

Eau, enjeux de pouvoir et bioterrorisme

15^e colloque sur le contrôle épidémiologique des maladies infectieuses

Eau et maladies infectieuses : un enjeu pour le XXI^e siècle

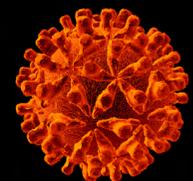
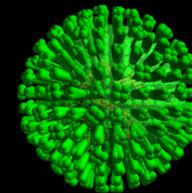


Vétérinaire en chef BONI Mickaël

Service de santé des armées

DRSSA Saint-Germain-en-Laye

vbaboni@gmail.com



Eau, enjeux de pouvoir

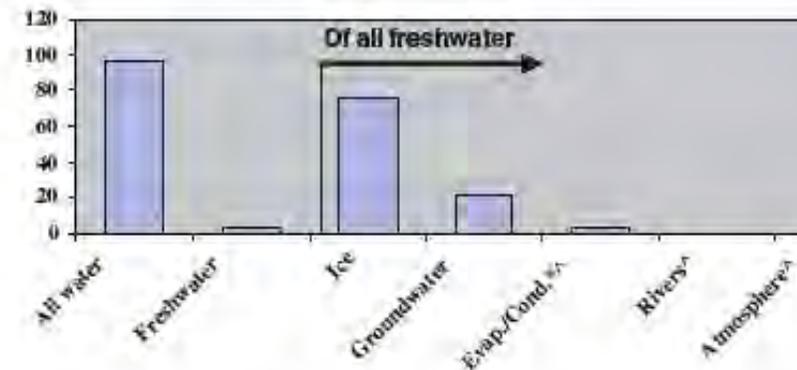


Total (km³) : 1,3. 10⁹ eau profonde : 8. 10⁶ rivières : 40 000

- Situations amont ou aval des ressources
- Richesse ou pauvreté du pays
- Choix politiques de gestion
 - de l'abondance à la pénurie
 - de l'indépendance à la subordination
 - « Guerres de l'eau »

Pénurie : 1200 m³/an/hab

Situation critique : 500 m³/an/hab



J. Bédémont. L'eau, le pouvoir, la violence dans le monde méditerranéen, *Hérodote*, 2001

C. Zeman. World water resources, trends, challenges and solutions. *Rev Env Sci Biotech*, 2006

Eau, enjeux de pouvoir

TABLEAU 1. – RESSOURCES EN EAU PAR HABITANT (d'après J. Margat, *Plan Bleu*)

Pays	Ressources <i>per capita</i> (m ³ /an) en 1990	Ressources <i>per capita</i> (m ³ /an) en 2025
Espagne	1 909	1 515
France	5 827	5 400
Italie	3 262	3 200
Malte	200	152
Ex-Yougoslavie	28 700	24 200
Albanie	15 385	3 500
Grèce	5 836	5 430
Turquie	5 000	2 210
Chypre	1 286	1 000
Syrie	2 963	625
Liban	1 380	860
Israël	371	230
Égypte	1 078	640
Libye	230	65
Tunisie	490	240
Algérie	545	265
Maroc	1 460	545

Solutions

Pompage des
nappes
(de + en + cher)

Réservoirs
(sécheresse :
nb ↗, vol ↘)

Dessalement
(coût)

Adaptation...

Eau, enjeux de pouvoir

Exemples de conflits potentiels

- Une vingtaine depuis 3000 av. JC

■ Nil, Euphrate et Jourdain

– Ethiopie, Soudan, Egypte (1959)

■ 87 % Égypte, 13 % Soudan ...

– Turquie, Syrie, Irak (tensions 1989)

– Israël, Palestine...

■ Dotation Israël (282 m³/hab/an)

■ Pb de la répartition...70 à 400 m³/an

Pas seulement de l'eau potable...



