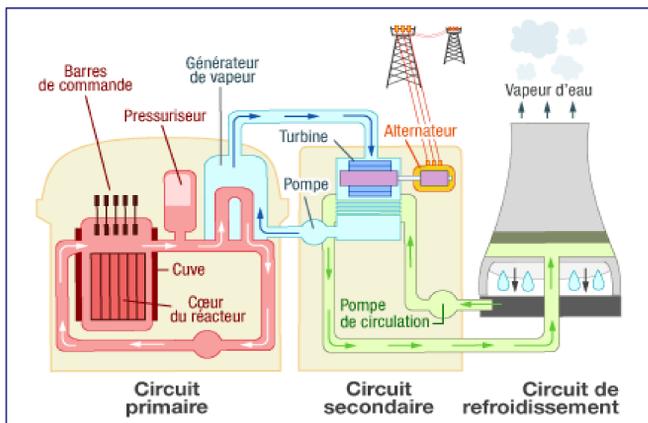


## L'industrie nucléaire et ses déchets

Gérard Phideline, Penninckx Sébastien, Roth Aurélie  
Cornut Damien. Faculté des Sciences, Département de chimie organique, LCO.

### La centrale nucléaire

Une centrale nucléaire ne rejette pas de gaz à effet de serre mais produit des déchets radioactifs



Les réacteurs à eau pressurisée (REP) sont les réacteurs les plus répandus.

**Circuit primaire:** Les réactions de fission nucléaire qui ont lieu dans le cœur du réacteur impliquent de l'oxyde d'uranium légèrement enrichi ( $^{235}\text{U}$ ). Elles engendrent de la chaleur transmise à l'eau du circuit primaire. Cette eau est soumise à une pression élevée afin d'éviter son ébullition et de la maintenir à l'état liquide même à des températures d'environ 320 °C.

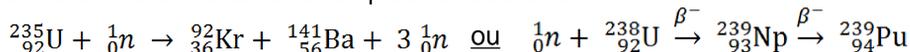
**Circuit secondaire:** L'eau chaude du circuit primaire transfère sa chaleur à l'eau du circuit secondaire où règne une pression moindre. L'eau se retrouve sous forme de vapeur qui actionne une turbine faisant tourner un générateur électrique.

**Circuit de refroidissement:** La vapeur est recondensée à l'aide d'eau en provenance de la mer ou d'un fleuve. Ce circuit est indépendant des deux autres.

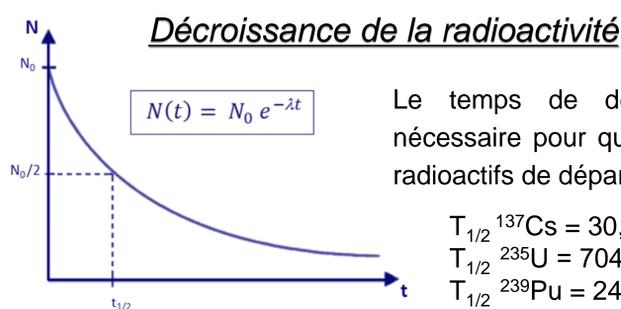
### La radioactivité

La *radioactivité* est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables se transforment spontanément en dégageant de l'énergie sous forme de rayonnements divers, pour donner des noyaux atomiques plus stables ayant perdu une partie de leur masse.

Ce phénomène est également reproduit artificiellement dans les réacteurs d'une centrale nucléaire. Exemples de réactions :



Les produits de fission de  $^{235}\text{U}$  et les produits de désintégration de  $^{238}\text{U}$  sont radioactifs. Exemples:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , ...



#### Décroissance de la radioactivité

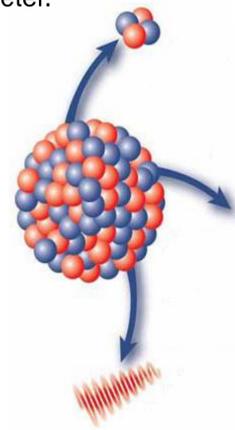
Le temps de demi-vie est le temps nécessaire pour que le nombre de noyaux radioactifs de départ soit réduit de moitié.

$T_{1/2}$	$^{137}\text{Cs}$	= 30,07 années
$T_{1/2}$	$^{235}\text{U}$	= 704 millions d'années
$T_{1/2}$	$^{239}\text{Pu}$	= 24 100 années

**Les isotopes radioactifs provenant des centrales nucléaires ont des temps de demi-vie si longs qu'il est crucial de les gérer au mieux!**

Il existe 3 types de *rayonnements* :

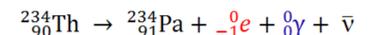
**Rayonnement  $\alpha$**  Emission de noyau d'hélium (2 protons et 2 neutrons). Cette émission a lieu pour des noyaux lourds ( $A > 200$ ). Les particules  $\alpha$  ont un très faible pouvoir de pénétration: une feuille de papier suffit pour les arrêter.



