

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



TABLE RONDE JNRCN 2014

CYCLE DU COMBUSTIBLE ET RADIOCHIMIE



Michaël LECOMTE, CEA Marcoule

12 SEPTEMBRE 2014

www.cea.fr



Nécessaire :

- pour maîtriser les phénomènes élémentaires mis en jeu et in fine, comprendre le comportement des radionucléides dans les milieux d'intérêts
- pour explorer de nouveaux concepts pour la séparation et le conditionnement des RN

Domaines d'expertise à approfondir :

- Spéciation : redox, complexation, milieux complexes, ... (traitement/recyclage, stockage, ...)
- Réactivité (élaboration combustible, cimentation, vitrification déchets, ...)
- Séparation (amont et aval du cycle, décontamination, « décorporation », contrôle dans l'environnement, ...)

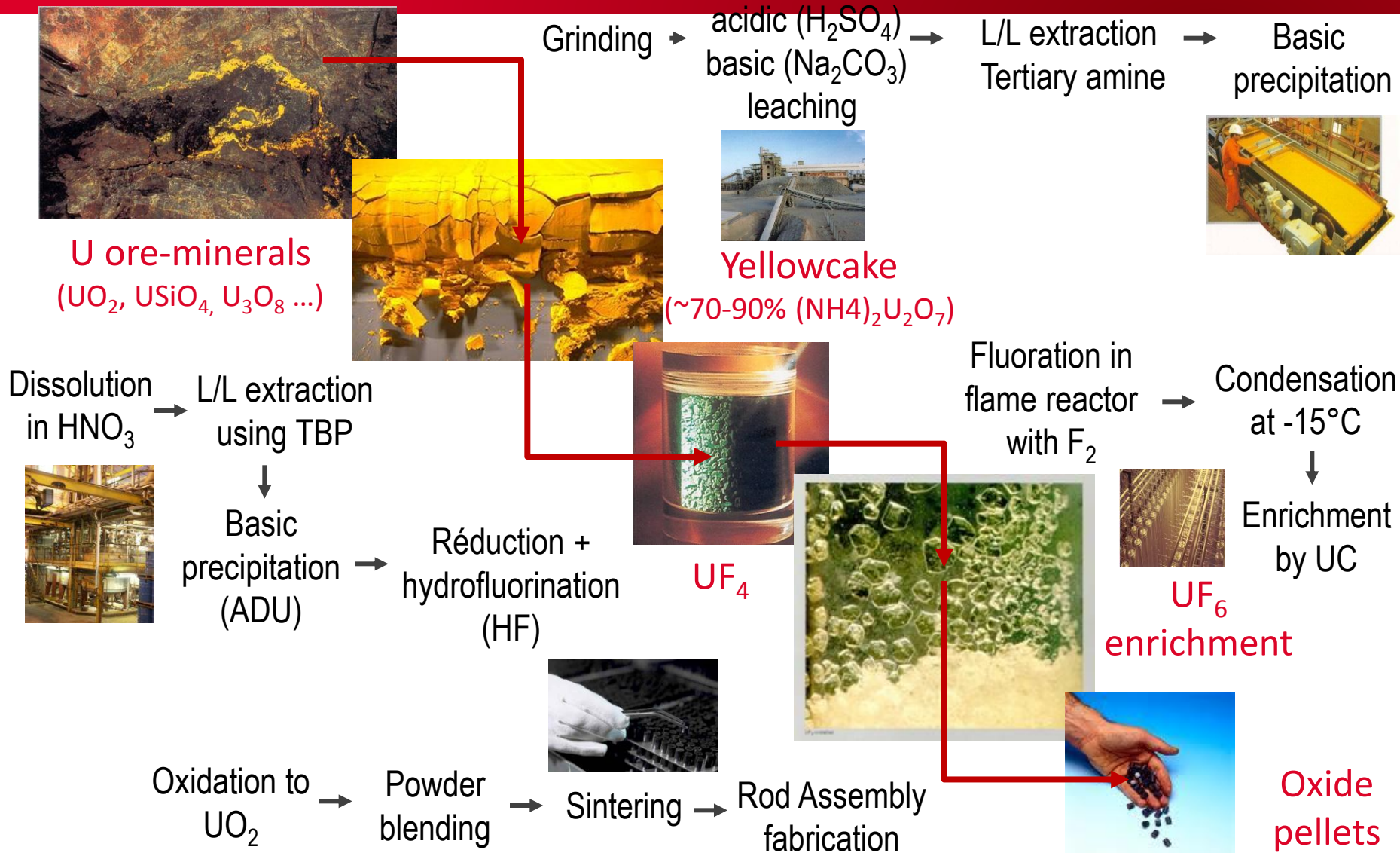
Moyens à mobiliser :

