

FROM RESEARCH TO INDUSTRY



PROGRAMME D'ETUDES DANS LE PROTOTYPE ASTRID POUR LA DEMONSTRATION DES CAPACITES DES TECHNOLOGIES POUR LA GESTION DU PLUTONIUM ET LA TRANSMUTATION

ARTICLE 11

13 Mai 2019, ASN

Eric Abonneau

"Le CEA élabore, en lien avec EDF et Areva, un programme d'études qui pourraient être menées dans le prototype mentionné au 1° de l'article 3 de la loi du 28 juin 2006 susvisée afin de démontrer, à une échelle représentative, la capacité des technologies proposées à :

- multi-recycler le plutonium contenu dans les combustibles usés en utilisant de l'uranium appauvri, en particulier les stocks de combustibles usés MOx issus des réacteurs à eau ;*
- stabiliser ou réduire les inventaires en plutonium par une consommation accrue de cette substance ;*
- transmuter l'américium.*

Le CEA présente dans ce programme les déchets radioactifs produits par ces technologies ainsi que les installations du cycle qui seraient nécessaires pour conduire ces démonstrations.

Le programme est remis au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2018. L'ASN est saisie pour avis sur ce programme."

Une réflexion menée entre les industriels et l'Etat et traduite dans la PPE et dans le Contrat de filière

Un constat d'éloignement dans le temps de la perspective de déploiement de RNR industriels

- Nécessité de maintenir les compétences et de progresser sur les challenges pour garder l'option ouverte



La fermeture du cycle réaffirmée comme un objectif de soutenabilité à long terme

Enjeux à moyen terme

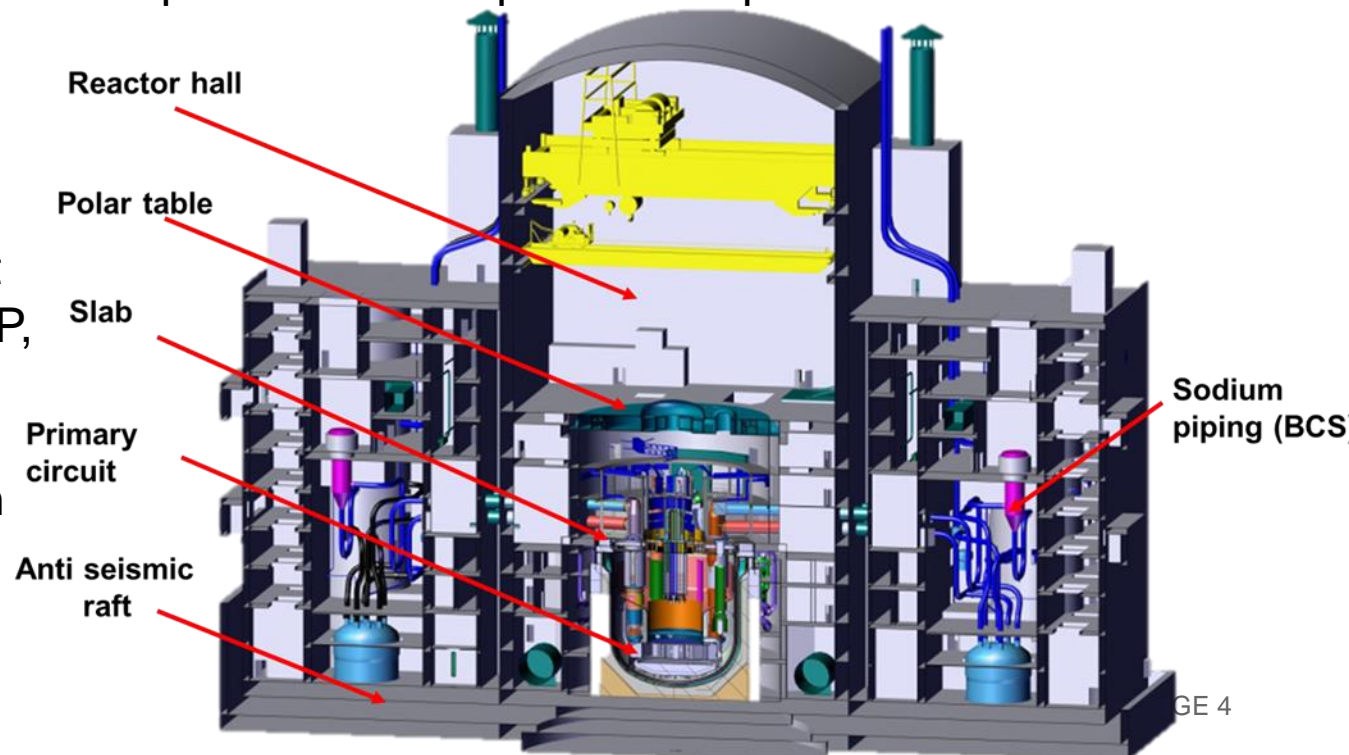
- ▶ Multirecyclage en REP = étape intermédiaire vers multirecyclage en RNR