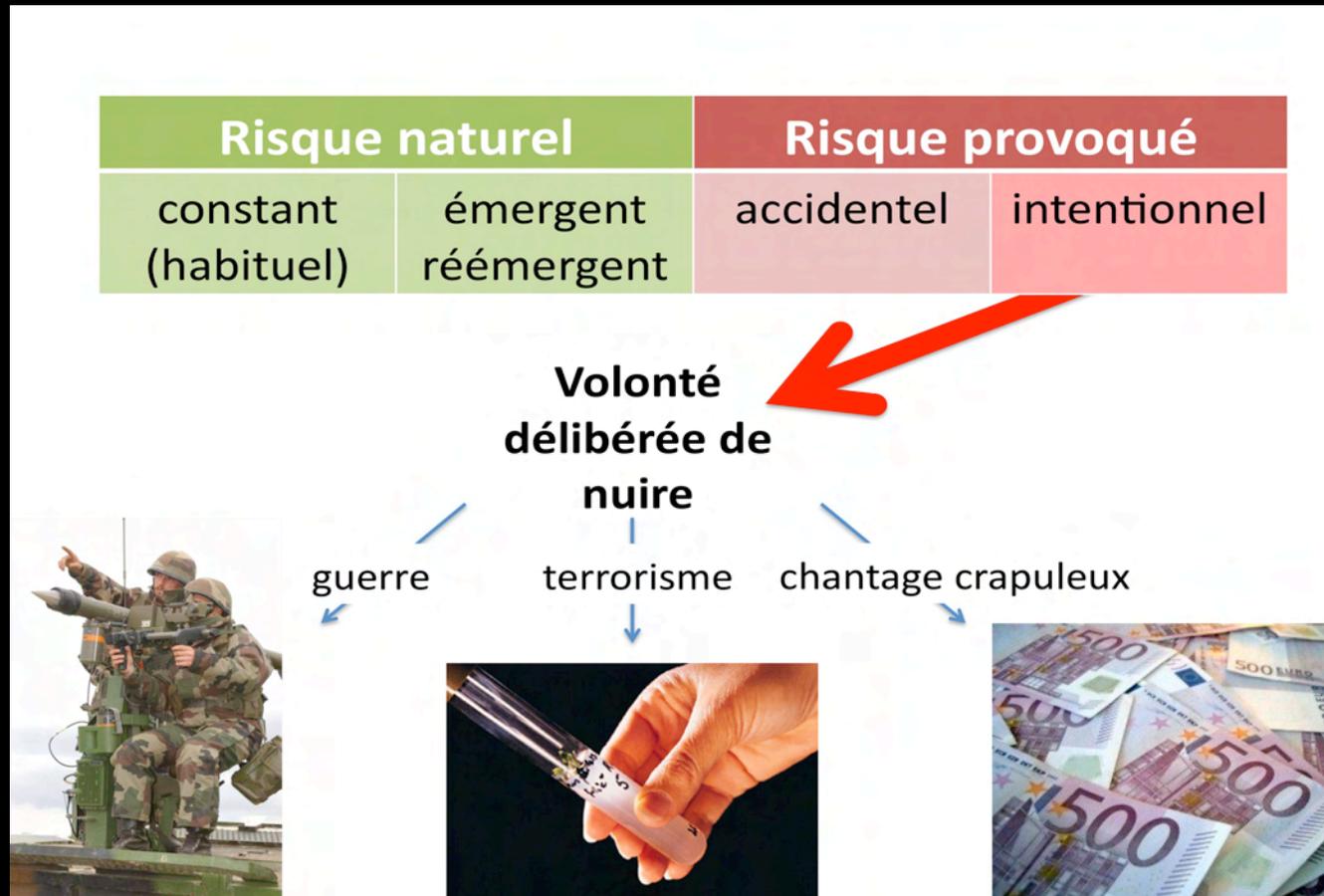
Guerres de l'eau dans le futur, une question débattue...

- Dernier conflit il y a 4500 ans...
 - Irak a détruit les usines de dessalement au Koweït
 - Serbes ont désorganisé la filière de traitement au Kosovo
 - Peu de traités multilatéraux, mais bilatéraux (> 150)
 - Nouvelles constructions aidées par la Banque mondiale...
 - Turquie a refusé de couper l'eau à l'Irak en 1991
 - 1831 cas : 67 % coopération, 28 % conflictuels, 5 % neutres...
 - 1 m³ boisson, 100 m³ pour l'hygiène, 1000 m³ production alimentaire... La solution est d'importer les denrées...
- **Eau plutôt comme arme que comme cause de conflit**

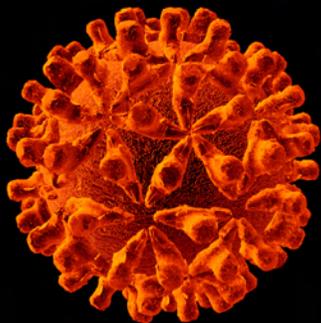
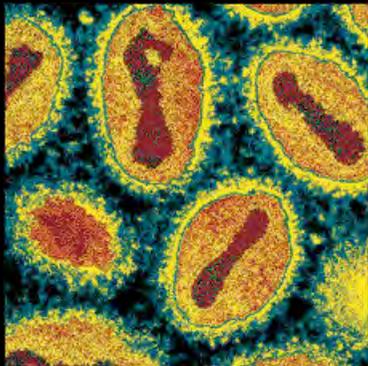


Eau comme arme ...

- Risque biologique
 - Bioterrorisme, agrobioterrorisme, biocrime
- ## Agents B et toxines



Agents du risque biologique



Agent	Arme	Agent	Arme
<i>Bacillus anthracis</i>	+	Aflatoxine	+
<i>Brucella</i>	+	Ricine	+
<i>Vibrio cholerae</i>	+	Toxine botulique	+
<i>C. perfringens</i>	possible	Microcystine	possible
<i>B. mallei</i>	possible	Tétrodotoxine	possible
<i>P. pseudomallei</i>	possible	Saxitoxine	possible
<i>Yersinia pestis</i>	probable	SEB	probable
<i>C. psittaci</i>	probable	Mycotoxine T2	probable
<i>C. burnetii</i>	?	Anatoxine A	?
<i>Salmonella, Shigella, E. coli</i>	(oui)		
<i>F. tularensis</i>	(oui)		
Virus de la variole	possible		
Virus entériques	?		
<i>Cryptosporidium</i>	?		

