

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Uranium : vers une norme de qualité environnementale pour les cours d'eau français

Écotoxicologie, Radioécologie
État et perspectives

Session 2 - Acquisition de connaissances

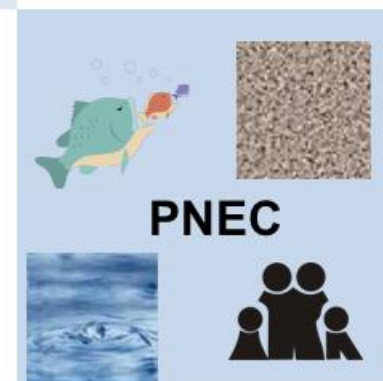
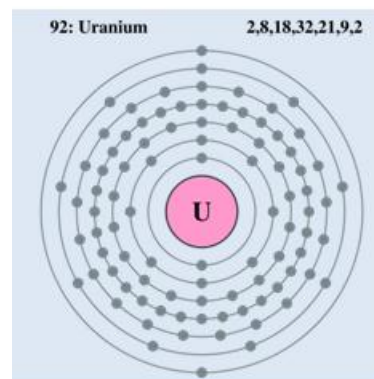
Journées SFRP

*Sections Environnement &
Recherche et Santé*

Paris, UIC, 19 juin 2012



Contexte

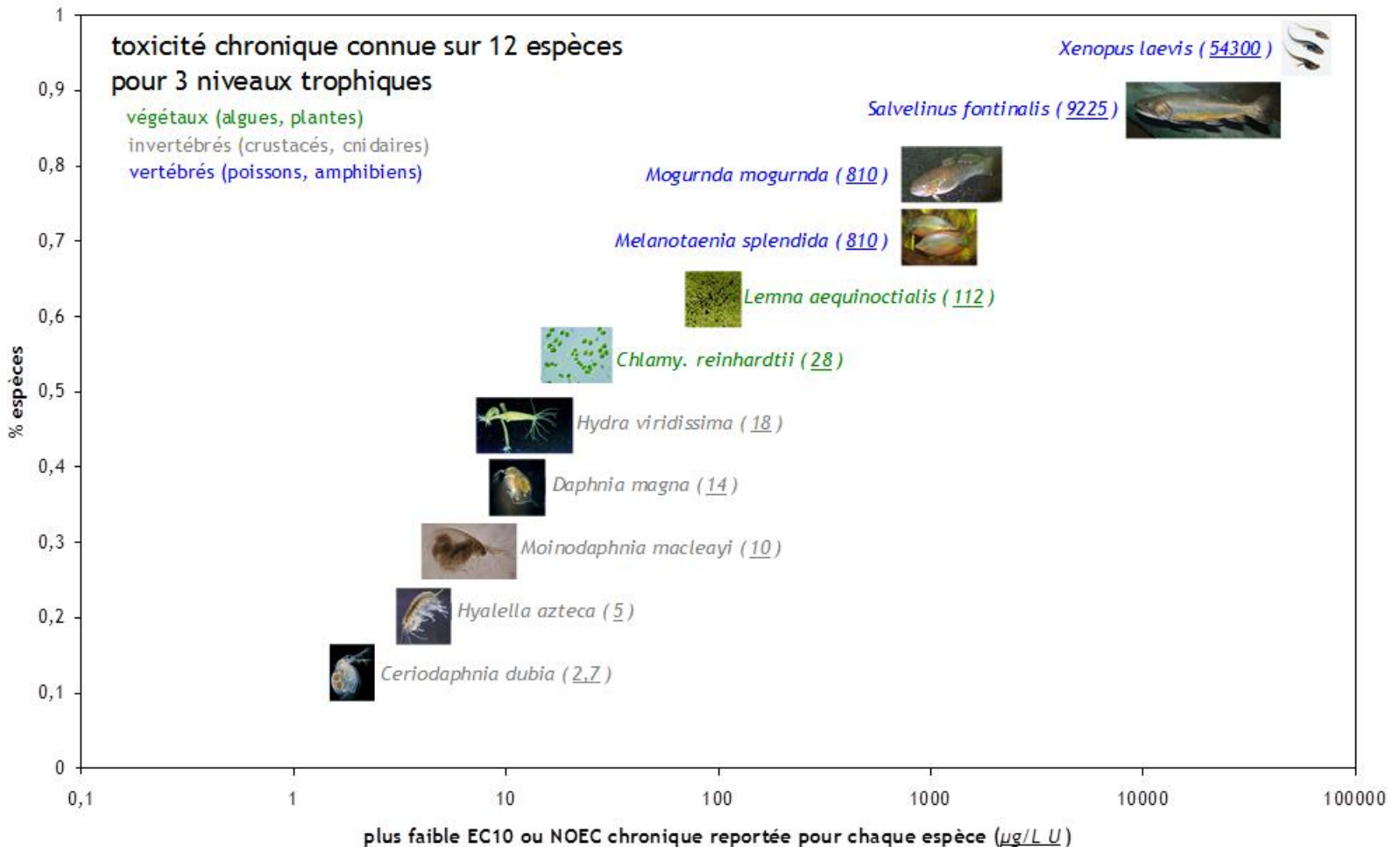


PNEC pour l'uranium : vers une NOE

- Pour un polluant, la PNEC (*Predicted No Effect Concentration*) est une des composantes utiles à la détermination d'une **Norme de Qualité Environnementale** (NOE), définie comme la « **concentration** d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'**eau**, les **sédiments** ou le **biote** qui ne doit pas être dépassée, afin de **protéger la santé humaine** et l'**environnement** » (*DCE 2000/60/EC*)
 - Une PNEC a pour objet d'assurer la **protection de la structure et du fonctionnement** du compartiment d'intérêt de l'écosystème exposé (ex. PNEC_{eau}, PNEC_{sédiment})