- Équipes de recherche et installations dédiées
exemple : ATALANTE au CEA
- Coopération
Réseaux académiques (ex : GDR/GNR PARIS, >40 labos, 1995-2010) PACEN, puis NEEDS
Programmes UE (SACCESS, ACTINET) et Internationaux (ex DOE)
- Formation
I2EN : Masters spécialisés, Ecoles (parcours nucléaires), formations doctorales, thèses, ...



BACK-UP

DU MINERAI AU COMBUSTIBLE : UNE CHIMIE RICHE



LES PRINCIPAUX ENJEUX DE LA R&D POUR LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE



(UOX)

(MOX)

REACTEURS

Allonger la durée de vie
Maîtrise de la corrosion et des dégâts d'irradiation

Comb.usé

U : 955 kg.t⁻¹

Pu : 9.6 kg.t⁻¹

AM : 0.8 kg.t⁻¹

PF : 34 kg.t⁻¹

Fabrication du

Améliorer les performances du combustible
Maîtrise de la fabrication

Recycler les actinides, en tenant compte des contraintes liées à la non-prolifération, Maîtrise des **procédés de séparation** (+ efficaces et + sûrs pour La Hague, évolutions, usines du futur,...)

Enrichissement de l'uranium

Améliorer/adapter les procédés d'**extraction-purification-conversion** (diminution des coûts, maîtrise de l'impact sur l'environnement)

Réduire les volumes des déchets
Maîtrise du **conditionnement**
Formulation matrices verre, bitume, ciment