Agents biologiques-Irak



agents	production	militarisation
Tox. botuliques	19 000 l	10 750 l
Anthrax	6000 l	5750 l
Aflatoxines	1500 l	1200 l
<i>C. perfringens</i>	300 l	
Ricine	10 l	
<i>V. conj. hémorrag</i>	recherche	
Rotavirus	recherche	
Camelpox	recherche	
Trichothécènes	qqes mg	

HISTORIQUE

Risque biologique lié à l'eau

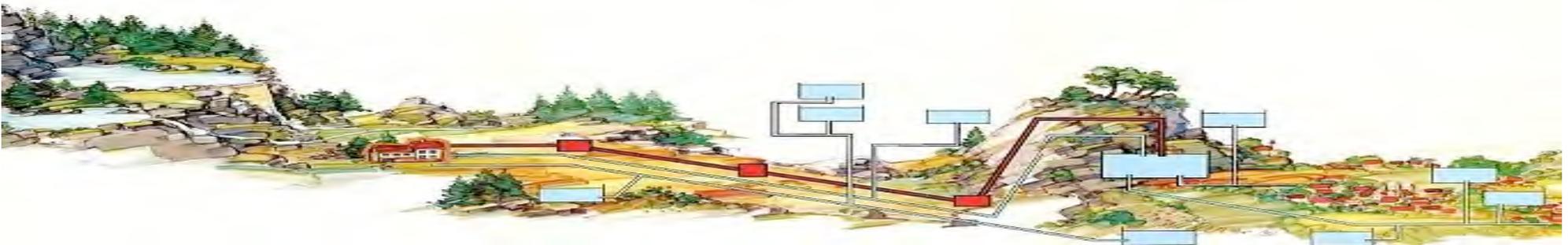


Date	Groupe	Cible	Agent
1861	Confédérés US	Forces de l'union	Bétail tué dans les étangs
1932	Japon	Villes chinoises	? (Ba, Yp, Vch)
1973	Savant fou	Réseaux d'eau	Ba, toxine botulique
1984	Baghwan Rajneesh	Enquêteurs	<i>S. Typhimurium</i>

Morse S.A. Historical perspectives of microbial bioterrorism, *Microorganisms and bioterrorism*, Springer
 Khan A.S et al, Precautions against biological and chemical terrorism directed at food and water supply,
Public health reports, 116, 2001.

Contamination des réseaux d'eau potable

- Différents points d'entrée (R, T, stockage, D)
- Ressource peu probable (effet de dilution, en amont des traitements)
- Action plus probable au niveau du stockage ou du réseau de distribution
- Faible ingestion de l'eau (150 l/h/j, 1 à 2 litres ingérés)
- Conséquences faibles sur la santé mais une grande perturbation des systèmes.



Contamination réseau Toxine botulique

Dose létale 50 (VO) : 1 μg

Cible : 50 000 habitants

Quantité d'eau utilisée : 150-400 l

Quantité d'eau bue : 0,5 L (2 $\mu\text{g/l}$)

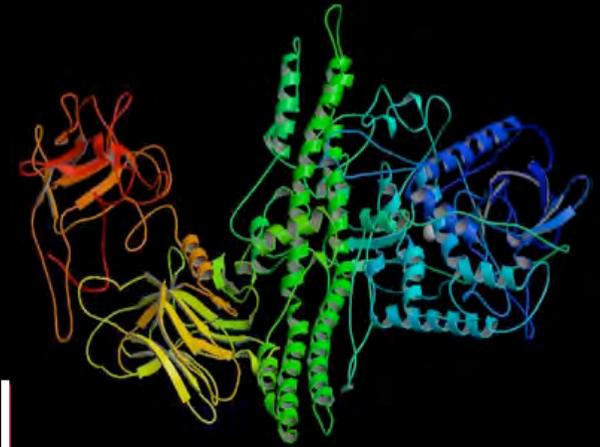
Décroissance dans réseau : 3 %/heure (34 % en 7 h)

Quantité d'eau utilisée par population : 7-20.10⁶ l

Inégalité de répartition (OMS) : facteur 6

Quantité : 53 g (réalisable)

Toxine inactivée par le chlore : 2 mg/L (30 min, 0,3 mg/l)



Contamination réseau Ricine



Dose létale (VO) : 1 mg

Cible : 50 000 habitants

Quantité d'eau utilisée : 150-400 l

Quantité d'eau bue : 0,5 L (2 mg/l)

Quantité d'eau utilisée par population : $7-20 \cdot 10^6$ l

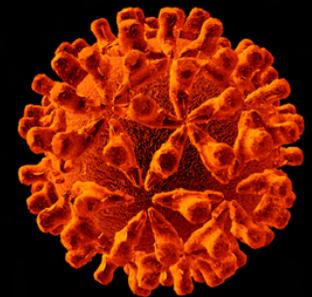
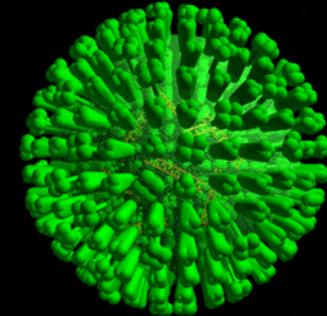
Inégalité de répartition (OMS) : facteur 6

Quantité : $(7-20 \cdot 10^6) \times 2 (1) \times 6 = 0,3-2,4 \cdot 10^8$ mg

Quantité de graines (0,35 mg / 0,6 g) : $1- 6,8 \cdot 10^8 = 6-40$ tonnes

QUESTIONS

- Identification de l'agent B
- Survie de l'agent B
 - dans l'eau
- Dose infectante
- Destruction de l'agent B
 - désinfectant (chlore) : prévention
 - chaleur, lumière
- Récolte et uniformité des données (chloration...)