#### Rayonnements $\beta$

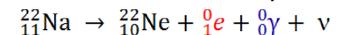
**$\beta^-$ :** Emission d'un électron (-)

L'instabilité est liée à un excès de neutrons



**$\beta^+$ :** Emission d'un positron (+)

L'instabilité est liée à un excès de protons



Les particules  $\beta$  peuvent être arrêtées par une feuille d'aluminium ou une vitre en verre

**Rayonnement  $\gamma$**  Rayonnement électromagnétique de haute énergie émis suite à la désexcitation des noyaux. Il se manifeste seul ou accompagne la radioactivité  $\alpha$  ou  $\beta$ .

Ce rayonnement a un grand pouvoir de pénétration: il ne peut être stoppé que par plusieurs centimètres de plomb ou plusieurs décimètres de béton.

### La gestion & le stockage des déchets radioactifs

Le combustible est tout d'abord stocké en piscine pour que sa chaleur et sa radioactivité diminuent progressivement. **Ces déchets sont ensuite séparés, purifiés, essentiellement par des méthodes d'extraction en vue d'un conditionnement futur ou d'une réutilisation.** Ils retournent alors en piscine.

Par la suite, deux options sont possibles:

#### Conditionnement

Déchets à faible durée de demi-vie (< 30ans) :

Conditionnement dans des barils stockés dans des entrepôts



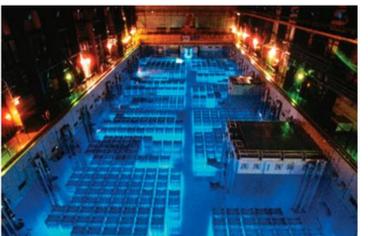
Déchets à longue durée de demi-vie (> 30ans):

Conditionnement souterrain



#### Réutilisation

Réutilisation de l'Uranium et du Plutonium présent dans les déchets  
→ *Combustible MOX (Mixed OXides)*



#### Solutions futures ?

➤ MYRRHA

(Multipurpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications):

Traitement des actinides mineurs (hautement radioactif et sur de très longues périodes) par envoi de neutrons accélérés

## L'extraction sélective de cations métalliques: intérêt pour l'industrie nucléaire

Gérard Phideline, Penninckx Sébastien, Roth Aurélie

Cornut Damien. Faculté des Sciences, Département de chimie organique, LCO.

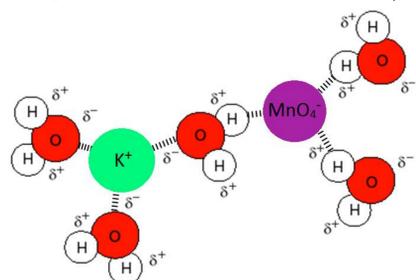
### Principe de l'extraction sélective des cations

Une extraction permet de séparer un composé d'un mélange.

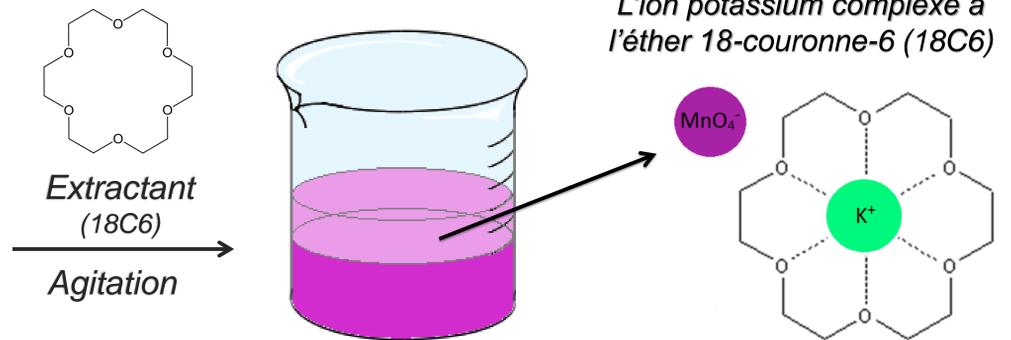
**Exemple:** extraction sélective de l'ion  $K^+$  par un éther couronne:

Deux solutions non miscibles sont utilisées:

- une phase organique (toluène)
- une phase aqueuse contenant du permanganate de potassium ( $KMnO_4$ )



Mis en solution aqueuse, le permanganate de potassium (de couleur violette) se dissocie en ions:



L'ion potassium complexé à l'éther 18-couronne-6 (18C6)