Déchets

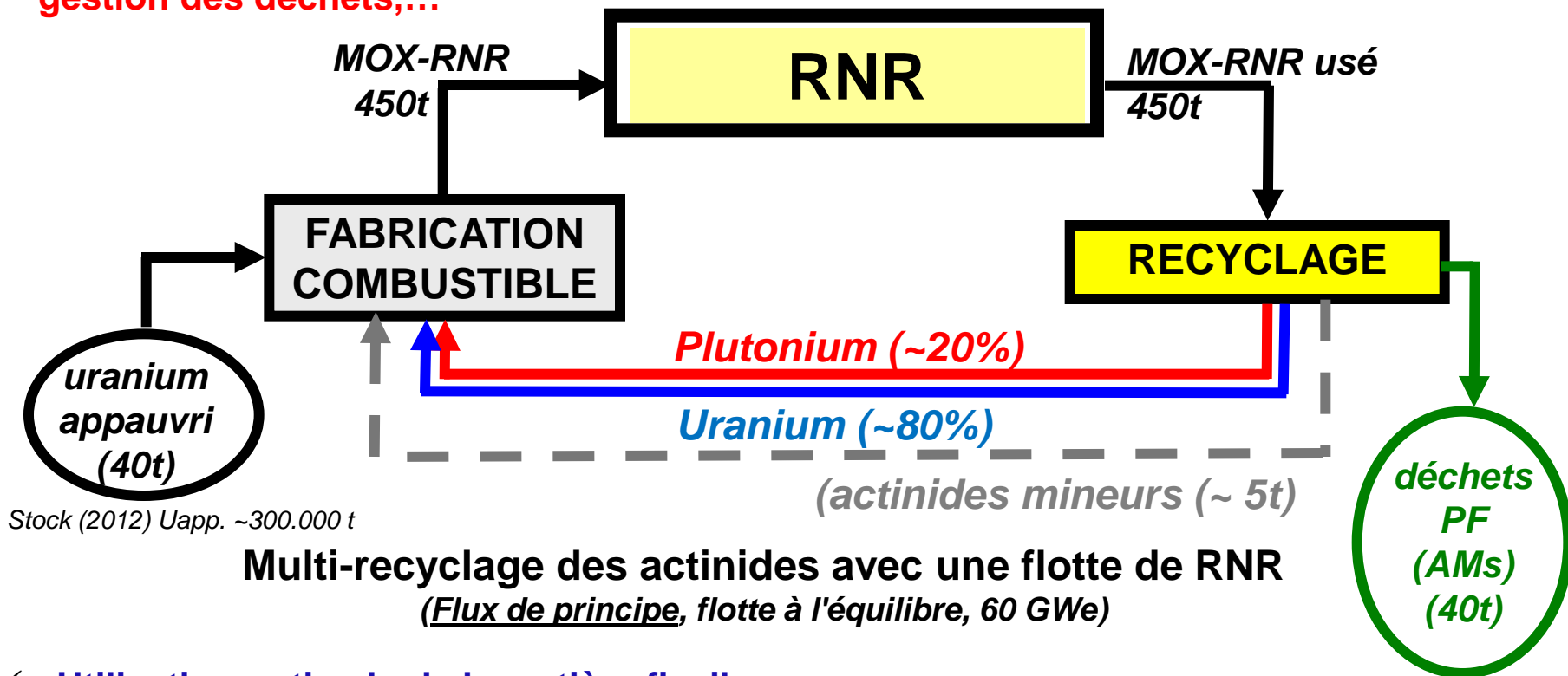
l'uranium

Uranium

Garantir la sûreté de confinement
Maîtrise du **comportement à long terme**, compréhension de la toxicité des radionucléides

MULTIRECYCLAGE DU PU ?

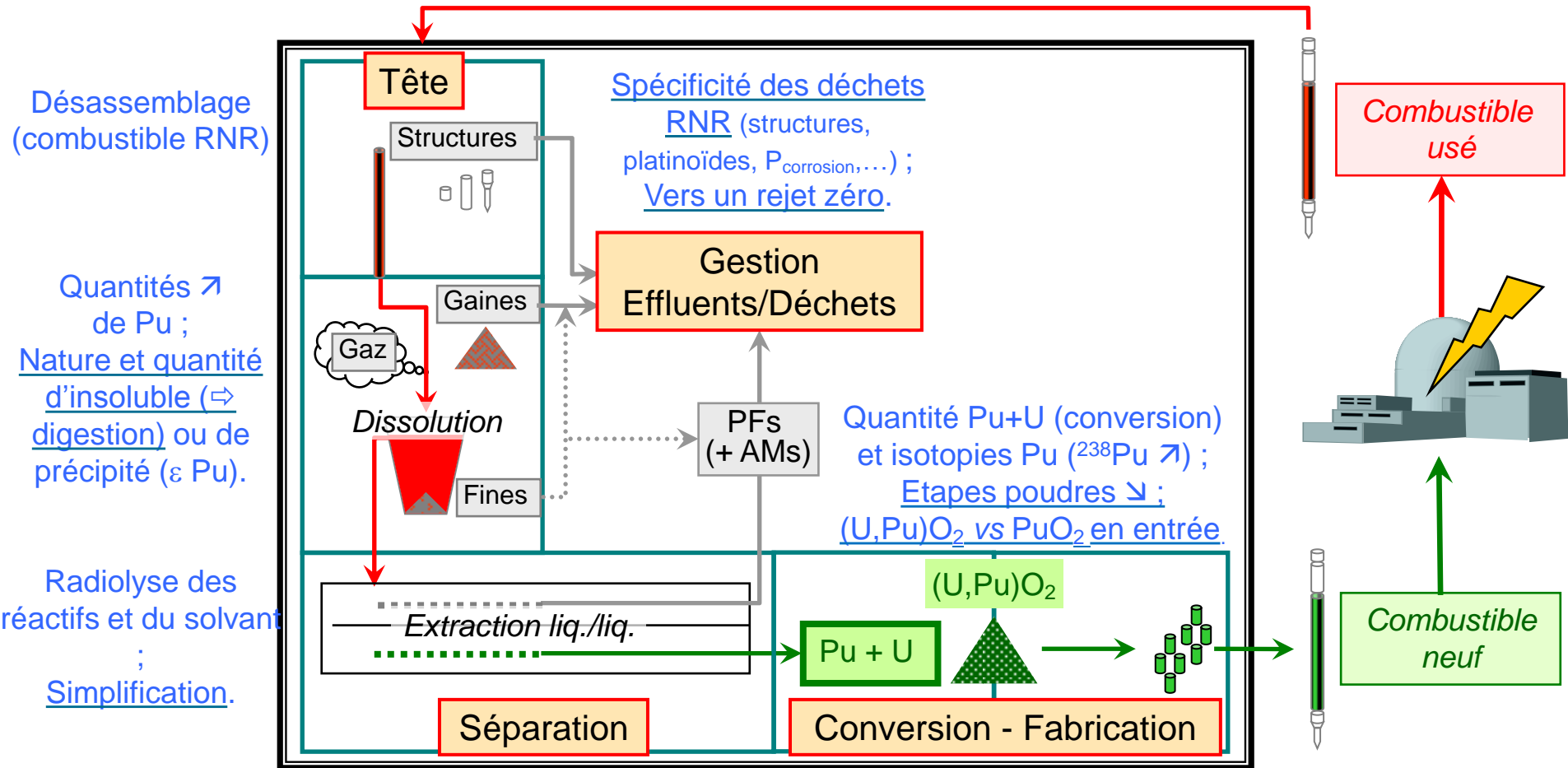
- Nécessite des réacteurs rapides (*dégradation du vecteur isotopique ; isotopes pairs*)
- Inventaire Pu et flux importants (100t/an en RNR au lieu de 10t/an en REP)
- **Enjeux de R&D forts : combustibles au plutonium, dissolution, co-extraction U+Pu, gestion des déchets,...**