Détection des toxines



Tableau I. Principales méthodes de détection des toxines dans l'eau.

Toxine	Méthodes de référence	Méthodes immunologiques	Test rapide de terrain	Seuil de détection
Toxine botulique	Test de létalité sur souris	oui	oui	5 à 300 ng.mL ⁻¹
Ricine	ELISA	oui	oui	1 à 500 ng.mL ⁻¹
Entérotoxine B staphylococcique	ELISA	oui	oui	1 ng.mL ⁻¹
Saxitoxine	Test biologique	oui	non	< 2,5 mg.L ⁻¹

Bactéries et virus : culture, PCR, tests immunologiques disponibles

Quelques tests



INSTRUCTIONS

TECRA®

STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXIN VISUAL IMMUNOASSAY

FOR THE DETECTION OF STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXINS A, B, C₁, C₂, C₃, D, E AND ENTEROTOXIGENIC STAPHYLOCOCCI IN FOOD AND FOOD-RELATED SAMPLES.

For *in vitro* diagnostic use only

These instructions must be carefully followed; failure to do so may lead to inaccurate results.

New Version - December 2003
Instructions Revised:
Combines Methods Manual & Instructions Manual

TEST TERRAIN MICROCYSTINES EAU DE SURFACE (seuil 1µg/l)

- 1. Recueil de l'échantillon**
Prélever 1 à 2 ml d'eau
- 2. Transfert-1ère Etape de Lyse***
À l'aide de la pipette graduée fournie, transférer 1 ml de l'échantillon dans le tube de lyse (contient des réactifs déshydratés).
* Brevet en cours
- 3. Seconde étape de lyse**
À l'aide de la pince fournie, ajouter un réactif papier au tube de lyse.
- 4. Transfert**
Transférer 2 gouttes d'échantillon lysé au tube conique avec la pipette de transfert fournie.
- 5. Agiter et incuber**
Boucher le tube conique et agiter durant 30 s.
Incuber 20 minutes à température ambiante (10-30°C).
La coloration passe au mauve.
- 6. Test**
Introduire la bandelette-test dans le tube conique, flèche vers le bas.
Incuber 10 minutes à température ambiante (10-30°C).
- 7. Retirer la bandelette, poser à plat et laisser la coloration se développer encore 5 minutes.**
- 8. Lecture du Test**
µg/l
5.0
2.5
1.0
0.5
0

Interprétation		Interprétation
Bande Contrôle	Bande Test	
ABSENCE	ABSENCE	INVALIDE
PRÉSENCE	PRÉSENCE	ABSENCE/ABSENCE

Fabriqué par : ABRAXIS, LLC, 54 Steamwhistle Drive, Warminster, PA 18974
Distribué par : NOVAKITS, 7 avenue des Pyrénées - A, 116, 02 40 37 57 95, info@novakits.com, www.novakits.com

Références : 1520019 (5 tests) et 1520020 (20 tests)

Saxitoxin (PSP) ELISA, Microtiter Plate

Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Determination of Saxitoxin (PSP) in Water and Contaminated Samples

Product No. 52255B



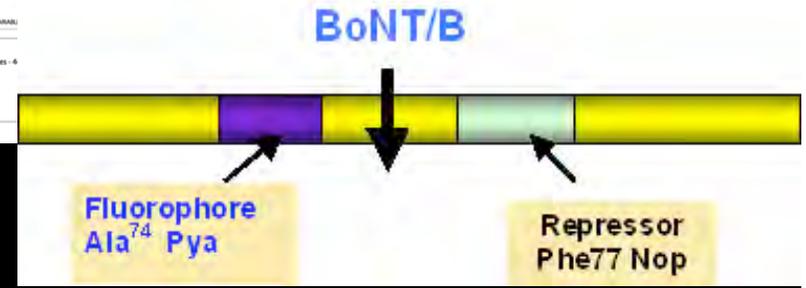
Performance Data

Test sensitivity: The detection limit for Saxitoxin is 0.015 ng/mL (mean of 6 blank determinations minus 3 SD). The middle of the test (50% B/B₀) is at approximately 0.09 ng/mL. Determinations close to the middle of the tests gives the most accurate results.

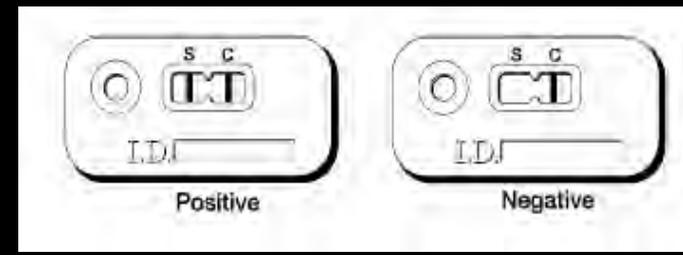
Test reproducibility: Coefficients of variation (CVs) for standards: <10%, CVs for samples: <15%

Selectivity: This ELISA recognizes Saxitoxin and other PSP toxins with varying degrees:

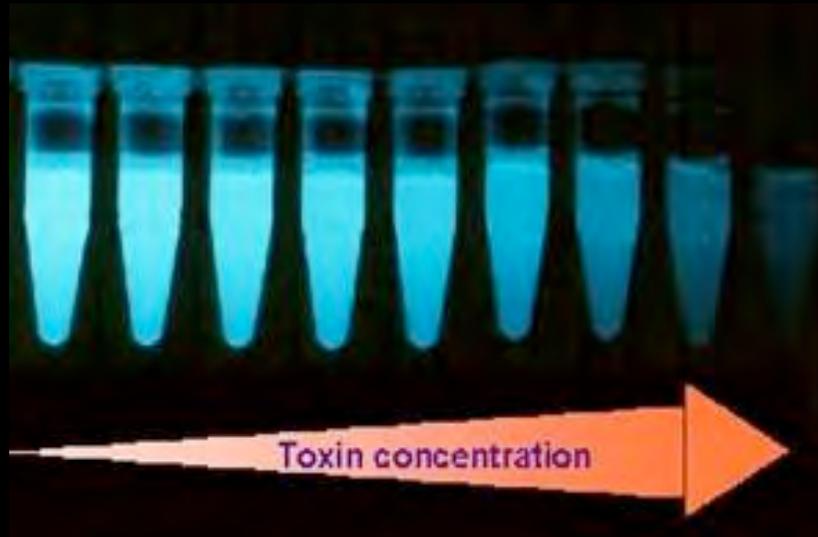
Cross-reactivities:	Saxitoxin (STX)	100% (per definition)
	Decarbamoyl STX	29%
	GTX 2 & 3	23%
	GTX-5B	23%
	Suffo GTX 1 & 2	2.0%
	Decarbamoyl GTX 2 & 3	1.4%
	Neosaxitoxin	1.3%
	Decarbamoyl Neo STX	0.8%
	GTX 1 & 4	<0.2%



Tetracore
Advnt
3M
Abraxis
Pharmaleads (Ezybot)