 - Les PNEC sont déterminées selon une approche conservative (facteur de sécurité ou extrapolation statistique) **à partir de données d'écotoxicité disponibles**, généralement obtenues en laboratoire (effets déterministes (mortalité, croissance, reproduction, morbidité) sur plusieurs taxons écologiquement représentatifs)
- **Quelles sont les données d'écotoxicité disponibles pour l'uranium ?**

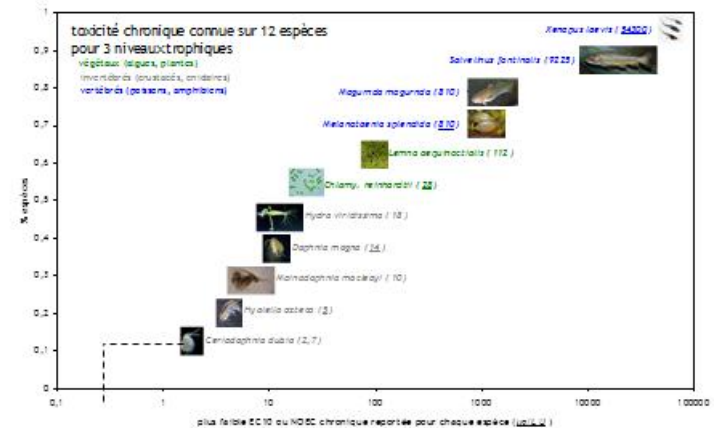
Ecotoxicité de l'uranium (ex. chronique)

Synthèse des connaissances acquises au niveau international



Ecotoxicité de l'uranium et $PNEC_{eau}$

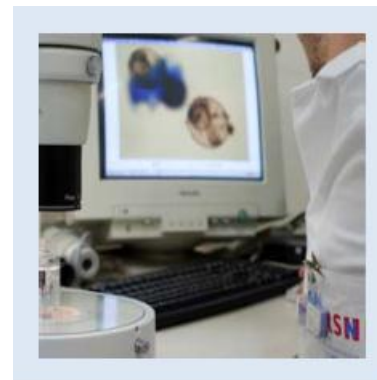
Les connaissances actuelles sur l'écotoxicité de l'uranium permettent de déterminer une valeur générique de $PNEC_{eau}$ à $0.3 \mu\text{g/L U}$ (plus faible EC_{10} chronique x facteur de sécurité de 10)



Cette valeur conservative peut s'appliquer de manière générique à tous les hydrosystèmes d'eau douce, c'est à dire quelle que soit la physico-chimie du milieu et la biodiversité