Enjeux pour atteindre le recyclage complet sur le long terme

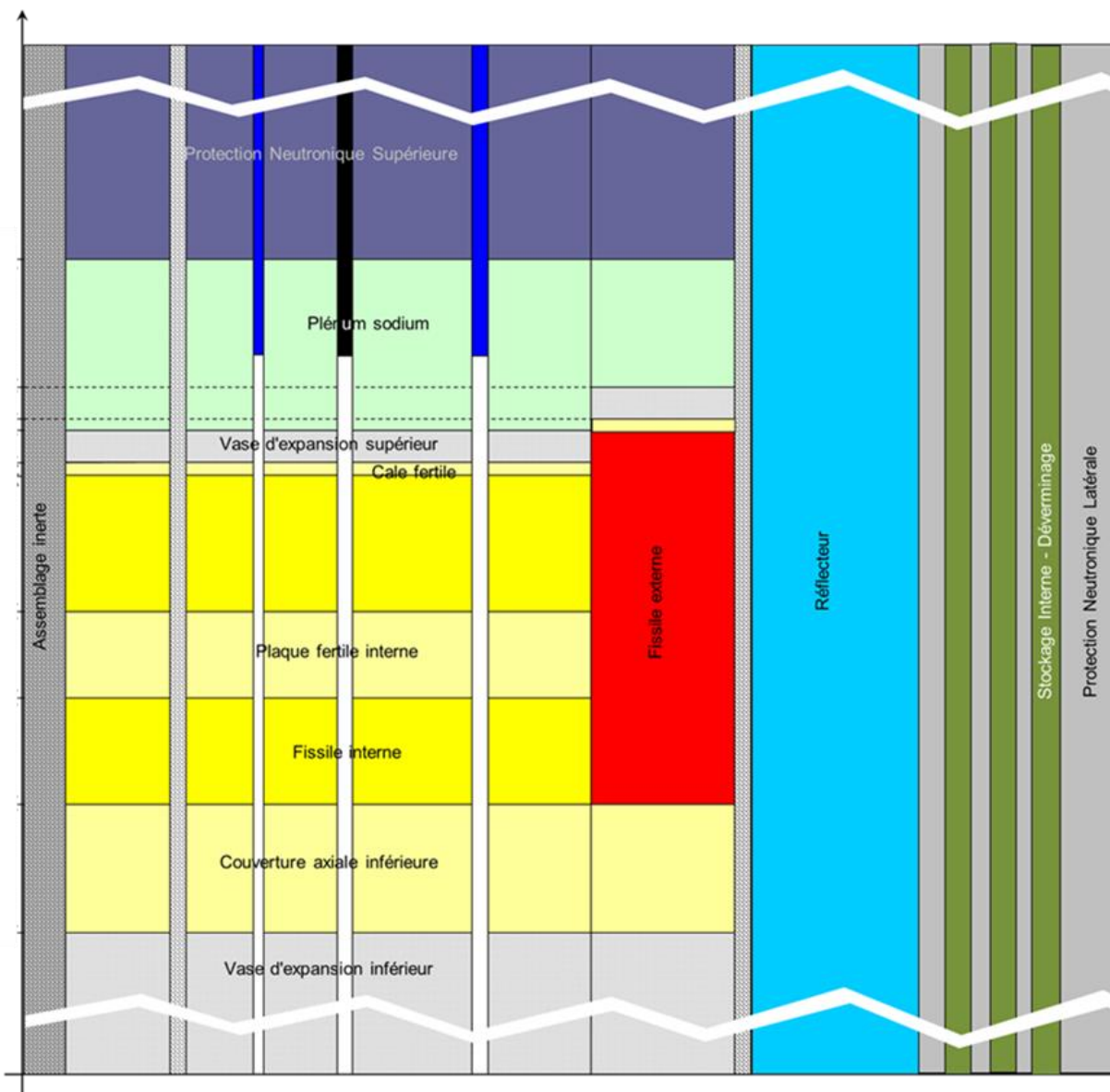
- ▶ Nécessité de recourir aux RNR et au multirecyclage des matières
- ▶ Filière RNR sodium la plus mature à consolider, mais intérêt d'évaluer d'autres technologies

OBJECTIFS PRINCIPAUX ALLOUÉS AU PROTOTYPE ASTRID

- Qui vise à démontrer, à une échelle représentative, les avancées technologiques en qualifiant au cours de son fonctionnement des options innovantes, dans les domaines de la sûreté, de l'opérabilité
- Dont le niveau de puissance est un compromis entre une valeur minimale suffisante pour permettre l'exploitation au réacteur commercial et une valeur haute limitant le coût et le risque industriel
- Qui permet de qualifier les options de conception et les performances des assemblages pour le multi recyclage du plutonium issu des combustibles usés, en particulier provenant des MOX issus des REP, pour la consommation accrue du plutonium et pour la transmutation de l'américium