Quelques tests



Efficacité à démontrer

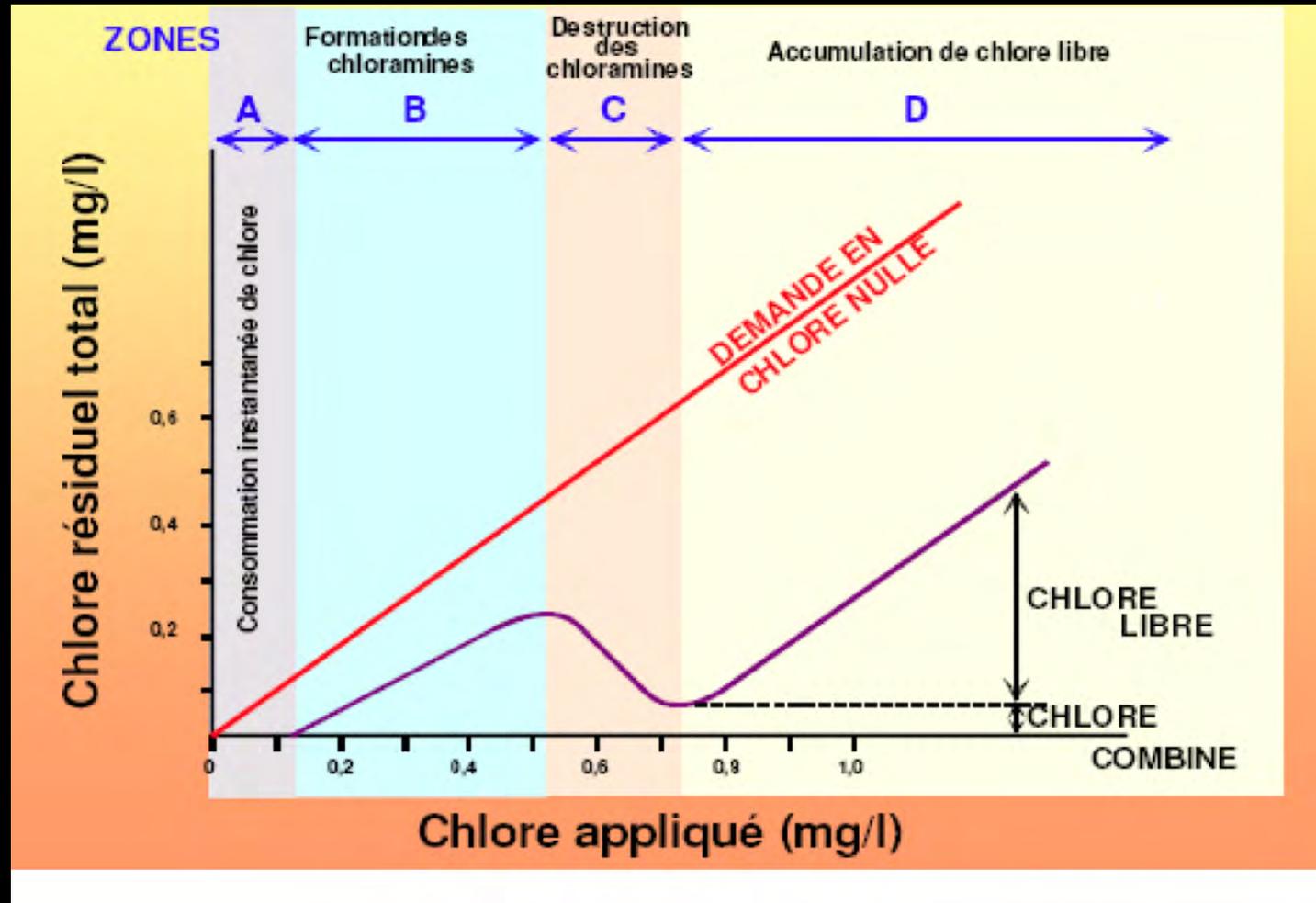
COT

- Ensemble de la matière organique
 - Carbone organique dissous qui se mesure en l'absence de particules (COP) ($0,45 \mu\text{m}$)
 - Veille : les toxiques contiennent du carbone, métaux complexés par les macromolécules
 - Dosage du COT : oxydation thermique ou chimique, détection IR CO_2 produit



Toxine botulique, ricine en grande quantité

Demande en chlore



Toxine botulique, ricine, saxitoxine
en faible quantité

Actions des pouvoirs publics : Plan Biotox CD : variole, charbon, toxines

- des signaux, indicateurs d'un fonctionnement anormal, sont détectés : menace possible ;
- actions de protection du consommateur sont mises en place, la menace est évaluée finement ; le site est caractérisé : une enquête judiciaire débute à ce moment. De « possible », la menace devient « crédible » ou non.
- les échantillons sont analysés au laboratoire afin de confirmer la contamination. Il faut garder à l'esprit que tous les contaminants possibles ne peuvent être recherchés ;
- des actions correctives sont conduites sur les installations ;
- un fonctionnement normal est retrouvé.

Agents B	Arme	Dose infectante	Survie dans l'eau	Activité du chlore
<i>Bacillus anthracis</i>	+	6000 spores	2 ans	Sp (-)
<i>Brucella</i>	+	10 000	20-72 jours	1 % (10 g/l)
<i>Vibrio cholerae</i>	+	1000	bonne survie	+
<i>C. perfringens</i>	possible	1	très commun	Résistant 1 log (1,2 mg/l, 15 min)
<i>P. mallei</i>	possible	1	jusqu'à 30 jours	1 % (10 g/l) ?
<i>P. pseudomallei</i>	possible	0,4	plusieurs années	1 % (10 g/l) ?
<i>Yersinia pestis</i>	probable	500	16 jours	1 % (10 g/l) ?
<i>C. psittaci</i>	probable	65	18-24 heures	1 % (10 g/l) ?
<i>C. burnetii</i>	?	?	plusieurs mois à 20-22°C	1 % (10 g/l) ?
<i>Salmonella, Shigella, E. coli</i>	(oui)	10 000 1 (<i>E. coli</i> 0157)	8 jours	+
<i>F. tularensis</i>	(oui)	25-10 millions	2-3 jours	+ (1 ppm)
Virus de la variole	possible	10	24 h	1 % (10 g/l) ?
Virus entériques	?	6	8-32 jours	+/- Rotavirus
<i>Cryptosporidium</i>	?	132	stable	résistant

Burrows W, Renner S. Biological warfare agents as threats to potable water. *Environmental health perspectives*, 1999;107(12):14-21.

Toxine	Arme	Dose ($\mu\text{g/l}$) (2 l par jour)	Traitements	Activité du chlore
Aflatoxine	+	75 (30)	Peu soluble stable à la chaleur	- ?
Ricine	+	500	10 min à 80°C 1 h à 50°C Osmose inverse (+) 99,8 % Charbon actif	- 10 ppm 99,4 % 100 mg/l 20 min
Toxine botulique	+	0,070	Lumière 1-3 h, Air 12 h à 48 h 30 min, 80 °C, ébullition, stérilisation Osmose inverse, Charbon (+)	+ 3 ppm, 20 min
Microcystine	possible	< 1	Soluble, CA, NF (1000 Da) Osmose inverse (+) 90 %	-100 ppm (30 min)
Tétrodotoxine	possible	1	Stable T° ambiante	+ 50 ppm
Saxitoxine	possible	0,4	Stable Osmose inverse	- 10 ppm + 100 ppm
SEB	probable	3,5	100°C , quelques minutes pas stable à T° ambiante, charbon actif	+ 0,05 %
Mycotoxine T2	probable	65	Osmose inverse (+) Charbon actif	< 3 % (100 ppm)
Anatoxine A	?	?	Osmose inverse	-/?

Burrows W, Renner S. Biological warfare agents as threats to potable water. *Environmental health perspectives*, 1999; 107(12):14-21.