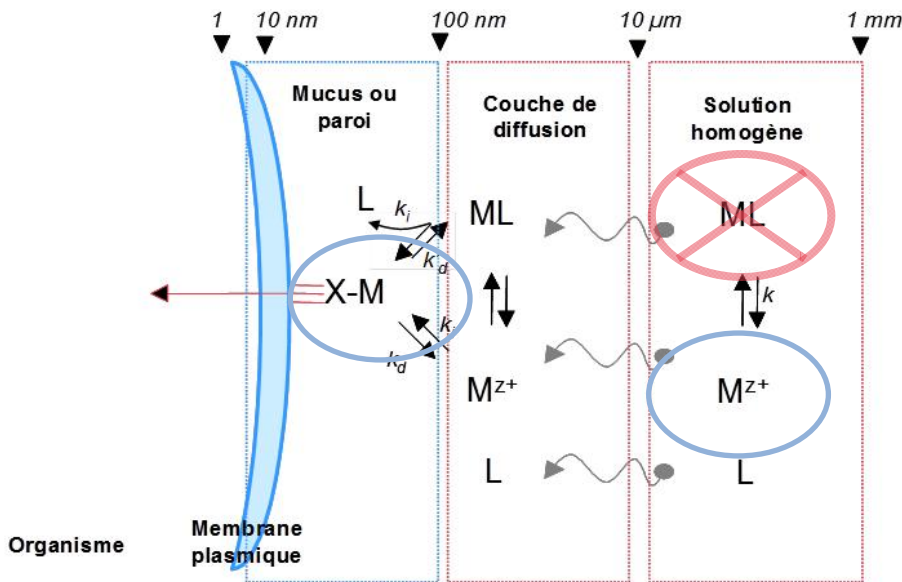
Les préconisations européennes (EC, 2010) incitent à tirer le meilleur parti possible des connaissances sur la biodisponibilité des métaux traces pour déterminer des PNEC conditionnelles aux domaines physico-chimiques des milieux

Biodisponibilité de l'uranium



Biodisponibilité: définition

- La biodisponibilité : degré avec lequel un contaminant est assimilé par un organisme : primordiale pour estimer l'exposition des organismes et la réponse biologique qui en résulte
- le modèle d'activité de l'ion libre a été proposé, puis largement développée avec son extension le BLM (Biotic Ligand Model), aujourd'hui retenu pour la détermination de critères de qualité d'eau pour divers métaux (Reiley, 2007)



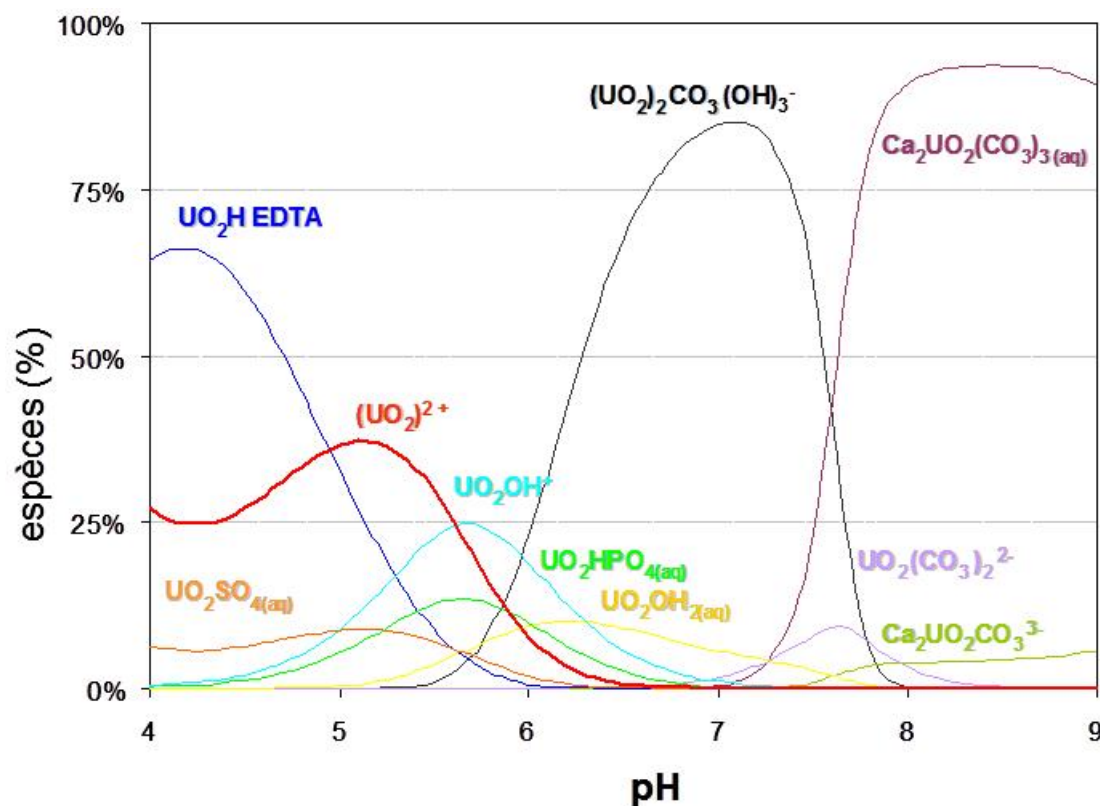
- Modèle conceptuel de l'interaction Métal-Organisme (d'après Campbell, 1995)
- Cependant, plusieurs limites et exceptions ont pu être démontrées et demandent de déterminer le domaine de validité de ces approches (ex. Slaveykova et al., 2003)

