrosamines (cancérogènes).



N-nitrosamine



NDMA

2.3 – Pollution et purification de l'eau

La N-nitrosodiméthylamine (NDMA) se forme aussi dans les aliments acides ou traités aux nitrates.

Exemple de la charcuterie (salaison) : nitrates réduits en nitrites ont un rôle anti-bactérien.

L'ion nitrite, en se combinant aux hémoglobines de la viande, donne à la charcuterie sa couleur très rosée.

Programmes actuels de réduction des taux de nitrites dans les aliments. Certains industriels ajoutent des vitamines C et E pour bloquer la formation de nitrosamines.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

2.3.3 – Contamination par les phosphates

Dans les années 60, le lac Erié se meurt. La faune se décompose et les algues prolifèrent.

Pollution aux phosphates apportés par le ruissellement et les rivières (engrais phosphatés). Le lac est victime d'eutrophisation.

En 1972, USA et Canada signent le Great Lakes Water Quality Agreement.

Plus de huit milliards de dollars investis pour construire des usines de traitement des eaux usées.

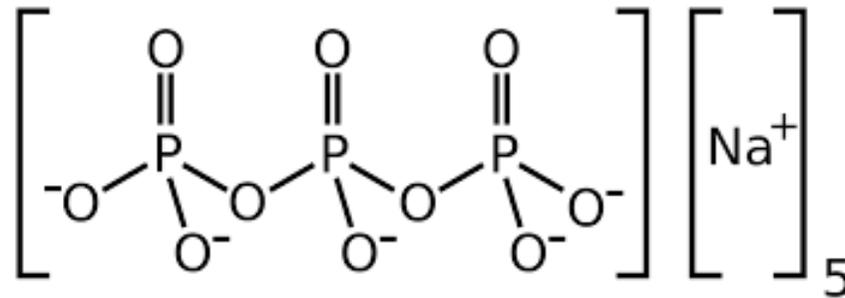
Le lac revit mais reste sensible aux nitrates et phosphates accumulés dans les sédiments.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

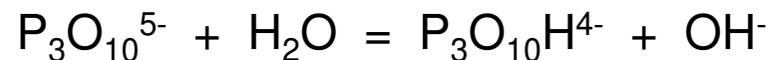


2.3 – Pollution et purification de l'eau

La pollution aux phosphates est soit d'origine agricole (engrais phosphatés) soit d'origine domestique (tripolyphosphate de sodium des lessives).

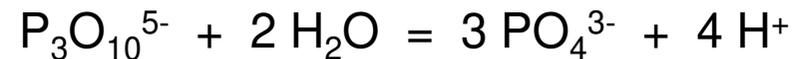


Les détergents synthétiques contiennent beaucoup de TPS. Cette base faible en solution permet d'alcaliser l'eau et améliore le lavage :



2.3 – Pollution et purification de l'eau

L'eau usée relarguée, le TPS rejeté réagit lentement dans les canalisations pour se transformer en ions phosphates :



En raison de sa pollution environnementale, le TPS est désormais moins utilisé.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

2.3.4 – Eutrophisation

L'apport massif en azote et phosphate peut entraîner un phénomène d'eutrophisation.

Les nutriments organiques sont minéralisés par les bactéries, consommant du dioxygène.

Entraîne une désoxygénation du milieu pouvant être fatale à la faune aquatique.

L'apport en N et P permet la prolifération d'algues. Certaines sont toxiques (cyanotoxines, phycotoxines).

La biomasse accumulée finit par pourrir et sédimenter. Augmente la désoxygénation du milieu.

L'anaérobiose entraîne un dégagement de CH_4 , NH_3 , SH_2 potentiellement toxique.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