Cavallo JD et al. *Les risques NRBC-E, savoir pour agir*, 2^e édition, 2010

Hygiène de l'eau : efficacité du traitement

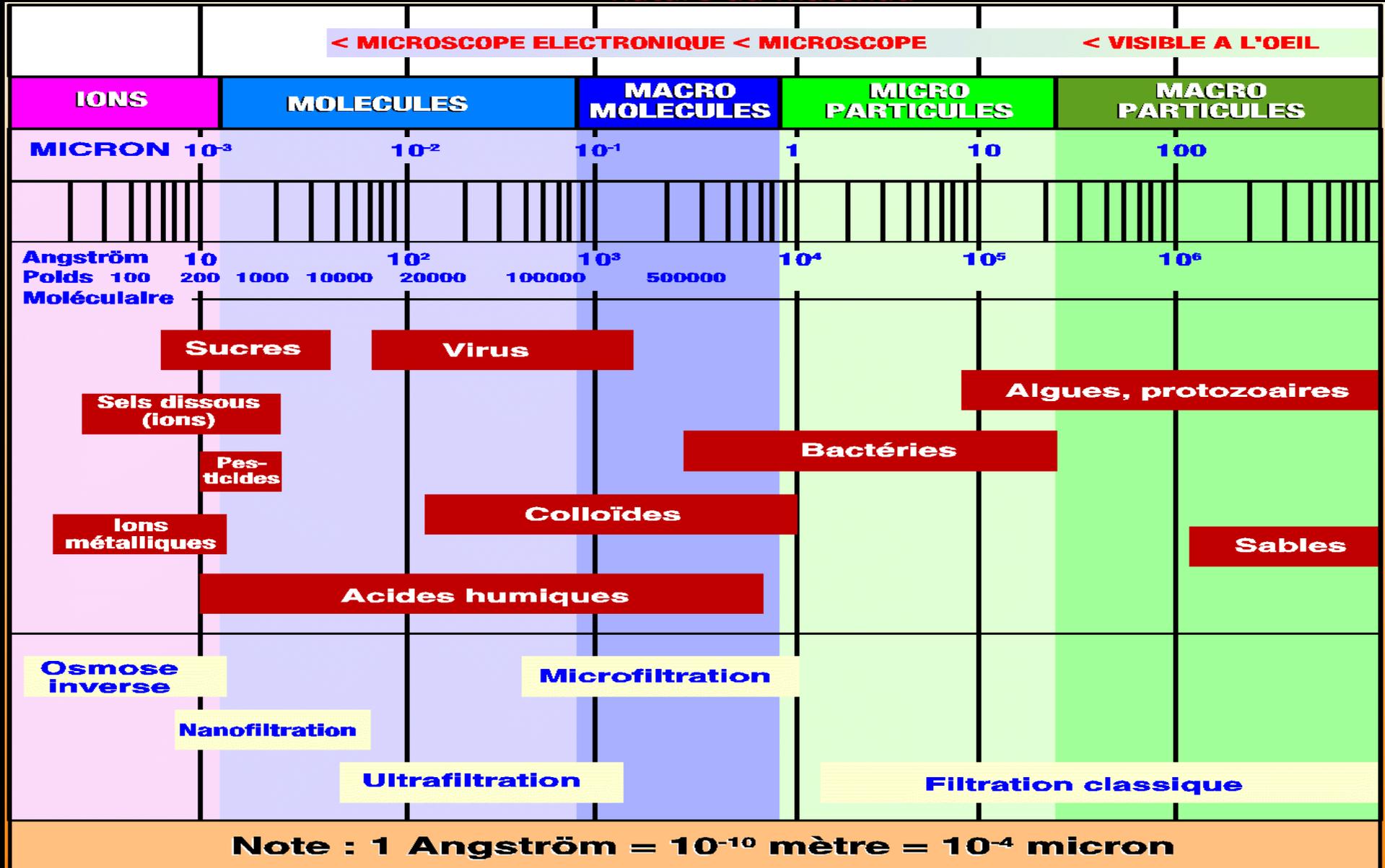
- **Chloration**
- **Coagulation-floculation**
- **Charbon actif**
- **Osmose inverse**
- **UV, résines**

Notion de seuil de coupure



Le seuil de coupure

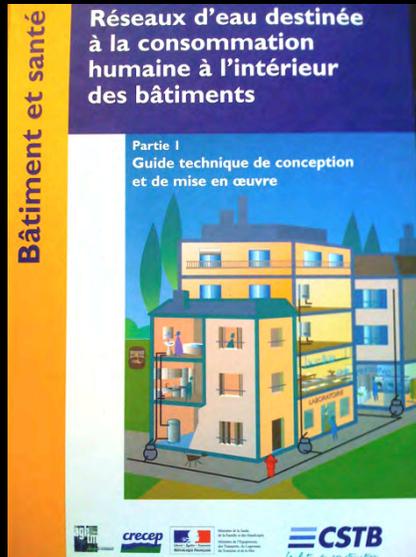
Le pouvoir de séparation d'une membrane dépend de sa structure poreuse et de la nature du matériau



Efficacité des traitements sur les agents B et les toxines

	Choc thermique	Clarification UF	Chloration	Osmose inverse	Charbon actif	Ozone
variole	+	+	+ (1 %)	++	+/-	++
<i>B. anthracis</i> spores	-	+	+ (1 %)	++	+/-	++
<i>C. botulinum</i> spores	-	+	+ (1 %)	++	+/-	++
<i>Francisella tularensis</i>	++	+	+ (1 %)	++	+/-	++
<i>Yersinia pestis</i>	+	+	+ (1 %)	++	+/-	++
Toxine botulique	+	+/-	+	++	-	+/-
Ricine	+	+/-	-	++	-	+/-
	(80 °C, 10 min)					
Saxitoxine	-	+/-	-	++	+	+/-

Désinfection du réseau



Désinfectant	Dose	Durée
Chlore	100 mg/L 15 mg/L	1 h 24 h
DCCNa	idem	idem
H ₂ O ₂ + Ag	100 à 1000 mg/L	12 h
Acide peracétique + H ₂ O ₂	1000 ppm H ₂ O ₂	2 h
Soude	pH > 12	1 h minimum

Désinfectant	Niveau cible
Chlore libre	Au moins 0,2 fois la concentration d'entrée en tout point du réseau et/ou 0,1 mg/L en tout point du réseau (Vigipirate) 0,3 mg/L à la sortie des châteaux d'eau

Autres traitements

Résines cationiques : variole, saxitoxine (>83%)

UV : inefficace sur les toxines



TOXINES

Table 1. Complete inactivation of different toxins with a 30 minute exposure to various concentrations of sodium hypochlorite (NaOCl) with and without sodium hydroxide (NaOH).