- ✓ **Utilisation optimale de la matière fissile**
- ✓ **Résistance accrue à la prolifération**
- ✓ **Minimisation radicale des déchets ultimes** (*volume, chaleur, période, radiotoxicité*)

LES THEMATIQUES DE RECHERCHE EN CHIMIE POUR L'AVAL DU CYCLE

Recherches ciblées (compréhension, procédé, technologies...) :



+ scénarios, analyse en ligne et pilotage procédé, études d'intégration, matériaux (corrosion), combustibles autres (carbure, métal)

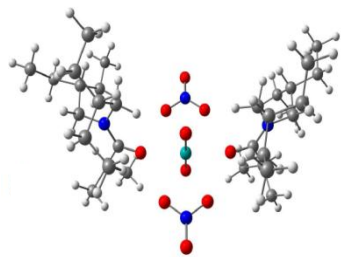
PFs : Produits de fission
AMs : Actinides Mineurs (recyclage non représenté).

Axe du programme : simplification

- Développement d'une séparation simplifiée, sans rédox, du plutonium et de l'uranium des PFs+AMs.

⇔ flux Pu x 10

Consommation exacerbée des agents réducteurs



R&D
Procédé

Pu, U, PFs, AMs

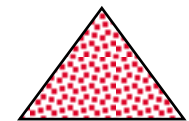
Nouveau
Solvant

PFs
AMs

Cycle séparation UPu

U

Pu + U

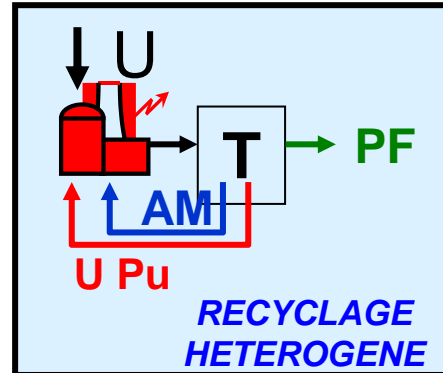
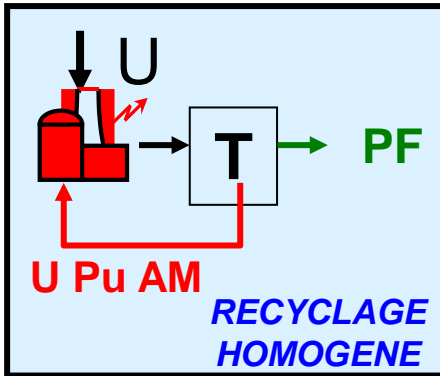


Coconversion



R&D
Technologies

Recyclage des AMs :