LE CŒUR A FAIBLE COEFFICIENT DE VIDANGE



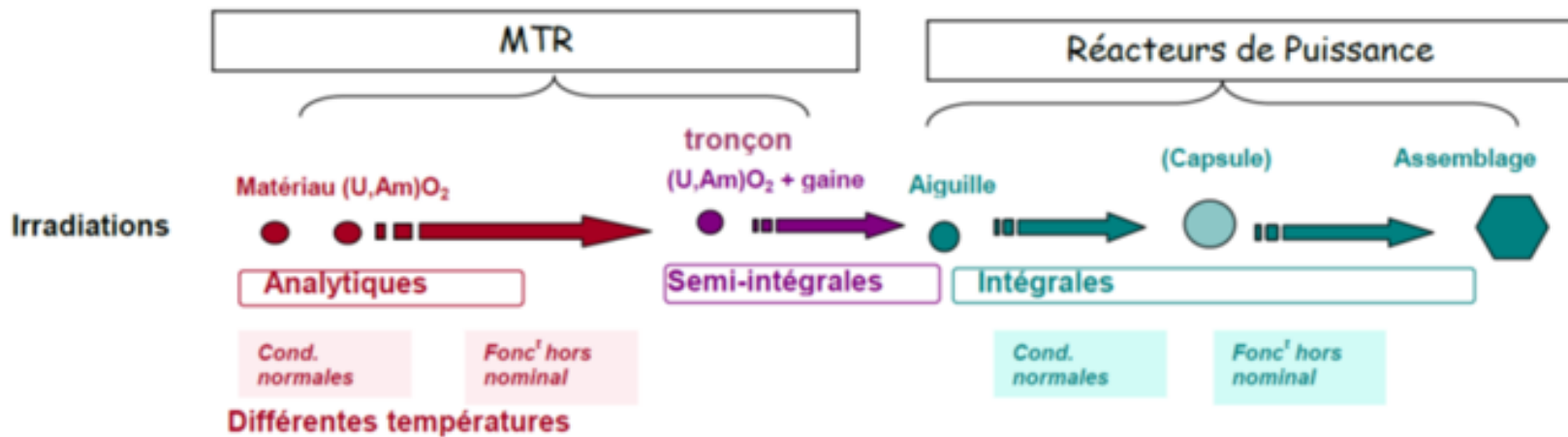
- Cœur hétérogène axial :
- Pastilles fissiles en MOX
- Pastilles fertiles en UOx appauvri
- Plénum sodium supérieur
- Réflecteurs puis protections latérales à l'extérieur

Fonctionnement et sûreté compatibles avec le traitement des matières nucléaires

Le potentiel expérimental tire bénéfice de la capacité des RNR à s'accomoder de différents vecteurs isotopiques,

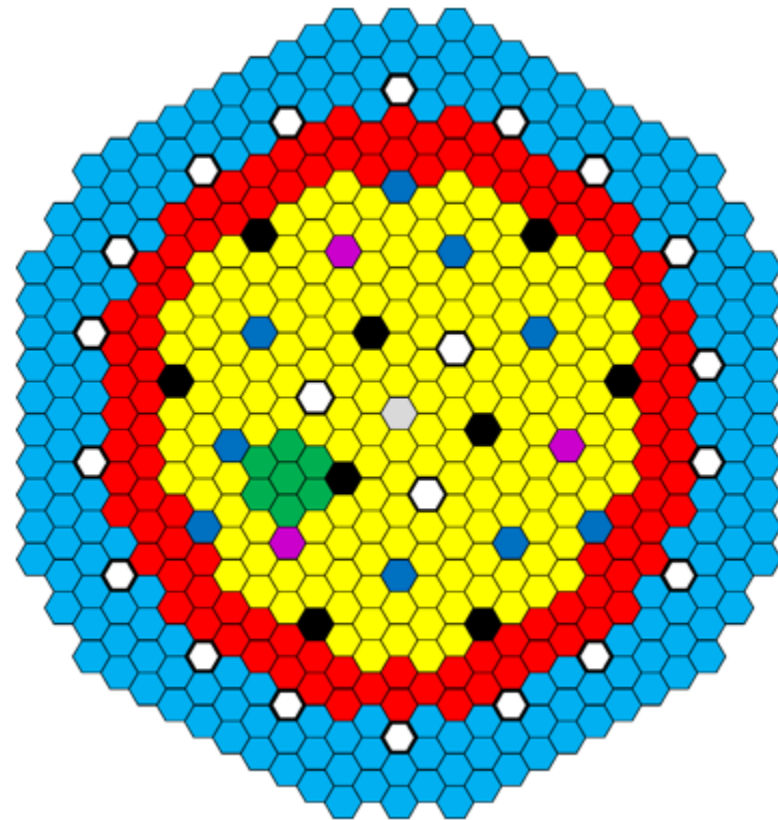
Les RNR peuvent fonctionner en mode isogénérateur, surgénérateur ou consommateur selon la politique de gestion des matières,

Le processus générique de validation/qualification d'un combustible :



Le vecteur isotopique du combustible est supposé issu du traitement de combustibles MOX-REP et représentatif du plutonium disponible au moment de la transition du plutonium issu d'UOX-REP vers le plutonium issu du MOX-REP.

