

**Mission d'évaluation économique
de la filière nucléaire**

**La prospective technologique
de la filière nucléaire**

Juin 2000

Mission d'évaluation économique de la filière nucléaire

La prospective technologique de la filière nucléaire

**Jean BERGERON
Jean-Paul SCHAPIRA
Alain SIMON
Jean-Baptiste THOMAS**

Les opinions émises dans ce rapport sont de la responsabilité de leurs auteurs et n'engagent pas la mission. L'expertise réalisée par le groupe a été utilisée par la mission dans la préparation de l'étude économique.

Juin 2000

Sommaire

LA PROSPECTIVE TECHNOLOGIQUE DE LA FILIERE NUCLEAIRE	7
1. Objectifs et composition du groupe de travail « La prospective technologique de la filière nucléaire ».....	7
2. Le contexte de la filière nucléaire française	8
3. Les motivations des travaux du groupe.....	10
3.1. La maîtrise de l'inventaire plutonium	11
3.2. La minimisation de la production de déchets ultimes B, C ou combustibles usés	13
3.3. La minimisation des quantités de plutonium destinées au stockage géologique	13
4. Les hypothèses relatives aux scénarios électronucléaires prospectifs.....	15
4.1. Le parc actuel (scénario S6 du groupe « Le parc nucléaire actuel »)	16
4.2. Les parcs prospectifs	18
4.3. Les données du cycle du combustible	29
4.4. Les programmes de recherche	30
5. Résultats et conclusions.....	34
 <hr/>	
ANNEXE 1 – PRESENTATION DES SCENARIOS.....	39

ANNEXE 2 – DONNEES DE BASE REACTEURS..... 45

*ANNEXE 3 – PRESENTATION DES FLUX MATIERES
POUR LES DIFFERENTS SCENARIOS 53*

LA PROSPECTIVE TECHNOLOGIQUE DE LA FILIERE NUCLEAIRE

Bilans en flux physiques pour différents scénarios de parcs nucléaires futurs

1. Objectifs et composition du groupe de travail « La prospective technologique de la filière nucléaire »

Le Premier ministre a confié à Messieurs Jean-Michel Charpin, Commissaire au Plan, Benjamin Dessus, directeur du programme ECODEV au CNRS et René Pellat, Haut Commissaire à l'énergie atomique, une mission consistant à réaliser « *une étude sur les données économiques d'ensemble de la filière nucléaire, notamment l'aval du cycle du combustible nucléaire, y compris le retraitement, ... Cette étude intégrera les différents scénarios d'évolutions possibles jusqu'à un horizon qui permette de prendre en compte les coûts à long terme de l'aval de la filière.* ». Ces derniers, considérant que des progrès significatifs sont attendus au cours des prochaines années sur la technologie de la filière nucléaire (réacteurs, combustibles et cycles associés) pour améliorer l'exploitation et le coût de production du parc actuel, pour apprécier le potentiel de progrès de la filière nucléaire dans son ensemble aux plans de l'impact environnemental, de la compétitivité économique et de l'ensemble des facteurs fondant une décision publique, ont constitué un groupe de travail ad hoc¹, chargé d'établir des scénarios de prospective technologique pour la filière nucléaire jusqu'à l'horizon 2050.

Au départ, ce groupe était composé de Messieurs Jean-Paul Schapira, directeur de recherche au CNRS, Jean-Baptiste Thomas, directeur de programme des systèmes hybrides au CEA et Alain Simon, conseiller technique du Haut Commissaire à l'énergie atomique, personnes auxquelles s'est joint, par la suite, Monsieur Jean Bergeron, conseiller technique du Haut Commissaire à l'énergie atomique.

(1) Au total trois groupes de travail ont été constitués et ont opéré en parallèle : le groupe « Le parc nucléaire actuel » qui a travaillé sur le parc nucléaire actuel et sur les données économiques nucléaires, le groupe « La prospective technologique des filières non nucléaires » et le groupe « La prospective technologique de la filière nucléaires ».

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

2. Le contexte de la filière nucléaire française

Définie dans les années 1970, la politique nucléaire française était basée sur l'utilisation des réacteurs à eau pour produire de l'électricité ainsi que le plutonium nécessaire au déploiement, dans un deuxième temps des réacteurs à neutrons rapides (RNR) refroidis au sodium, en réponse à une raréfaction des ressources en uranium envisagée à cette époque. Le retraitement des combustibles usés des réacteurs à eau sous pression (REP) destiné à séparer le plutonium et le développement d'un réacteur à neutrons rapides, SuperPhénix, à vocation commerciale, constituaient les deux éléments clefs de cette stratégie.

