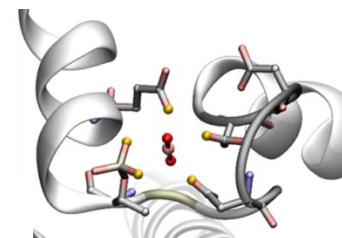
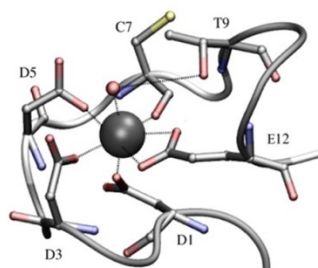


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# CAPTATION DE MÉTAUX PAR DES PROTÉINES POUR LA BIOREMÉDIATION APPLICATIONS ENVIRONNEMENTALES



| Catherine Berthomieu

JEUDI 24 MARS 2016

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

9èmes Rencontre CEA ↔ Industrie, en Région PACA, pour l'innovation et le transfert de technologie

**BIOTECHNOLOGIES : ENERGIE - ENVIRONNEMENT**

## Pollutions environnementales impliquant des métaux



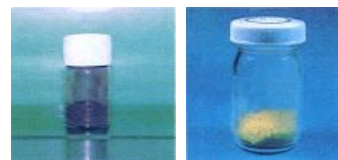
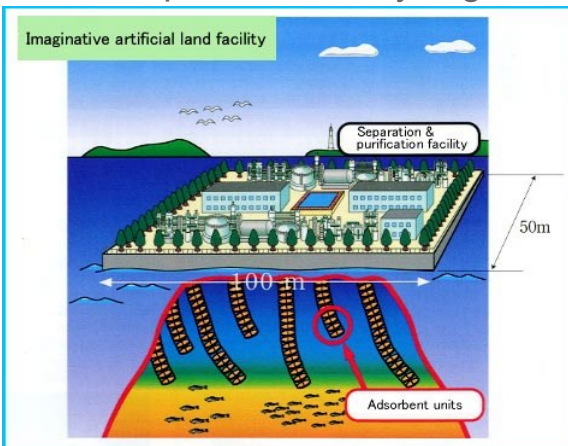
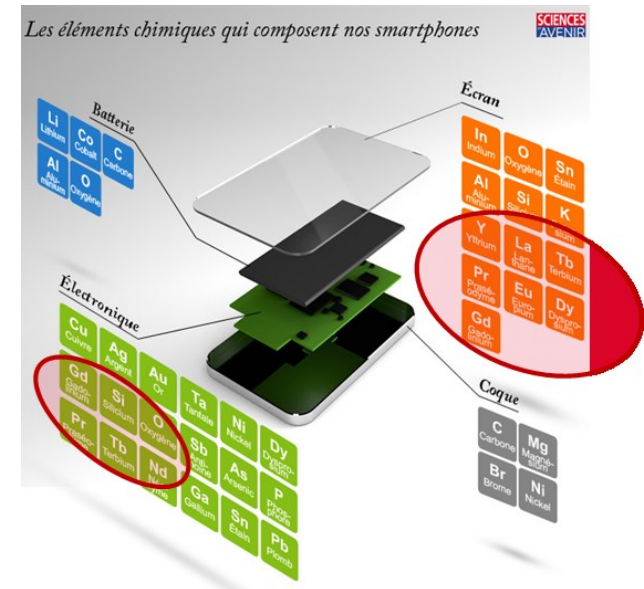
Impliquent des cations métalliques « métaux lourds » ou des radioéléments (U, Sr, Cs, etc...)