Le cas du lac Léman

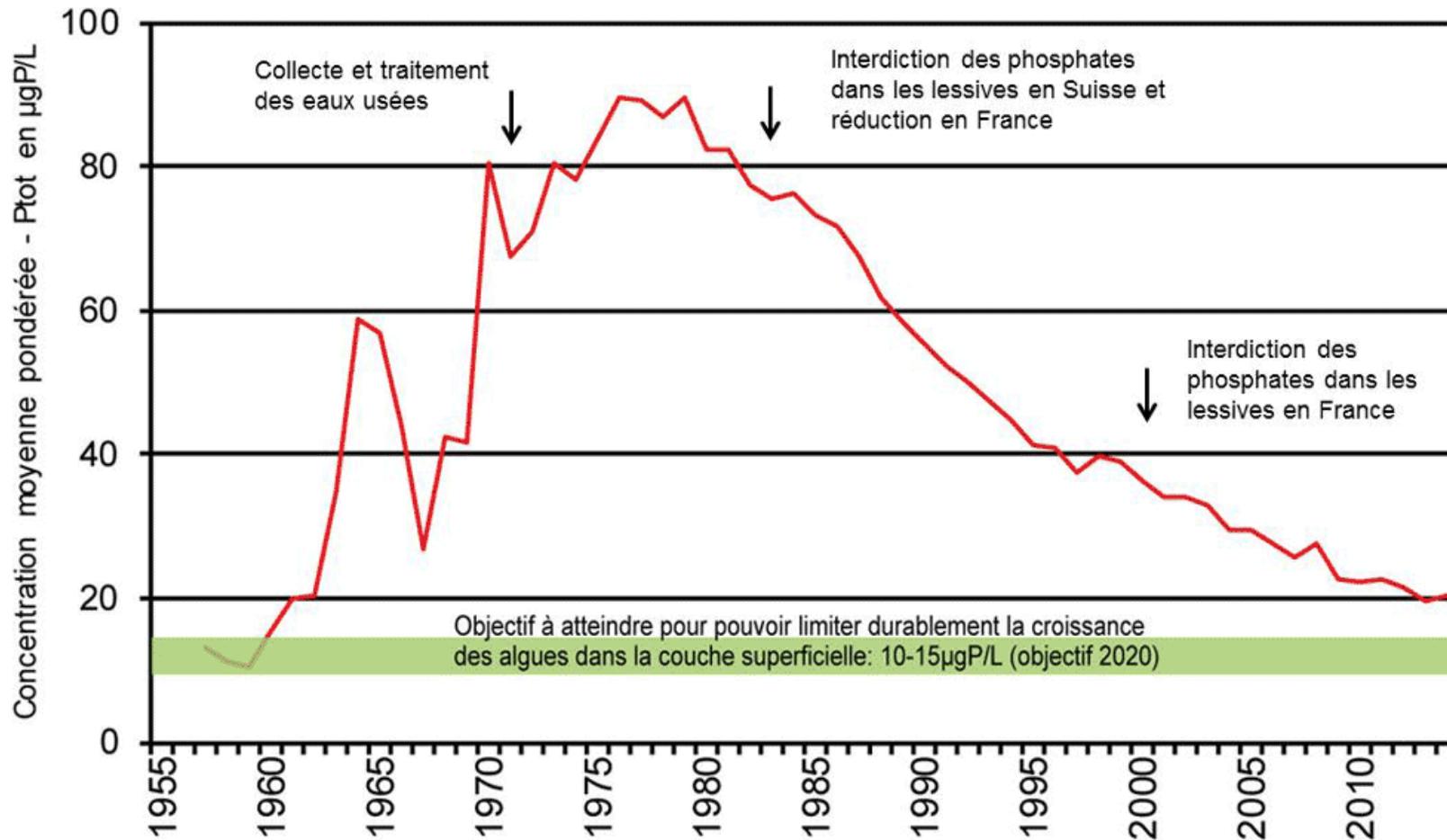
Son eutrophisation par les phosphates n'a pas d'impact sur la santé mais sur l'environnement.

Début années 50, les teneurs passent de 10 à 90 $\mu\text{g/L}$ fin des années 70.

La Suisse interdit les TPS dans les années 80 et met en place un plan de déphosphatation dans ses stations d'épuration.

La teneur s'est stabilisée autour de 20 $\mu\text{g/L}$ et la surface sédimentaire se réoxygène depuis 2004.

2.3 – Pollution et purification de l'eau



2.3 – Pollution et purification de l'eau

La Bretagne et les marées vertes

Lié aux apports en nitrates excédentaires, influence des phosphates.

Baies à faible pente : stratification de l'eau, ensoleillement : efflorescences algales : Ulves, Entéromorphes.

Décomposition de la biomasse désagréable nécessite nettoyage des plages.