Spéciation chimique de l'uranium

Comportement chimique complexe dans les eaux : fonction du potentiel redox, du pH, des équilibres calco-carboniques et de la nature et teneur des ligands inorganiques (phosphates, sulfates, fluorures, silicates) et organiques présents

Exemple

Diagramme de spéciation de l'U en fonction du pH (Simulation J-Chess ; base de données *Denison, 2004*) eau d'exposition de *D. magna* (Zeman et al., 2008)



Prise en compte de la biodisponibilité de l'uranium : les questions qui sont posées

■ Quelles sont les 'espèces chimiques biodisponibles' de l'uranium ?

→ *Synthèse des connaissances acquises sur la biodisponibilité*

■ Quels sont les paramètres physico-chimiques à considérer pour établir une typologie de la biodisponibilité de l'uranium dans les cours d'eau français ?

→ *Simulation de la spéciation de l'uranium en conditions naturelles sur la base des connaissances sur la physico-chimie des cours d'eau*

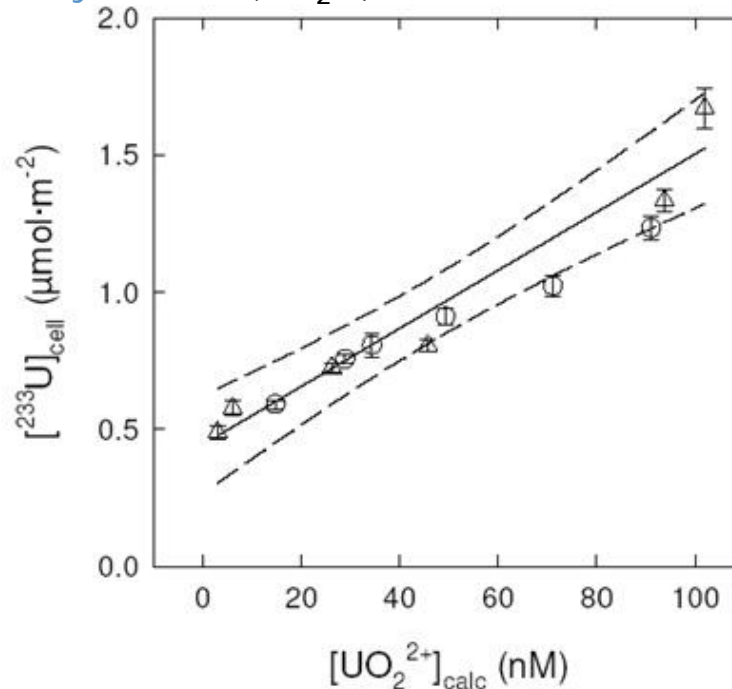
Espèces chimiques biodisponibles de l'U

- Des études indiquent que la biodisponibilité de l'uranium est proportionnelle à la concentration en ion uranyle libre (UO_2^{2+})

- Exemple

Taux
d'assimilation
de l'U dans l'eau
par l'algue
C. reinhardtii
à pH=5

(Fortin et al., 2004)