Un pavé de sept assemblages est chargé en cœur interne. La durée d'irradiation de ces assemblages est la même que les assemblages combustibles standards soit 1440 JEPP.



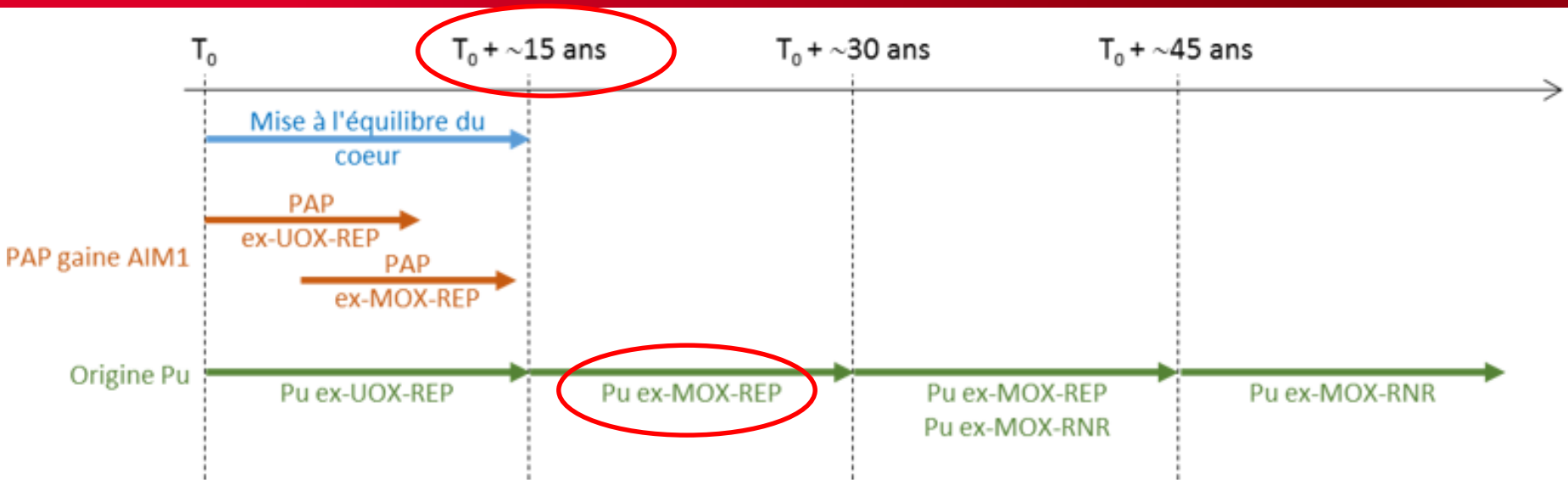
Implantation du pavé de 7 assemblages
(en vert)

Evolution du bilan matière dans l'assemblage central :

Eléments	Début de vie (0 JEPP) (kg)				Fin de vie (1440 JEPP) (kg)				Bilan (kg)
	Couverture axiale inférieure	plaque fertile interne	Milieu fissile	Somme	Couverture axiale inférieure	plaque fertile interne	Milieu fissile	Somme	
Np	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.05
Pu	0.00	0.00	15.60	15.62	1.20	1.56	14.00	16.82	1.20
Am	0.00	0.00	0.13	0.13	0.00	0.00	0.43	0.43	0.30
U	33.70	22.40	47.80	105.03	32.20	20.10	43.50	96.79	-8.24
Cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.06

Les assemblages expérimentaux étant envisagés en petit nombre, ils n'impactent que très faiblement l'efficacité du système absorbant, ainsi que les paramètres globaux de sûreté du cœur (coefficients de contre-réaction, effet Doppler...).

LE RECYCLAGE DU PU ISSU DES MOX REP 3/3



T_0 : Divergence du réacteur

PAP : Plan d'Augmentation des Performances (comprend les examens post irradiatoires)