Risque de prolifération d'algues nuisibles ou toxiques (HAB).

Suivi des teneurs en N et P dans les cours d'eau, de la chlorophylle par imagerie satellite (satellite Sentinel-3).

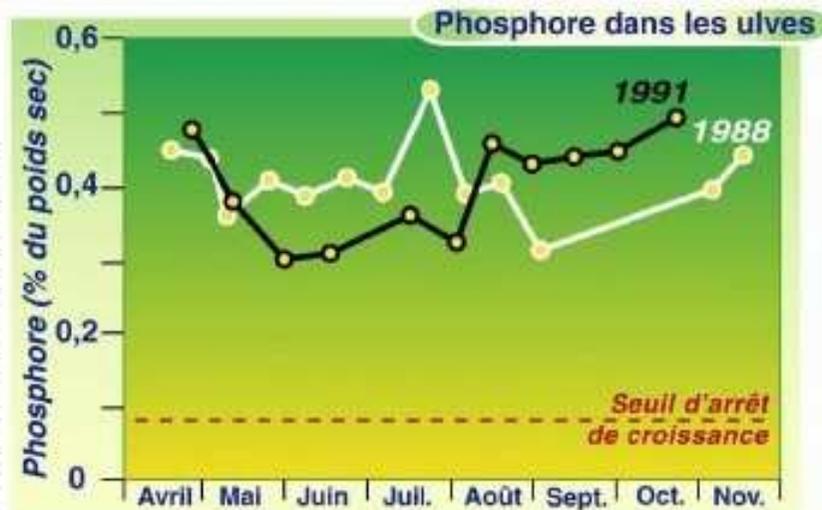
Rejets en N et P ont persisté pendant 30 ans à cause de la contamination des nappes phréatiques. Baisse des apports agricoles sur 20 ans permet de noter un début de régression du phénomène d'efflorescence (Ifremer, 2018).

2.3 – Pollution et purification de l'eau



En été, la prolifération est limitée par les teneurs en azote.

Un excès estival en azote entretient donc le phénomène de marée verte.