- Toxiques et bioaccumulation
- Non biodégradables

■ Priorité de traitement de sites/eaux pollués limitation des rejets

## Récupération sélective de cations métalliques

- Ressources nouvelles technologies : Terres rares
- Optimiser le recyclage, la séparation de cations radioactifs



Vanadium      Uranium

**2 g U /kg adsorbant en 60 j**

Seko et al. Nuclear technology (2003) 144, 274

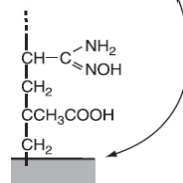
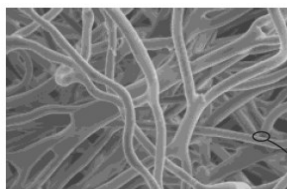
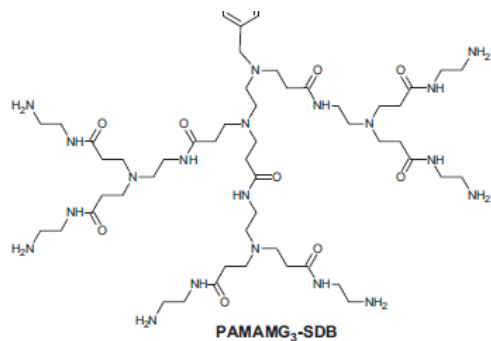
## Sols

Confinement

Traitement sur site / hors site (excavation)

- Dégradation chimique ou biologique
- Extraction (chaleur, **lessivage**)
- Consolidation -végétaux

## Techniques associées à un traitement des effluents



Poly(amido)amine dendron on the surface of styrene divinylbenzene **Performances :**  
 max **130 mg U / g matrice**

## Eaux

Précipitation, Flocculation, Ultrafiltration

## Sorption / échange d'ions

- sur résines
- sur minéraux (zéolites)
- par des microorganismes

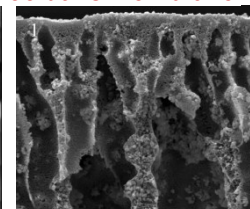
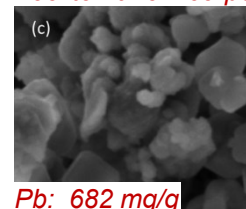
Résines: échangeuses d'ion ou chélatantes

(co)polymères fixés sur des supports filtrants

Résines et minéraux caractérisés par

- capacité d'échange, rétention / pH
- **Sélectivité**
- Recyclage et son impact environnemental
- Coût production

*Zéolite nano incorporée dans membrane*



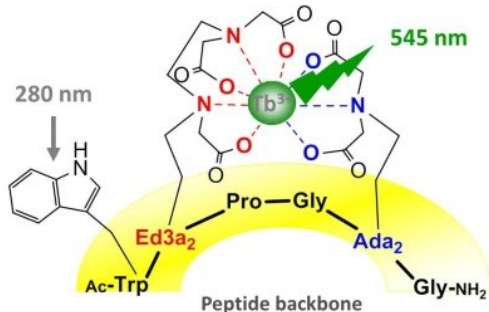
**Pb: 682 mg/g**

Y Yurekli J. Hazard. Mater. 2016, 309:53

# FIXATION DE CATIONS MÉTALLIQUES PAR DES PROTÉINES

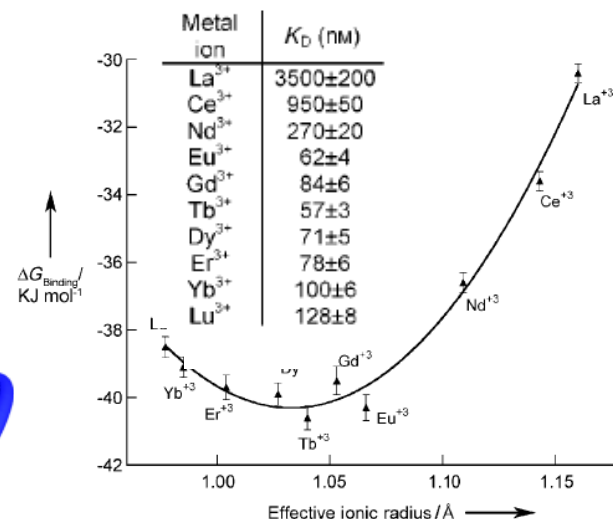
- Env. un tiers des protéines contiennent un cation métallique
- L'affinité et la **sélectivité** peuvent être très élevées
- L'ingénierie de peptides permet de
  - modifier la sélectivité
  - amplifier l'affinité – la stabilité des sites