Planning volontariste tenant compte d'irradiations faites en MTR

Durée de vie des assemblages : 720 JEPP au démarrage, 1080 à l'issue du PAP

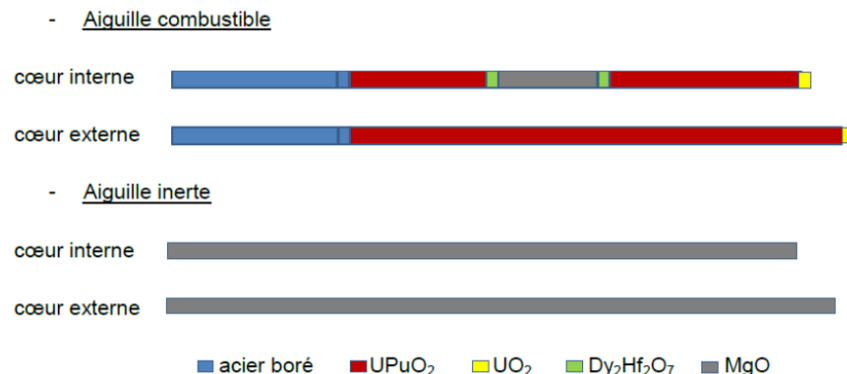
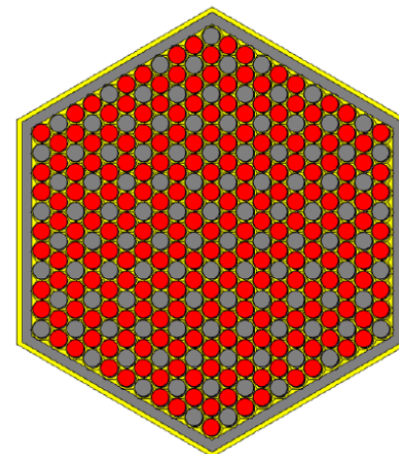
Calendrier dépendant des installations du cycle (fabrication et retraitement)

Historique des programmes du passé :

- Programme CAPRA (années 1990) : conception assemblage combustible consommateur de Pu, dans un cœur homogène de type SPX
 - Des examens sur des aiguilles expérimentales : IFOP (45% Pu, 1 at.%, dans OSIRIS), TRABANT (45% Pu, 12 at.%, dans HFR), CAPRIX (45% Pu, 11,7 at.% dans PX)
- Bon fonctionnement avéré

- aiguilles combustibles ●
- aiguilles inertes ●

469 aiguilles par assemblage dont le quart vide de combustible



Conception de l'assemblage brûleur (45% Pu pour maximiser l'impact sur le cœur)

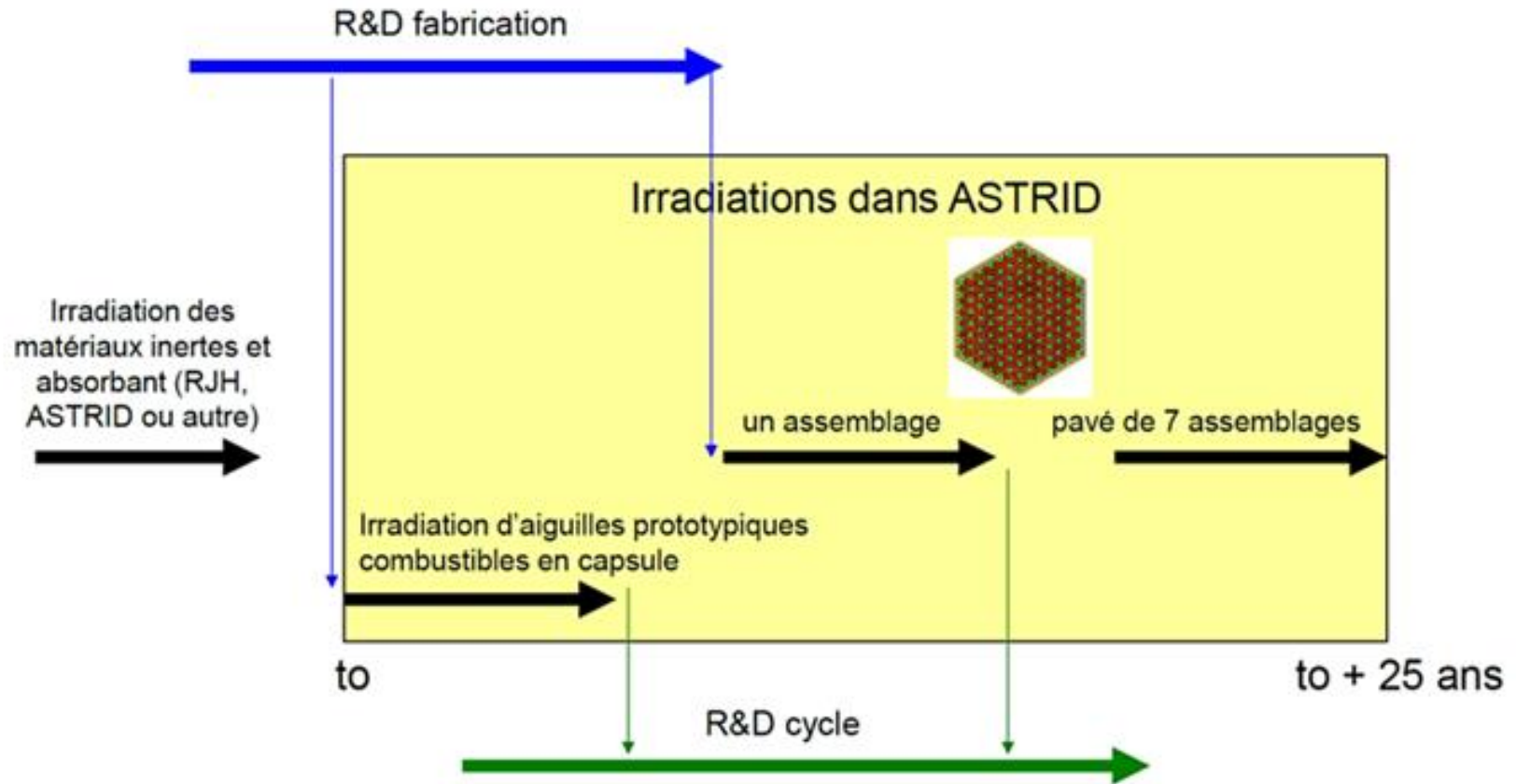
Evolution du bilan matière dans l'assemblage brûleur :