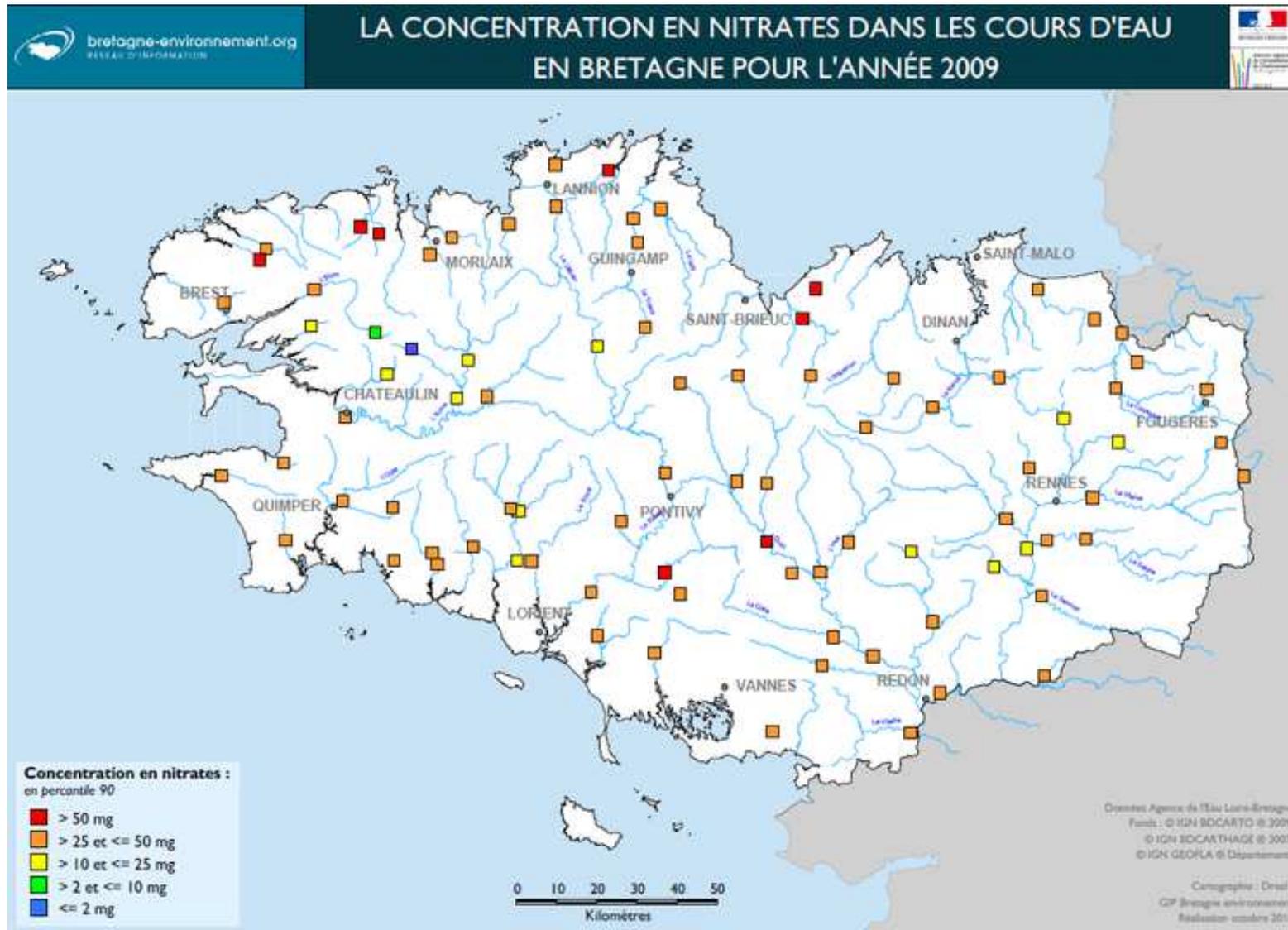


Les quantités de phosphore incorporées dans les ulves sont toujours supérieures au seuil d'arrêt de croissance. Le phosphore n'est jamais facteur limitant.

A. Menesguen (Ifremer)

d'après C.E.V.A. -Pleubian- (DION et BOZEC 1991)

2.3 – Pollution et purification de l'eau



Seuil de qualité sanitaire des eaux : 50 mg (NO_3^-) / litre.

2.3 – Pollution et purification de l'eau

Autres facteurs combinés influant sur l'azote et les marées vertes

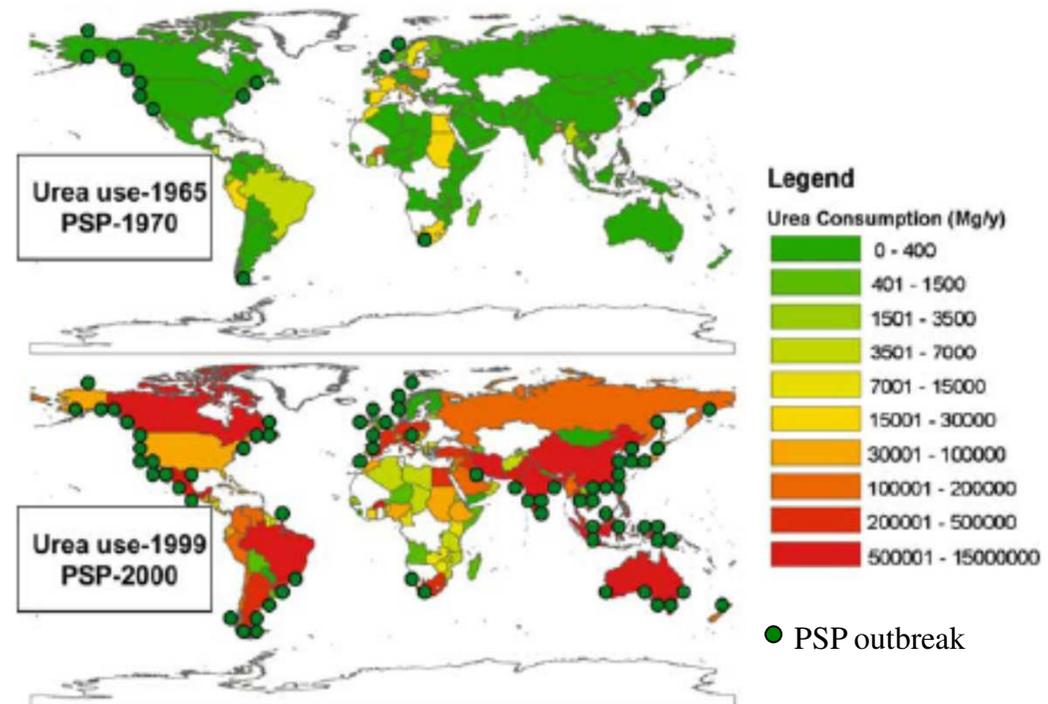
- Intensité et durée d'éclairement importantes .
- Température de l'eau de mer au moins supérieure à 13-14°C.
- Grande transparence de l'eau.
- Turbulence suffisamment forte pour maintenir les algues en suspension.
- Estran étendu et plat.
- Confinement des masses d'eau et des sels nutritifs propices au développement des algues.