Ln(III) Binding Peptides with Femtomolar affinity in water

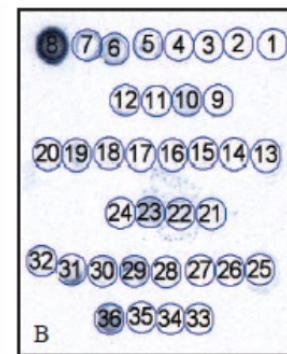
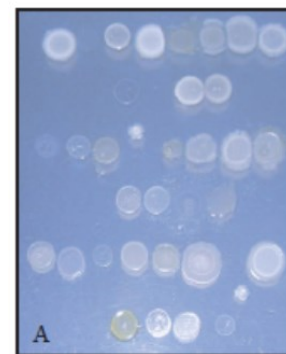
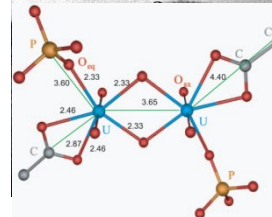
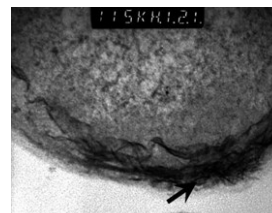


P Delangle INAC CEA-Grenoble  
Inorg Chem. 2012, 51, 5458

- Les protéines de surface des bactéries chélatent des cations métalliques : exploitation de la biodiversité pour la bioremédiation



M. Nitz et al. 2004 *Angew. Chem. Int. Ed.* **43**, 3682

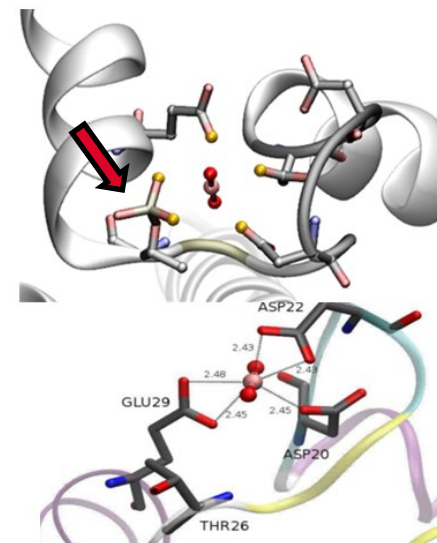
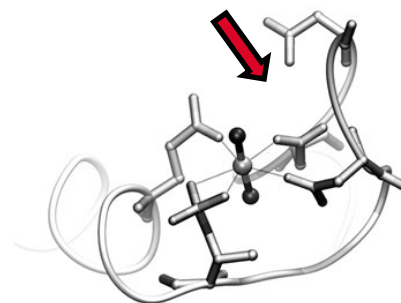
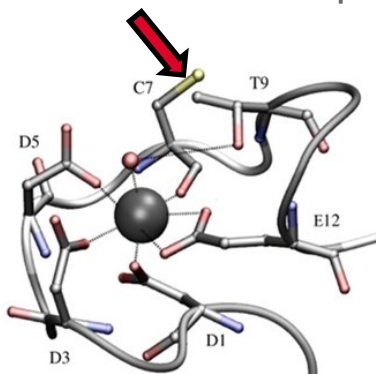


V. Chapon LIPM



# INGÉNIERIE D'UN SITE DE FIXATION DU CALCIUM EN SITE DE FIXATION DE L'URANIUM

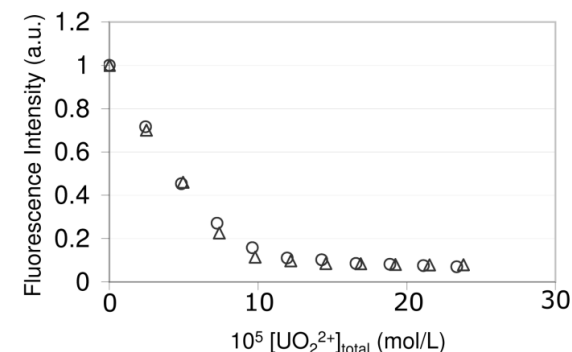
- Ingénierie du site par remplacement des briques moléculaires dans la boucle de fixation du cation métallique / raccourcissement de la boucle