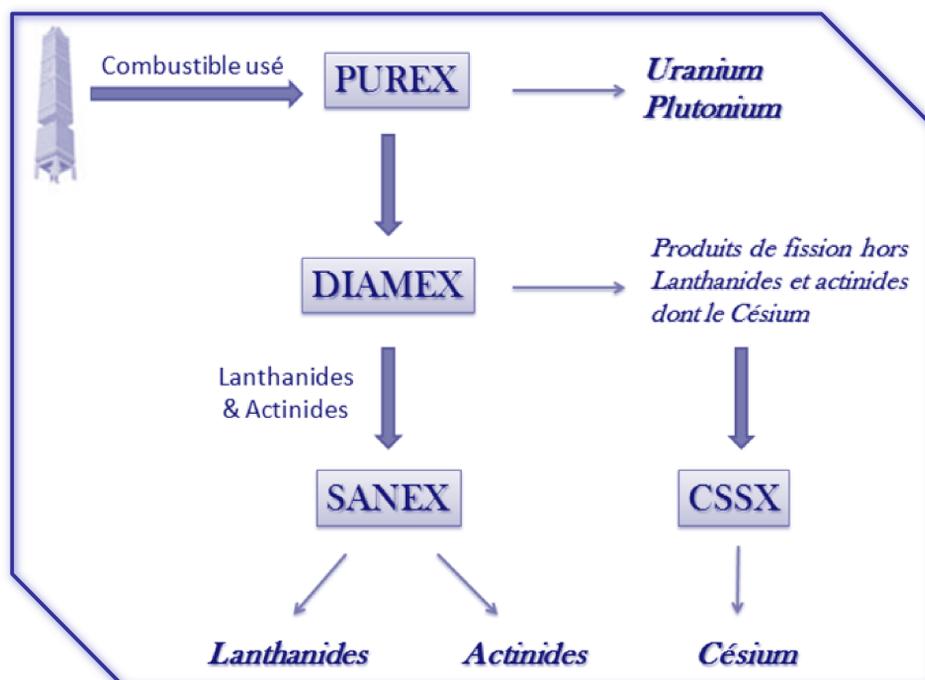
**Explications:** Au départ, le permanganate de potassium est solvaté par les molécules d'eau. Les cations  $K^+$  interagissent avec les atomes d'oxygène des molécules d'eau tandis que les anions  $MnO_4^-$  interagissent avec les hydrogènes.

Pour extraire le permanganate de potassium de la phase aqueuse, on ajoute un extractant spécifique à l'ion  $K^+$ : l'éther 18-couronne-6 (18C6).

Au cours de l'agitation, les molécules de 18C6 piègent les ions  $K^+$  qui ne sont alors plus solvatés par les molécules d'eau et les entraînent dans la phase organique. Les ions  $MnO_4^-$  passe aussi dans la phase organique par interaction électrostatique avec  $K^+$ . Une partie du permanganate de potassium est donc extrait dans la phase organique, ce qui explique qu'elle se colore légèrement en rose.

### Applications à l'industrie nucléaire

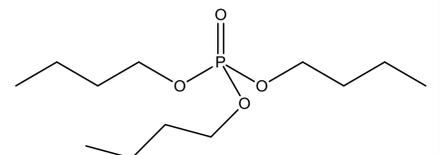
Une gestion efficace des déchets nucléaires passe par la séparation des isotopes radioactifs. En effet, le traitement des déchets se fait en fonction de leur activité ainsi que de leur durée de vie. Les différents procédés de séparation basés sur les méthodes d'extraction et utilisés dans l'industrie nucléaire sont les suivants:



#### Procédé PUREX

(Plutonium Uranium Refining by EXtraction)

**Objectif:** Séparer l'Uranium et le Plutonium, des autres produits de fission considérés comme des déchets.

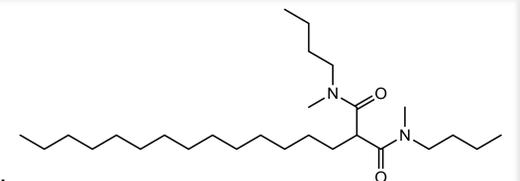


Le Tributylphosphate (TBP) est couramment utilisé comme extractant dans le procédé PUREX

#### Procédé DIAMEX

(DIAMide EXtraction)

**Objectif:** Séparer d'abord les actinides mineurs (ex: Américium, Curium) et les lanthanides des autres produits de fission

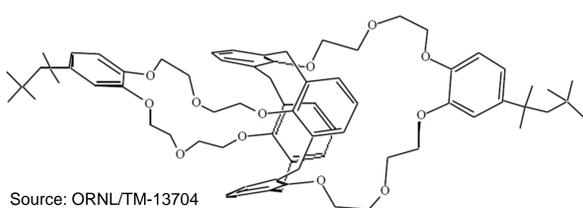


Le *N,N'*-diméthyl-*N,N'*-dioctylhexylethoxymalonamide (DMDOHEMA) est l'extractant de référence du procédé DIAMEX

#### Procédé CSSX

(Caustic Side Solvent eXtraction)

**Objectif:** Séparer le césium des produits de fission hors lanthanides et actinides obtenus après le procédé Diamex



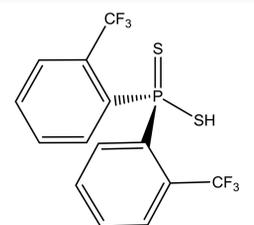
Source: ORNL/TM-13704

Le Calix[4]arene-bis(*t*-octylbenzo-crown-6) (BOBcalixC6) est le composé utilisé pour extraire sélectivement le césium

#### Procédé SANEX

(Selective ActiNides EXtraction)

**Objectif:** Séparer les actinides mineurs des lanthanides dans des conditions chimiques appropriées



L'acide Bis(*o*-Trifluorométhylphényl) Dithiophosphinique est utilisé pour séparer les actinides