- D'autres études menées avec d'autres organismes (algues, crustacés, poissons) et avec des eaux naturelles (présence de MOD) confirment que la concentration en ion uranyle libre (UO_2^{2+}) est un bon indicateur de la biodisponibilité (ex. Trenfield et al., 2011)

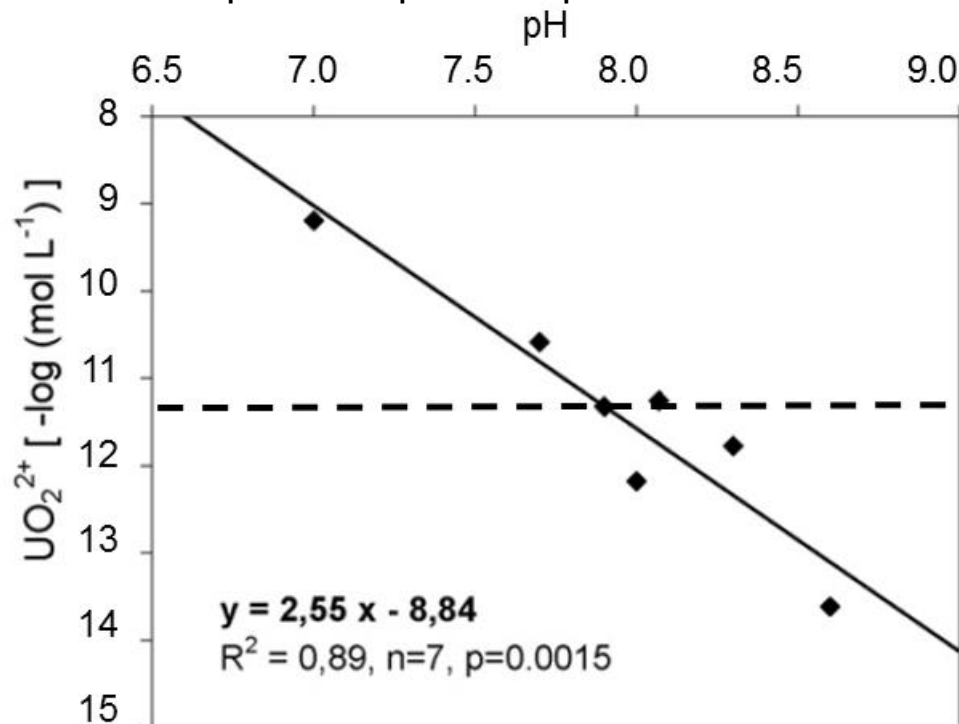
Espèces chimiques biodisponibles de l'U

- Un certain nombre d'exceptions ont été reportées quand le pH varie

- Exemple

Concentration en UO_2^{2+} calculée pour une même toxicité (CE_{50} -48h *D. magna* immobilisation) en fonction du pH

(Zeman et al., 2008)