2.3 – Pollution et purification de l'eau

Anthropisation des zones côtières : relation entre le déchargement d'urée dans les eaux côtières et le phytoplancton toxique.

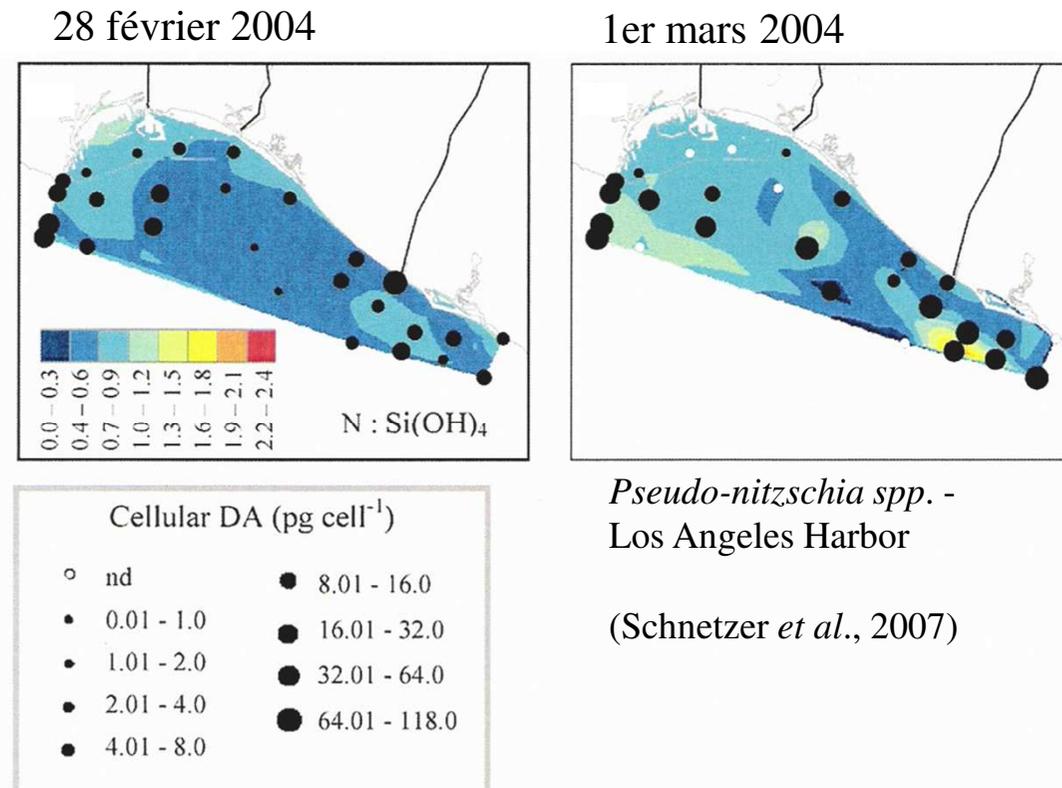
- Hausse de la consommation d'urée dans les fertilisants azotés.
- Hausse des épisodes PSP liés aux dinoflagellés toxiques.
- PSP : Paralytic Shellfish Poisoning



(Glibert *et al.*, 2006)

2.3 – Pollution et purification de l'eau

Toxicité de la diatomée *Pseudo-nitzschia* : exemple du ratio Azote/Silicium dans la baie de Los Angeles.



✓ Corrélation positive entre ratio Azote/Silicium et production de toxines.