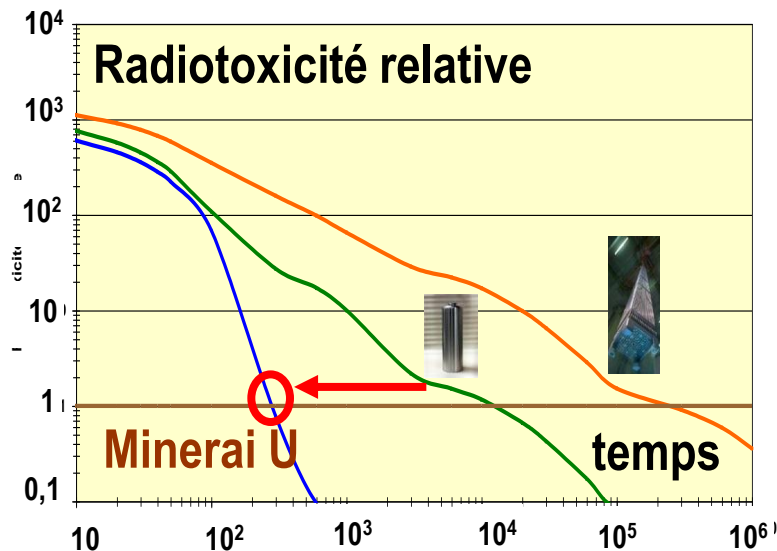
2 options principales :

Recyclage homogène

→ recyclage groupé : **Procédé GANEX**

Recyclage hétérogène

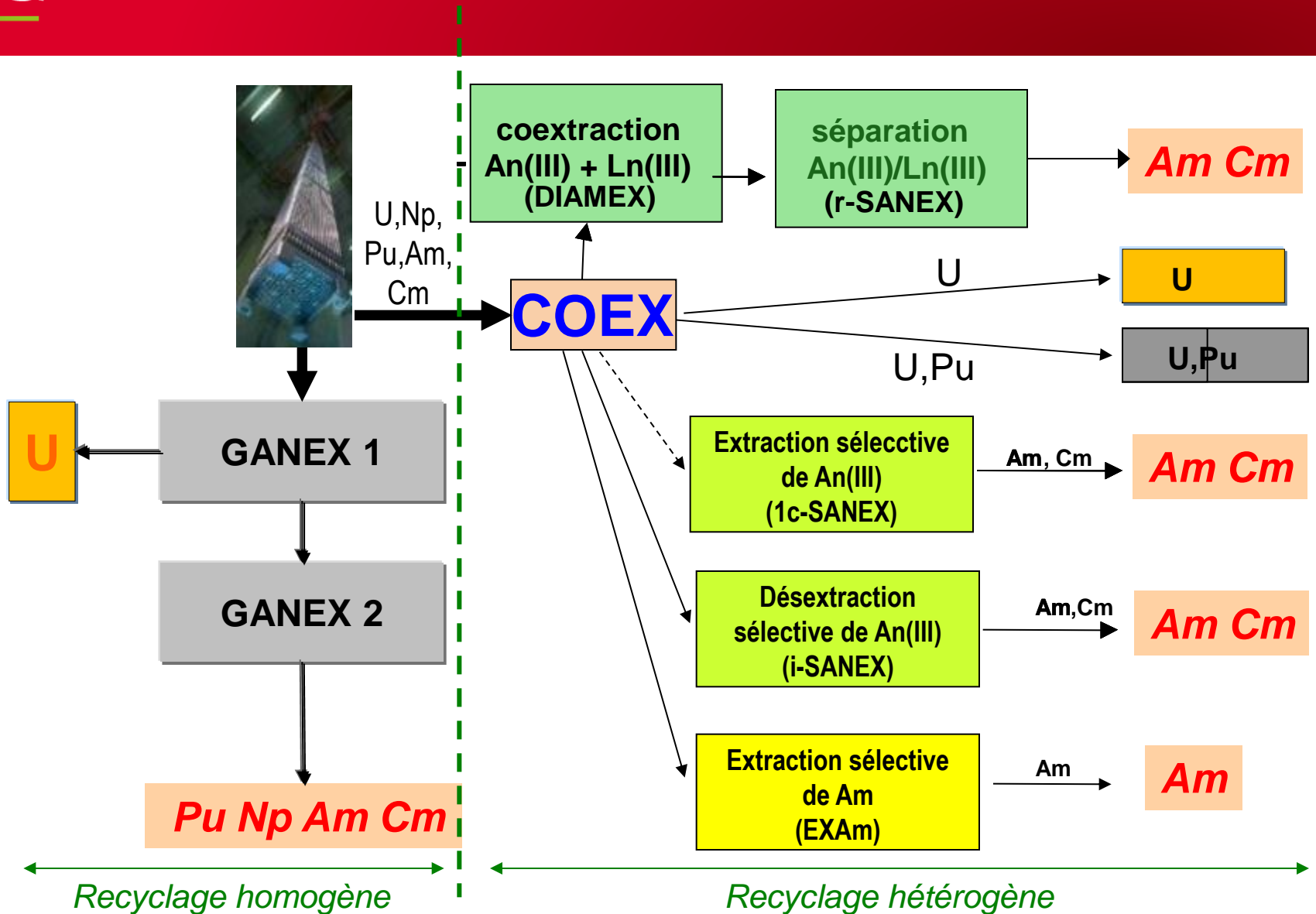
→ séparation poussée : **Procédé DIAMEX/SANEX**