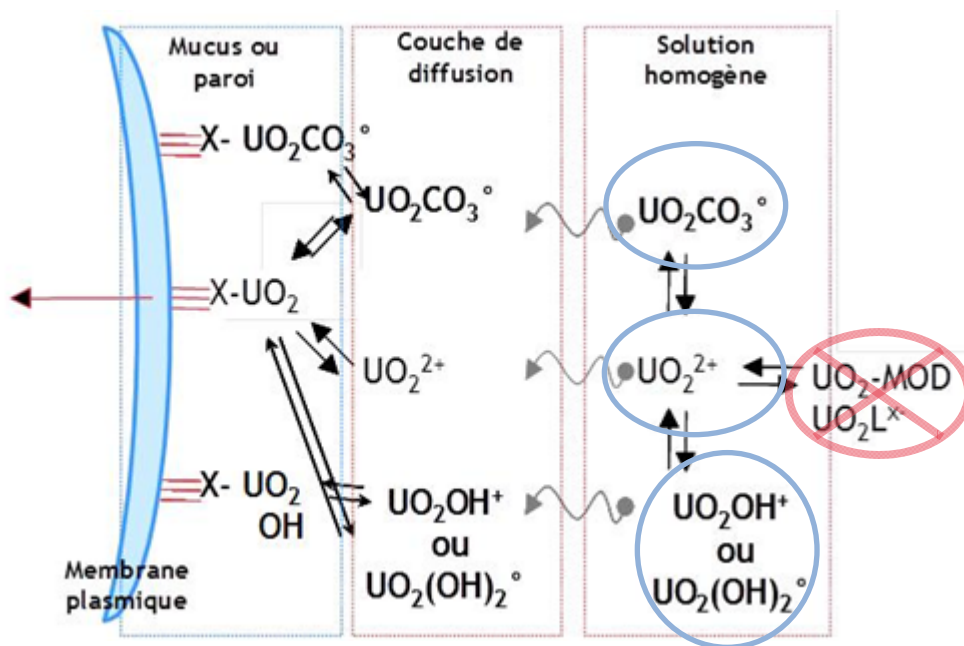


- Différentes hypothèses peuvent être formulées quant aux 'espèces chimiques biodisponibles' présentes en plus de l'ion libre (complexes hydroxylés, carbonatés)

Espèces chimiques biodisponibles de l'U

Modèle conceptuel de biodisponibilité de l'U

- les molécules de fort encombrement stérique (du fait de leur taille) et les molécules anioniques (électronégativité des membranes biologiques) sont écartées
- 'espèces biodisponibles' : UO_2^{2+} et $\text{UO}_2(\text{OH})^+$, $\text{UO}_2(\text{OH})_2$, UO_2CO_3



→ En l'absence de certitude quant au poids des espèces chimiques sur les effets écotoxiques, l'approche conservatrice ('pire cas') consiste à estimer que chacune des 4 espèces a une biodisponibilité équivalente à l'uranyle

Prise en compte de la biodisponibilité de l'uranium : les questions qui sont posées

- Quelles sont les 'espèces chimiques biodisponibles' de l'uranium ?

→ *Synthèse des connaissances acquises sur la biodisponibilité*

- Quels sont les paramètres physico-chimiques à considérer pour établir une typologie de la biodisponibilité de l'uranium dans les cours d'eau français ?

→ *Simulation de la spéciation de l'uranium en conditions naturelles sur la base des connaissances sur la physico-chimie des cours d'eau*

Composition physico-chimiques des cours d'eau de France

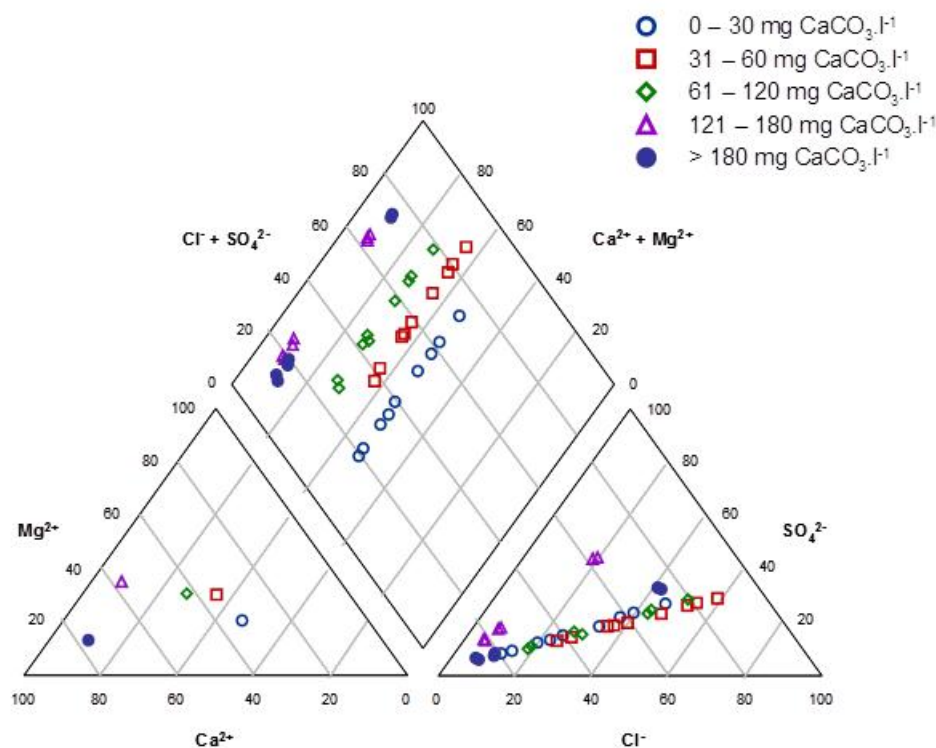
Données d'entrée :