Eléments	Début de vie (0 JEPP) (Kg)	Fin de vie (1440 JEPP) (Kg)	Bilan (kg)
Np	0.00	0.01	0.01
Pu	15.00	11.50	-3.50
Am	0.12	0.44	0.32
U	17.60	15.40	-2.20
Cm	0.00	0.09	0.09

De par leur conception, les assemblages CFV-CAPRA ont un comportement très différent de celui des combustibles standards et la présence du pavé impacte donc plus sensiblement les performances cœur, en particulier l'évolution de la réactivité.

L'impact sur la nappe de puissance rend nécessaire une adaptation de ce programme expérimental (implantation du pavé CAPRA, réduction du nombre d'assemblages CAPRA, conception des assemblages CAPRA). Néanmoins, l'efficacité du système absorbant n'est que très faiblement impactée, ainsi que les paramètres globaux de sûreté du cœur (coefficient de contre-réactions, effet Doppler...) par la présence des assemblages expérimentaux du fait de leur faible nombre.

Volet calendaire :



To : mise à disposition de l'objet à irradier par les installations

Le Retour d'Expérience :

Plusieurs expériences sur différents oxydes candidats ont été menées pour la transmutation de l'américium :

En mode homogène : Superfact 1 (2%Am, 1988 dans PX), Am-1 (2-5%Am, 2008 dans JOYO), AFC-2C&2D (3%Am, 2%Np, 2010 dans ATR)

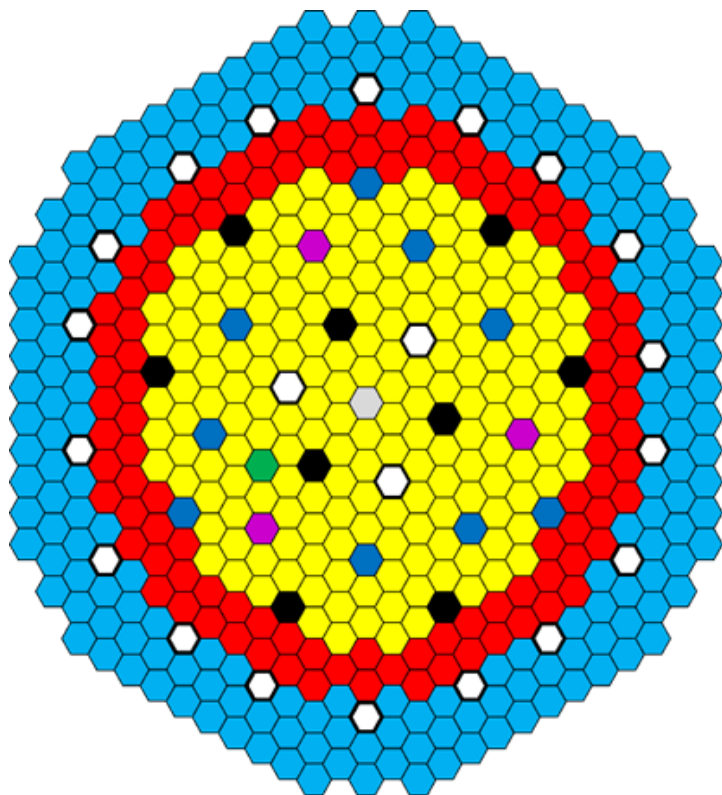
En mode hétérogène : Superfact (20%Am – 20%Np, 1988 dans PX), Marios (15%Am, 2012 dans HFR), Diamino (7,5 et 15%Am, 2015 dans OSIRIS)

Pour caractériser : redistribution des espèces fissiles, gonflement volumique, relâchements gazeux, corrosion chimique, interaction mécanique...