Intérêt récent dans le recyclage de Am seul : **Procédé EXAm**

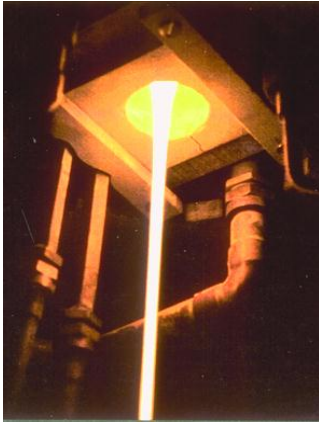
- Permet de diminuer la durée de vie des déchets ultimes, et d'en diminuer la puissance thermique
- Répond à une attente du public
- Stabilisation de l'inventaire en AM dans le cycle.

DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SÉPARATION DES AMS ÉTUDIÉS



Formulation

Adaptation à la composition du déchet
Solubilité (Cr, Ru, Rh, Pd, Ce, Pu, SO₄, Cl)
Séparation de phase (Mo, SO₄, Cl, P)
Dévitrification (Mo, P, F, Mg, ...)
Taux d'incorporation maximal



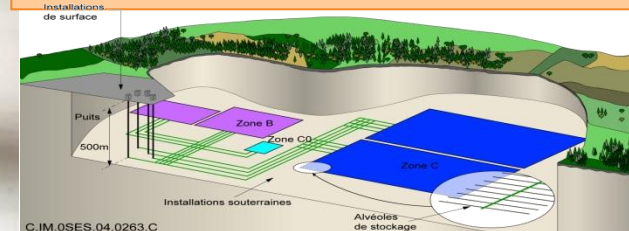
Procédé / Technologie

Facilité d'élaboration
Température de fusion
Viscosité, réactivité, redox
Temps de séjour,
Conductivité électrique
Conductivité thermique
Additifs

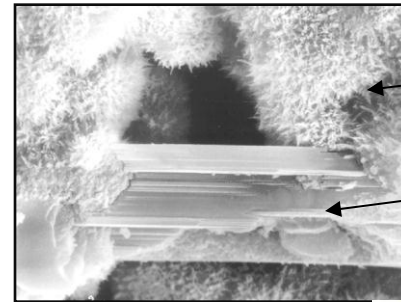
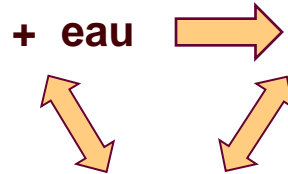


Performance

Propriétés pour le stockage et l'entreposage
Stabilité thermique
Durabilité chimique
Résistance
Auto-irradiation
Propriétés mécaniques



CIMENTATION DES DÉCHETS



Silicate de calcium hydratés (C-S-H)

Portlandite

Interactions ciment/déchet conduisant potentiellement à de nombreux effets délétères

Déchet

Développement de procédés de cimentation innovants

Ex: malaxeur haute énergie, granulation

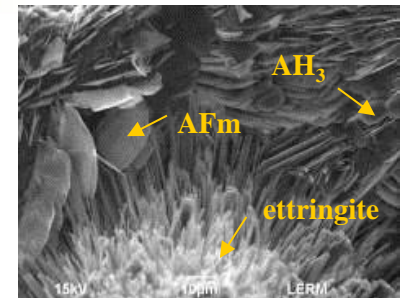


Compréhension physico-chimique des interactions ciment/déchet

Ex: Viscosité du coulis

Développement de nouveaux liants présentant une compatibilité améliorée avec les déchets

Ex: Ciments sulfo-alumineux, géopolymères

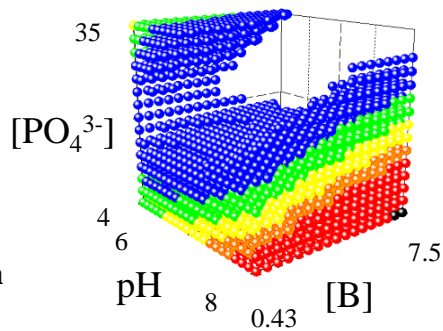


Les matériaux cimentaires doivent être développés à façon pour chaque déchet à conditionner.