- cations majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
- anions majeurs : PO_4^{2-} , HCO_3^- total, SO_4^{2-} , NO_3^{2-} et Cl^-
par manque d'informations, la matière organique dissoute n'a pas été considérée

Diagramme représentant la composition des eaux considérées pour l'étude de spéciation de l'U

→ données « grands cours d'eau » (Beaugelin-Seiller et al., 2002)

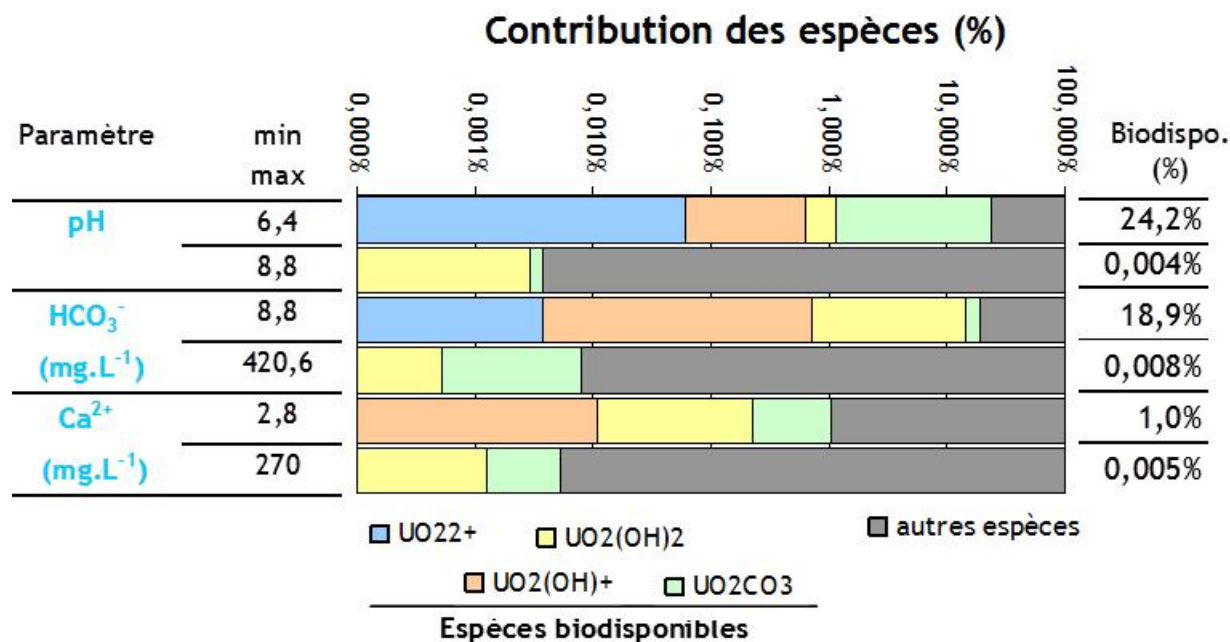
→ atlas géochimique européen (Salminen, 2005)



Identification des paramètres gouvernant la spéciation ('espèces biodisponibles') de l'U

- Sensibilité de la spéciation de l'uranium dissous aux variations des paramètres physico-chimiques :
 - trois paramètres prédominant dans la variation de la fraction biodisponible : **pH**, **alcalinité** (HCO_3^- total) et **dureté** ($\text{Ca} + \text{Mg}$)

ex. rivières de premier ordre
 dureté constante (113 mg/L CaCO_3)
 min/max pour chaque paramètre
 autres paramètres pris à leur valeur moyenne



Variation de la fraction biodisponible de l'U en fonction des paramètres retenus

- Calcul du % d'espèces biodisponibles pour le domaine de variation des 3 paramètres influents (pH, dureté, alcalinité)

% biodisponible



- la fraction biodisponible varie entre <0.01% et >90 % selon le domaine considéré