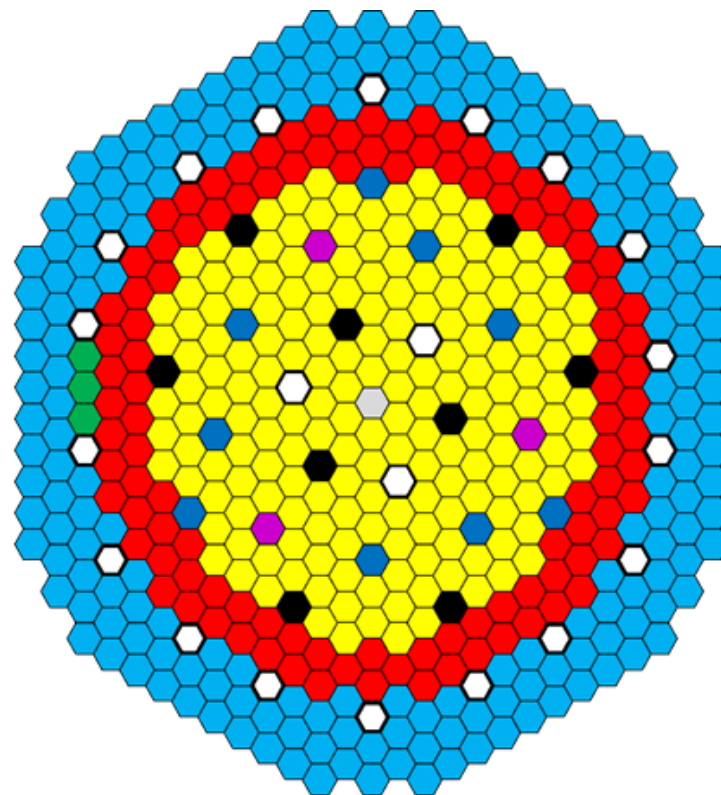
A la suite des examens post-irradiatoires, l'outil de calcul scientifique pour l'étude du comportement et des performances du combustible des RNR a pu être validé pour des combustibles homogènes jusqu'à 2%Am ou Np et jusqu'à 7at%

Cela correspond à une phase de faisabilité des concepts.

Configurations étudiées dans ASTRID : mode homogène (à gauche)
et mode hétérogène (à droite) (en vert)



2% Am



10% Am

en substitution de l'uranium

Evolution du bilan matière en mode homogène :

Eléments	Début de vie (0 JEPP) (kg)				Fin de vie (1440 JEPP) (kg)				Bilan (kg)
	Couvertur e axiale inférieure	plaque fertile interne	Milieu fissile	Somme	Couvertur e axiale inférieure	plaque fertile interne	Milieu fissile	Somme	
Np	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.06	0.06
Pu	0.00	0.00	14.90	14.94	1.32	1.68	12.90	15.96	1.02
Am	0.00	0.00	1.17	1.17	0.00	0.00	0.89	0.89	-0.28
U	33.70	22.40	47.60	104.79	32.00	19.90	42.70	95.67	-9.12
Cm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.14	0.14

Evolution du bilan matière en mode hétérogène :

Isotopes	Début de vie (0 JEPP) (kg)	Fin de vie (4320 JEPP) (kg)	Bilan (kg)
Np	0.00	0.13	0.13
Pu	0.00	11.70	11.70
Am	12.70	5.87	-6.83
U	112.00	99.60	-12.40
Cm	0.00	1.12	1.12

Ces assemblages impactent peu les paramètres de sûreté du cœur

La transmutation dans ASTRID :

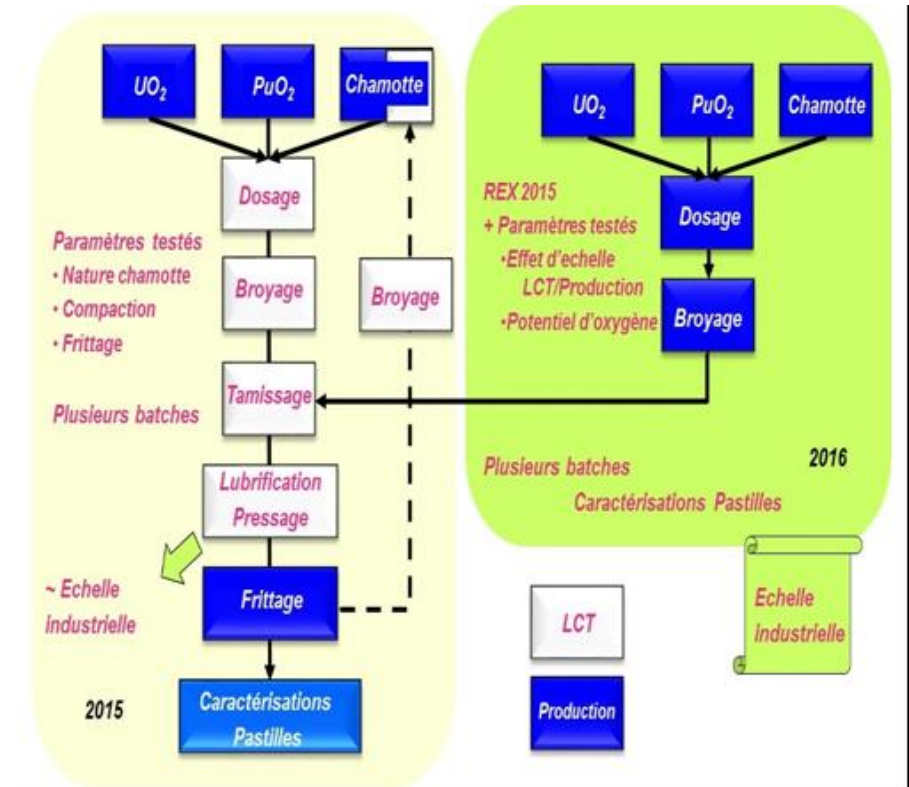
Les études menées lors de l'avant-projet d'ASTRID ont montré le potentiel du cœur CFV à transmuter les actinides mineurs en mode homogène (dilution dans le combustible) ou en mode hétérogène (sur support U appauvri) en périphérie du cœur dans une couverture chargée en actinides mineurs.