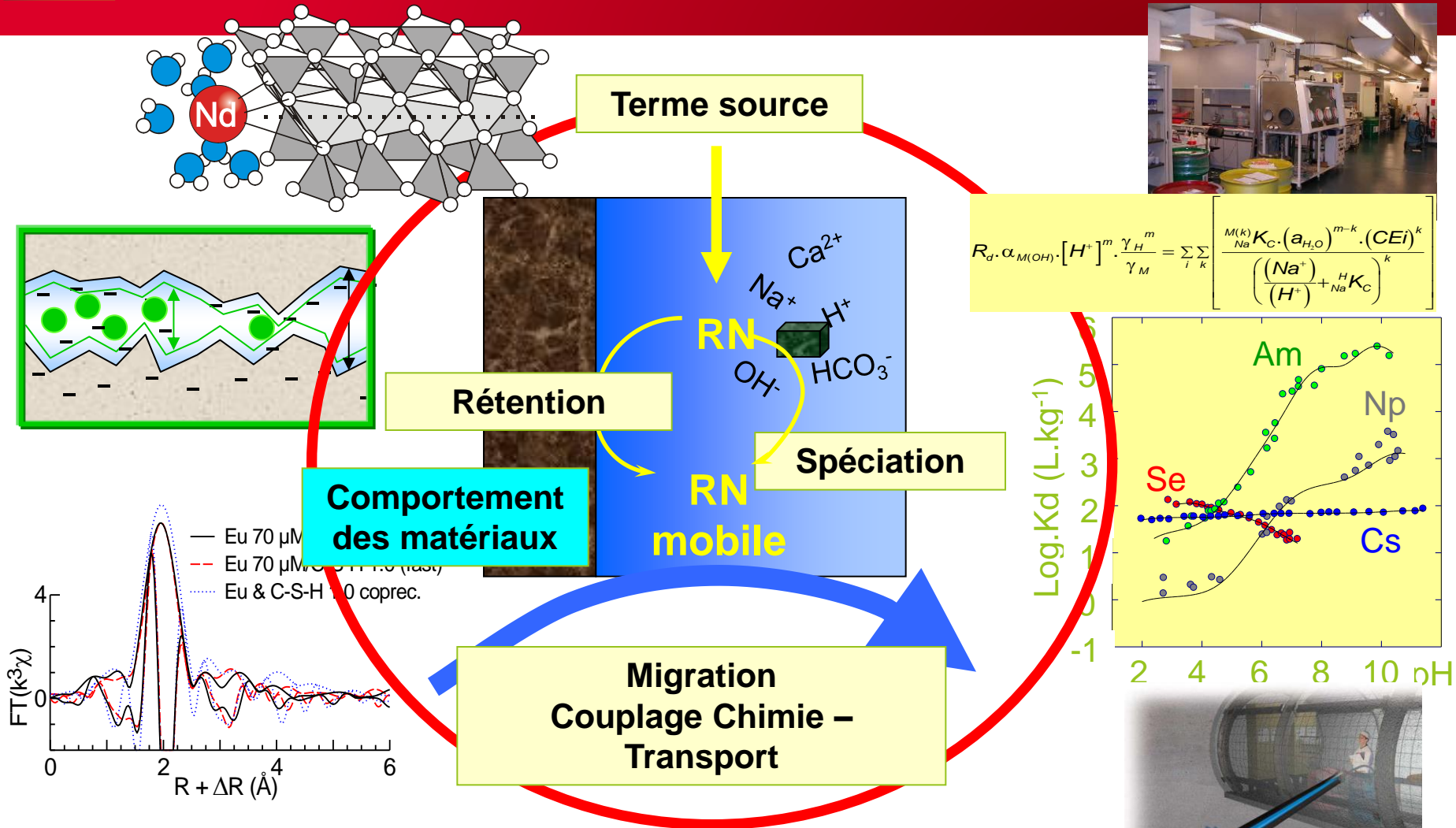
Contraintes liées au stockage

Contraintes industrielles

- < 20 N.cm
- 20 – 30 N.cm
- 30 – 40 N.cm
- 40 – 50 N.cm
- 50 – 60 N.cm
- 60 – 100 N.cm
- > 100 N.cm