Peptides	Kd (nM) $\text{UO}_2^{2+}$		Kd ( $\mu\text{M}$ ) $\text{Ca}^{2+}$	
	pH 6	pH 7	pH 6	pH 7
CaM1	$25 \pm 6$		$23.2 \pm 2.6$	$22.4 \pm 1.1$
CaM1-P	$5 \pm 1$	$0.32 \pm 0.05$	$21.5 \pm 1.4$	$17.1 \pm 1.5$
<b>CaM<math>\Delta</math></b>	<b><math>0.18 \pm 0.05</math></b>	<b><math>0.2 \pm 0.01</math></b>	<b><math>&gt; 10^3</math></b>	<b><math>8.7 \cdot 10^3</math></b>

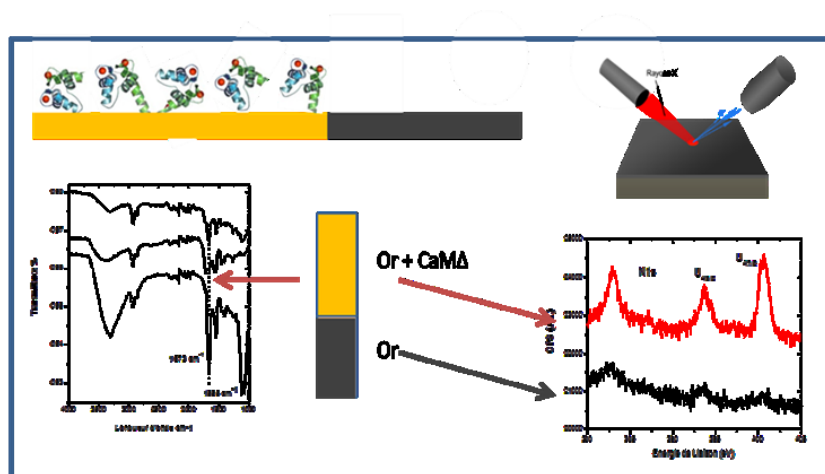
New uranium-chelating peptides derived from EF-hand calcium-binding motif useful for uranium biodetection and biodecontamination,

R. PARDOUX, S. SAUGE-MERLE, D. LEMAIRE, C. BERTHOMIEU, P. GUILBAUD, P. DELANGLE, M R BECCIA, N BREMOND **Brevet** WO2014155356 A8

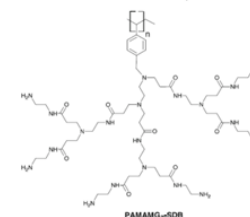


# FONCTIONNALISATION DE SUPPORTS POUR PIÉGER LES CATIONS DE FAÇON SÉLECTIVE DANS L'EAU

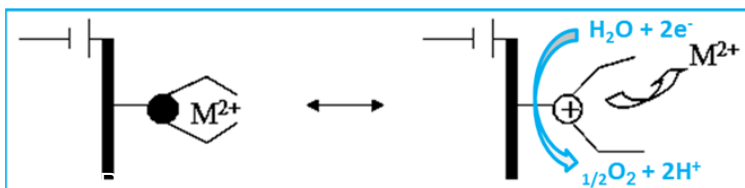
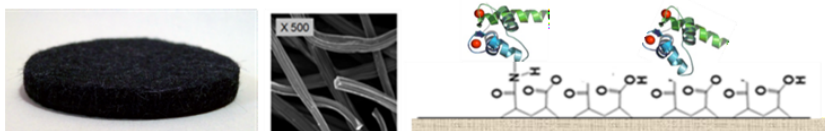
- Mesure de la capacité de la protéine à fixer l'uranyle – après fonctionnalisation d'une surface d'or



Fixation d'uranyle en présence de protéine  
Capacité théorique 59 mg/g de matrice  
(130 mg/g résine polyamidoamine)  
Sélectivité