Confirmation de la faisabilité d'un programme expérimental de qualification à une l'échelle de l'assemblage pour la transmutation de l'américium en mode homogène et à trois assemblages contigus en première couronne en périphérie du cœur pour le mode hétérogène.

Ces programmes expérimentaux d'irradiations envisagés dans le réacteur ASTRID auraient permis de valider et de qualifier les procédés de fabrication et de traitement qui seront nécessaires pour le déploiement à une échelle industrielle si le besoin est confirmé. Des besoins complémentaires pourraient être nécessaires pour la démonstration des procédés mis en œuvre dans les installations du cycle (fabrication, traitement).

La fabrication des assemblages expérimentaux, comme pour la fabrication des assemblages combustibles nourriciers du réacteur, peut se décomposer en quatre étapes principales :

- obtention des poudres combustibles,
- fabrication des pastilles : pressage et frittage,
- constitution de l'aiguille combustible ; engainage, soudage des bouchons, mise en place du fil espaceur,
- montage de l'assemblage : formation du faisceau d'aiguilles et introduction dans le tube hexagonal.



Campagnes de fabrication de pastilles RNR dans MELOX

Actuellement, seule l'installation Atalante (CEA) pourrait fabriquer, à une échelle laboratoire, des pastilles combustibles $(U,Pu)O_2$ à teneur élevée en plutonium et des pastilles avec des teneurs en américium pouvant aller jusqu'à 15%

En cas de décision de réaliser un prototype RNR, un atelier de fabrication des assemblages nourriciers sera nécessaire (AFC, étudié avec ORANO), ainsi que pour réaliser ces différents produits.

Assemblage RNR avec du plutonium provenant de crayons MOX-REP :

- Isotopie Pu spécifique : thermique, criticité, radioprotection → cadence de fabrication
- Pastilles, aiguilles et assemblages faisables dans MELOX

Assemblage forte teneur plutonium pour consommation Pu :

- Optimisation fabrication pastilles à poursuivre (thermolyse-radiolyse...)
- Faisable dans l'AFC si nombre d'assemblages limité à quelques unités par an

Assemblage transmutation mode homogène :

- Procédé fabrication pastilles déjà au point ; pas limitant pour l'AFC

Assemblage transmutation mode hétérogène :

- Procédé fabrication pastilles déjà au point. Certaines phases nécessitent des cellules chaudes.
- ~ 1kg Am mobilisé → fabrication dans ATALANTE, uniquement possible pour une aiguille expérimentale
- Évaluation dans l'AFC étudiée : la thermique et la radioprotection imposeraient une robotisation de certains postes et des cellules chaudes

LES INSTALLATIONS DU CYCLE 3/3

	Pastilles	Aiguilles	Assemblages
Pu issu MOX	AFC Mélox Atalante	AFC Mélox Atalante	AFC Mélox
Forte teneur en Pu	Atalante	Atalante quelques aiguilles/an	AFC Mélox*
Mode homogène (UPuAm)O ₂ - 2% Am	Atalante	Atalante quelques aiguilles/an	-
Mode hétérogène (UAm)O ₂ - 10% Am	Atalante	Atalante ~1 aiguille ou tronçon d'aiguille/an	-

Transport des matières :

- Définis pour les assemblages du cœur nourricier
- Définition d'emballages spécifiques à prévoir pour la transmutation

Retraitement :

- Un atelier industriel TCP (Traitement des Combustibles Particuliers) est en cours d'étude pour le traitement de quantités pondérales reposant sur une dissolution en milieu nitrique suivie d'une digestion en milieu oxydant
- R&D optimisation des procédés en cours sur ATALANTE
- La récupération de l'Am nécessiterait un nouvel atelier (extraction sélective...)