Comportement des radionucléides et des matériaux en conditions de stockage géologique



**Approches pluridisciplinaires et multi-échelles :
 acquisition - expérimentation - modélisation - simulation**

Grande variabilité et quantités importantes

- Catégories radiologiques

TFA à HA

- Natures physiques variées

Métalliques ferreux et non ferreux, Boues, REI, Mg, Graphite, Bitumes, Mercure, Dépôts (pateux, solides,...), Cendres, Béton, Terres, Liquides organiques Radioactifs, Effluents multiphasés, Déchets tritiés, B4C

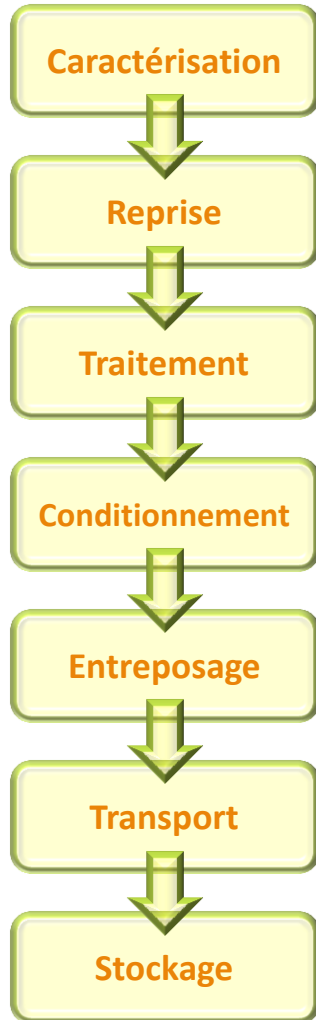
- Déchets potentiellement en mélanges, inhomogènes et mal connus

- Problématiques complexes associées à la gestion d'un nombre important de déchets issus de l'A&D

Déchets destinés filières FMA-VC, FA-VL, MA-VL, HA-VL

Déchets sans filière immédiate

| Identification | Type | Traitement/conditionnement envisagé/envisageable |
|--|----------------------------------|--|
| Déchets de structure du combustible UNGG (graphite, magnésiens, métalliques) | FMA-VC, FA-VL, MA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Cimentation (nouveaux liants) • Traitement chimique |
| Fûts d'enrobés bitumineux | FA-VL, MA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Reconditionnement (surfûtage) |
| Déchets technologiques α métalliques ou organiques | MA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Cimentation (par mortier) • Incinération/vitrification |
| Déchets de fosse MAR 400 (graphite/zéolithes) | FMA-VC, MA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Cimentation |
| Dépôts de fond de cuves UP1 - AVM | MA-VL, HA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Vitrification • Cimentation • Traitement chimique |
| Résines Echangeuses d'Ions | FMA-VC, MA-VL | <ul style="list-style-type: none"> • Cimentation • Incinération • Oxydation HydroThermale • Traitement chimique |
| Liquides Organiques Radioactifs | DSFI (TFA, FMA-VC, MA-VL, HA-VL) | <ul style="list-style-type: none"> • Minéralisation (OHT) • Minéralisation (plasma) • Incinération • Cimentation (géopolymères) |
| Déchets pollués au mercure | DSFI (TFA – FMA-VC) | <ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation (HgS)/Cimentation |
| Déchets tritiés (REI, filtres,...) | DSFI (FMA-VC) | / |
| Déchets amiantés (amiante libre) | DSFI (FMA-VC) | <ul style="list-style-type: none"> • Vitrification |



- **Caractérisation physico-chimique et radiologique** des déchets d'A&D
- Conception et **développement de procédés de reprise et de traitement** des déchets d'A&D
- **Formulation, caractérisation et qualification de matrices de conditionnement** des déchets d'A&D
- Conception et **développement de procédés de conditionnement** des déchets d'A&D
- **Comportement des colis en conditions d'entreposage, de transport et de stockage (Comportement Long Terme)**