Toxin	2.5% NaOCl + 0.25 N NaOH	2.5% NaOCl	1% NaOCl	0.1% NaOCl
T-2 mycotoxin	yes	no	no	no
brevetotoxin	yes	yes	no	no
microcystin	yes	yes	yes	no
tetrodotoxin	yes	yes	yes	no
saxitoxin	yes	yes	yes	yes
palytoxin	yes	yes	yes	yes
ricin	yes	yes	yes	yes
botulinum	yes	yes	yes	yes
staphylococcal enterotoxin	yes (?)	yes (?)	yes (?)	yes (?)

Table 2. Complete inactivation of different toxins by autoclaving or 10 min exposure to various temperatures of dry heat.

Toxin	Autoclaving	93 °C	260 °C	537 °C	1093 °C
T-2 mycotoxin	no	no	no	no	yes
brevetotoxin	no	no	no	no	yes
microcystin	no	no	yes	yes	yes
tetrodotoxin	no	no	yes	yes	yes
saxitoxin	no	no	yes	yes	yes
palytoxin	no	no	yes	yes	yes
ricin	yes	yes	yes	yes	yes
botulinum	yes	yes	yes	yes	yes
staphylococcal enterotoxin	yes (?)	yes (?)	yes (?)	yes (?)	yes (?)

PRÉVENTION

Trois types d'attaque

Contaminant injecté en tête ou en cours de traitement



Sécurisation site et produits, suivi en ligne

Trois types d'attaque

Contaminant injecté en réseau de distribution

Filière	Efficacité
Sans résiduel de désinfectant	Risque non réduit
Avec résiduel	Risque non réduit pour les sporulés, la ricine



Sécurisation, réservoirs et clapets antiretour, suivi en ligne

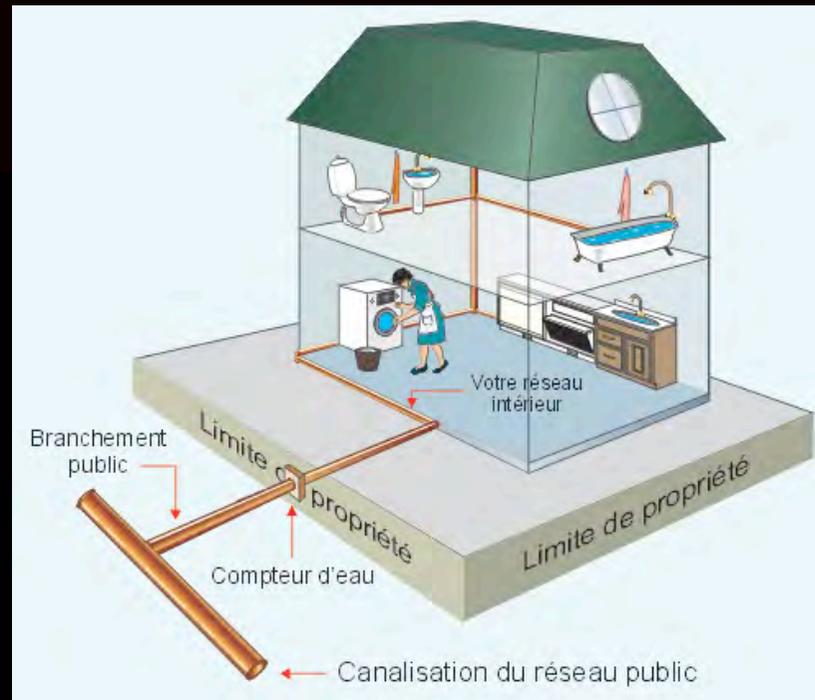
Si contamination : hyperchloration, nettoyage mécanique, chasses, faire bouillir l'eau (sauf pour saxitoxine et SEB)



Trois types d'attaque

Contaminant injecté dans un réseau intérieur

Filière	Efficacité
Osmose inverse	+++



Difficile à généraliser, sites à risque

CONCLUSION

- Eau, cause de tensions mais pas de guerre
- Eau est une arme potentielle
- Manque de données facilement accessibles
- Effet de dilution, efficacité des traitements
- Risque limité à grande échelle (biocrimes)
- Surveillance des réseaux, qualité de la détection (microcystine)
- Hyperchloration de l'eau de boisson, eaux en bouteilles
- Traitements adéquats (osmose inverse, nanofiltration, charbon actif)
- Surveillance des ressources (profondes/superficielles)



Encore des études à mener....

Mickaël BONI : vbaboni@gmail.com