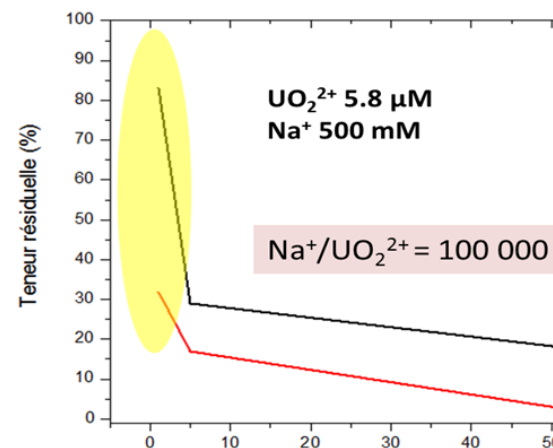


- Exploiter une approche de capture sur feutre de carbone et de récupération par électroéluion



Pince à sucre moléculaire commandable électriquement

Viel et al. 2007, Truan Le et al. 2009



CEA-IRAMIS 24 mars 2016 | PAGE 6

Coll. Pascal Viel DSM/IRAMIS CEA-Saclay

# FONCTIONNALISATION DE SUPPORTS POUR PIÉGER LES CATIONS DE FAÇON SÉLECTIVE DANS L'EAU

## Ajelis :

Startup Recyclage terres rares par fonctionnalisation de feutres par des mMolécules chélatrices chimiques

### Procédé FAMOREC

*Filtration Active par MATériaux Organique Electriquement Commandable*

Une alternative aux résines polymères

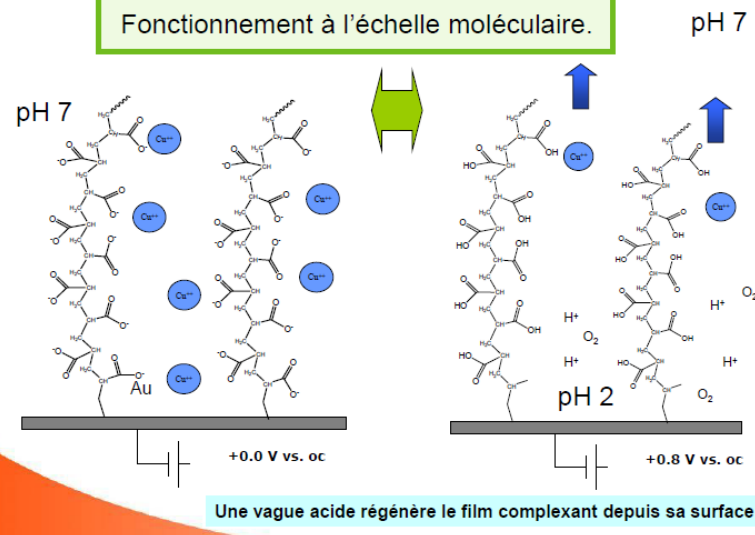
Filtration sur surfaces solides conductrices de l'électricité