Exemple

domaine représentatif des sept

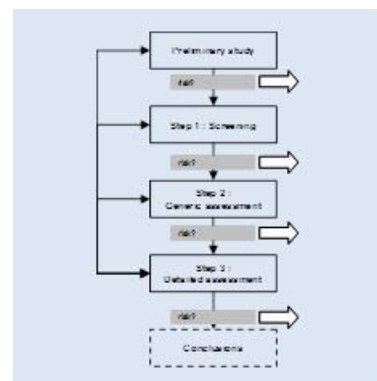
principaux fleuves et rivières de France (*)

(*) Garonne, Loire, Meuse, Moselle, Rhin, Rhône et Seine

- fraction biodisponible de 0,02 à 2%, soit une PNEC_{eau} conditionnelle de 15 à 1700 µg/L

Dureté (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	[HCO ₃ total] (mg.L ⁻¹)	pH			
		< 6,4	6,4 - 7,1	7,1 - 8,8	> 8,8
0-30	< 8,8	100%	100%	100%	100%
	8,8 - 22	100%	100%	60%	8%
	22 - 51	100%	75%	27%	3%
	> 51	100%	50%	12%	<1%
31-60	< 8,8	100%	100%	100%	100%
	8,8 - 22	100%	100%	60%	7%
	22 - 51	100%	75%	23%	1%
	> 51	100%	50%	11%	<1%
61-120	< 22	100%	100%	100%	100%
	22 - 58	100%	75%	9%	<1%
	58 - 110	100%	43%	2%	<1%
	> 110	100%	27%	<1%	<1%
121-180	< 23	100%	100%	100%	100%
	23 - 122	100%	7%	2%	<1%
	122 - 160	100%	<1%	<1%	<0,1%
	> 160	100%	<1%	<0,1%	<0,1%
> 180	< 23	100%	100%	100%	100%
	23 - 280	100%	3%	<1%	<1%
	280 - 420	100%	<1%	<0,1%	<0,1%
	> 420	100%	<1%	<0,1%	<0,1%

Conclusion



Conclusion

- Les connaissances sur la biodisponibilité de l'uranium ont permis d'établir des domaines de biodisponibilité de l'uranium, conditionnels à 3 caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface en France (pH, alcalinité, dureté)
- Ces résultats permettent de définir des facteurs de biodisponibilité (BioF) conditionnels aux domaines physico-chimiques des eaux et d'envisager leur utilisation pour la détermination de PNECs conditionnelles à ces domaines
- L'une des limites de l'approche repose toutefois sur le fait que les modèles de biodisponibilité de l'uranium n'ont à ce jour été calibrés que sur un nombre limité de connaissances
 - peu d'organismes et de voies d'exposition explorés
 - domaine physico-chimique couvert incomplet

Perspectives

- Compléter les connaissances acquises sur la biodisponibilité de l'uranium pour développer un modèle de biodisponibilité applicable à l'ensemble des domaines physico-chimiques des cours d'eau français :
 - effet de la complexation par la matière organique naturelle
 - effet de la compétition avec les cations (modèle BLM)
 - extension des modèles de biodisponibilité à plusieurs organismes
- Rassembler et acquérir les connaissances sur l'écotoxicité de l'uranium dans les sédiments nécessaires à la détermination d'une PNEC 'sédiment'
- Prendre en compte la bioaccumulation de l'uranium par les différentes voies d'exposition (directe, alimentation) nécessaires à la détermination d'une PNEC 'biote'
- Rassembler les données et développer une méthodologie nécessaires pour la prise en compte du bruit de fond géochimique et de sa variation

Merci de votre attention

contact: rodolphe.gilbin@irsn.fr

Ont contribué à ce travail au SERIS (IRSN/PRP-ENV à Cadarache)

Jacqueline GARNIER-LAPLACE

Karine BEAUGELIN-SEILLER (LM2E)

Laureline FEVRIER (L2BT)

Olivier SIMON (L2BT)

Rodolphe GILBIN (L2BT)

Remerciements

ANR CESA AMORE (Ph Ciffroy, EDF R&D ; A Péry, Ineris)

Cetama/GT32 (E Ansoborlo, CEA)

GT ' biodisponibilité' (K Tack, Ineris ; O Perceval, Onema)

GEP-mines (GT2)

Programme ENVIRHOM-ECO (IRSN)