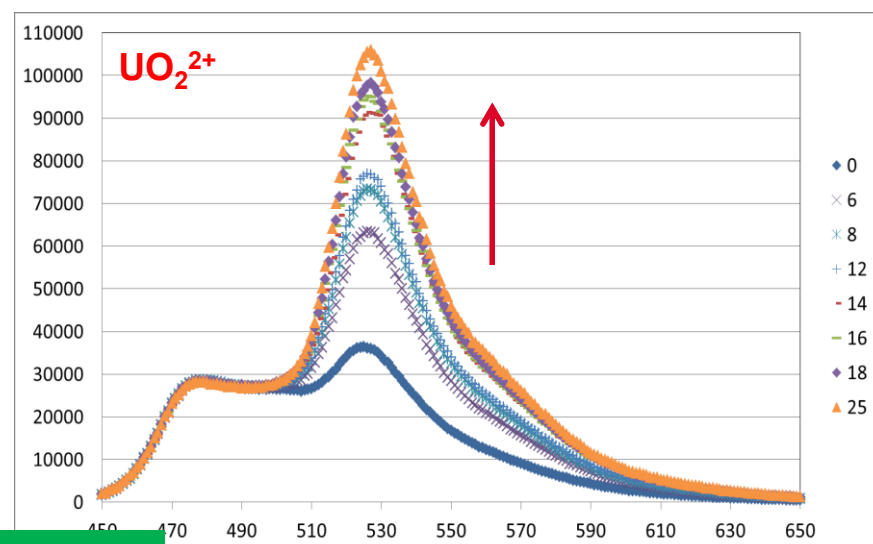
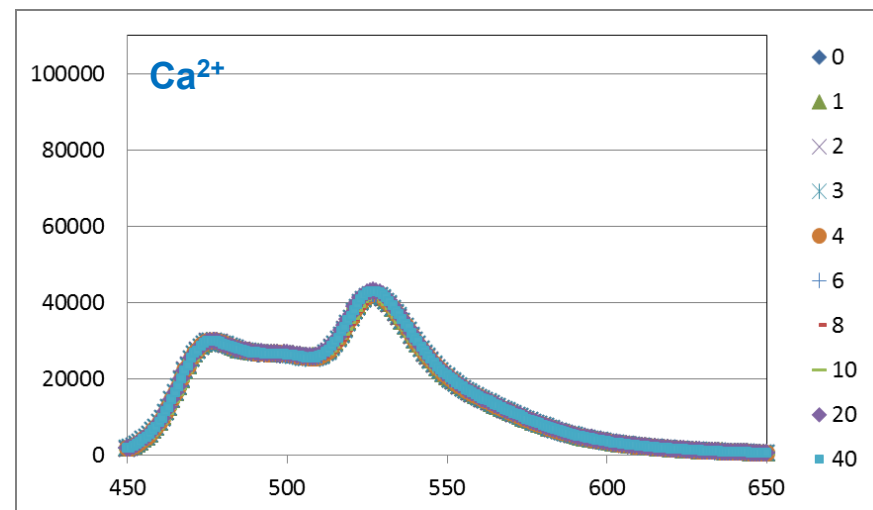
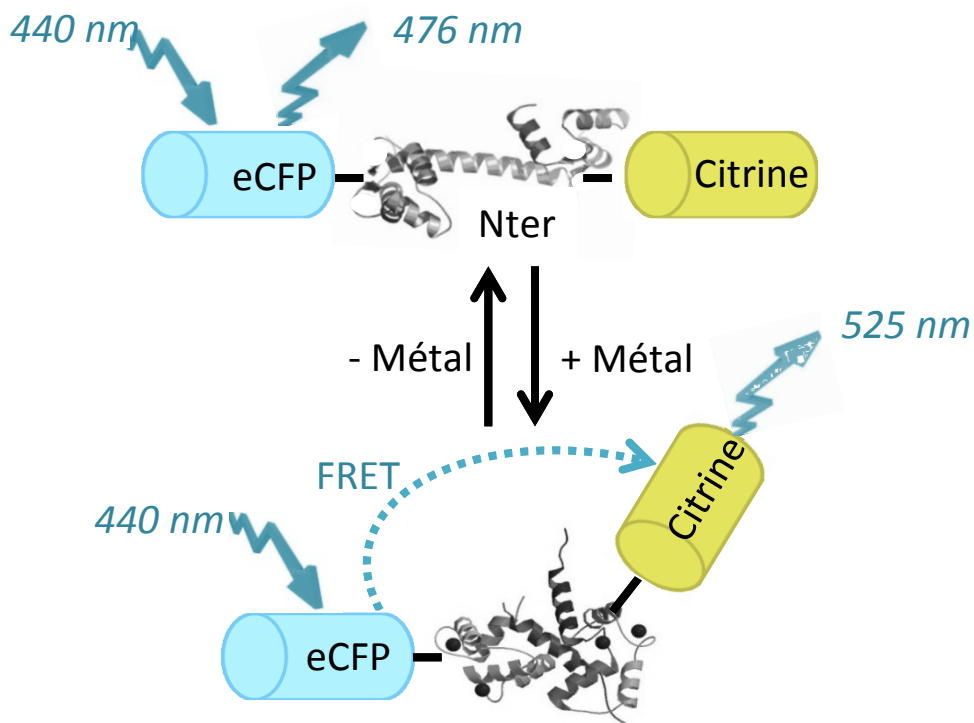
Elimination des effluents secondaires



(c) Cyter : Ekaterina Shilova, Pascal Viel, Vincent Huc

Fonctionnement à l'échelle moléculaire.





➔ Biodétecteur sélectif de l'uranyle



Contact :

[catherine.berthomieu@cea.fr](mailto:catherine.berthomieu@cea.fr)

---

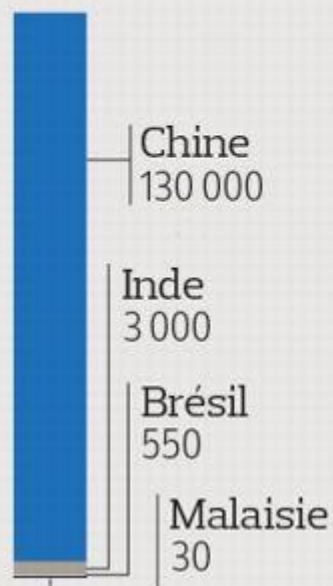
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Cadarache | 13108 Saint Paul-lez-Durance  
T. +33 (0)4 42 25 43 84 | F. +33 (0)4 42 25 26 25

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

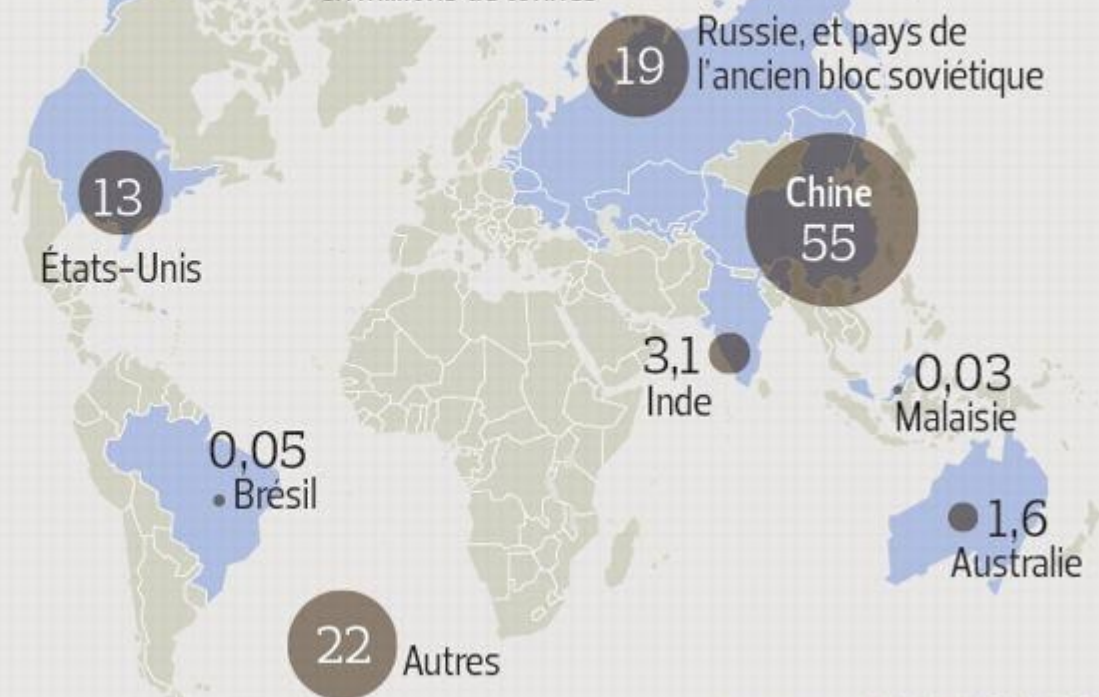
DRF  
BIAM  
Laboratoire des Interactions Protéine  
Métal

## La Chine, premier producteur mondial

PRODUCTION  
DE TERRES RARES  
EN 2011,  
en millions de tonnes



RÉSERVES DE TERRES RARES EN 2011,  
en millions de tonnes



Source : USGS

Infographie **LE FIGARO**