Dans les années quatre-vingt, cette stratégie a dû être revue pour tenir compte du contexte déprimé des programmes nucléaires et de celui du marché de l'uranium, ainsi que du report prévisible de la filière RNR qui en découlait. C'est ainsi que fut recyclé dans les REP le plutonium résultant du retraitement réussi dans les usines de La Hague, sous forme de combustibles MOX¹. L'arrêt en 1997 de SuperPhénix devait résulter pour une large part de ce nouveau contexte.

Le retraitement des combustibles REP UOX² est réalisé à l'usine de La Hague depuis 1976 dans l'usine UP2 400, puis dans les usines UP3 et UP2 800 de capacité unitaire 800 t/an de combustibles usés qui ont démarré respectivement en 1989 et 1994. Les matières nucléaires recyclables (uranium et plutonium) sont séparées et les déchets de haute radioactivité sont conditionnés sous un faible volume : dans des verres pour les produits de fission à vie longue et les actinides mineurs, et par compactage (à partir de 2001) pour les coques et les embouts. On peut considérer que l'entreposage actuel des conteneurs de verres ainsi que des combustibles MOX usés provenant du mono-recyclage actuel du plutonium sera de longue durée (> 50 ans), ne serait ce que pour les laisser refroidir avant tout stockage en couches géologiques profondes.

Pour les prochaines années, les options choisies par EDF sont :

- un retraitement limité à 850 t/an³ de combustibles UOX sur les 1 150 t déchargés annuellement (1 050 t d'UOX + 100 t de MOX) et le recyclage du plutonium, sous la forme d'un chargement de 30 % de combustibles

(1) MOX : combustible mixte constitué d'oxydes de plutonium et d'uranium appauvri.

(2) UOX : combustibles à base d'oxyde d'uranium enrichi.

(3) Ce tonnage correspond à la capacité maximale de l'usine UP2 800 et est cohérent avec la future quantité d'UOX 55 GWj/t déchargée annuellement.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- MOX, dans 20 à 24 des 28 réacteurs 900 MWe des paliers CP1 et CP2 du parc. Cette limitation résulte de la volonté de limiter au minimum le stock de plutonium séparé et d'ajuster les quantités de combustible retraité au flux de plutonium recyclable dans le parc. Il est à noter que dans les conditions économiques actuelles, le premier recyclage du combustible MOX est quasi indifférent, et qu'un deuxième recyclage serait franchement négatif ;
- une augmentation par étape des taux de combustion et la recherche de la parité MOX/UOX pour diminuer le coût du kWh ;
 - un entreposage de longue durée des combustibles UOX (200 t/an¹) non retraités et des MOX (100 t/an²) dont le retraitement n'est aujourd'hui pas envisagé.

Ces options correspondent à une stratégie prudente et souple permettant à EDF, dans le contexte de compétition accrue des prochaines années, de s'assurer les flexibilités nécessaires pour réaliser au mieux, en fonction du contexte énergétique mondial, le raccordement avec les différentes options de l'aval du cycle nucléaire.

En complément de la stratégie industrielle, le rôle de la recherche est :

- Sur le **court terme**, de mener la R & D nécessaire à l'industrie nucléaire (EDF, COGEMA, FRAMATOME), pour améliorer les performances techniques et la compétitivité économique des installations existantes (parc de réacteurs, combustibles MOX et cycle du combustible).
- Sur le **moyen et long terme**, de fournir au gouvernement et à l'industrie les bases nécessaires pour exercer les choix les plus judicieux en matière énergétique. Pour ce faire, il est nécessaire de maintenir une offre technologique au meilleur niveau sur les combustibles, les procédés du cycle associés et les réacteurs, notamment :

(1) *L'augmentation des taux de combustion aura pour effet à terme de diminuer le tonnage annuel de combustibles déchargés et permettra de résorber la quantité de combustibles UOX non retraitée.*

(2) *Il est à noter que les combustibles MOX nécessiteront un entreposage de longue durée (150 à 300 ans) pour atteindre une puissance thermique résiduelle de l'ordre du kW par assemblage, équivalente à celle actuellement visée pour les assemblages UOX avant leur éventuelle mise au stockage direct.*

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- pour gérer le plutonium et les déchets nucléaires à vie longue du parc actuel dans les meilleures conditions de sûreté et de respect des populations et de l'environnement ;
- pour préparer le renouvellement du parc et des usines du cycle ;
- pour préserver à très long terme la possibilité de valoriser les matières fertiles en tant que ressources énergétiques comme l'uranium 238 ou le thorium 232 (voir graphe n° 1).

Enfin du côté des déchets, la loi du 30 décembre 1991 a fixé une démarche également prudente, en faisant évaluer d'ici à 2006 diverses voies de recherche possibles pour la gestion des corps radioactifs à haute activité et à vie longue présents dans les combustibles usés déchargés des réacteurs. Il s'agit d'une part des actinides mineurs et des produits de fission à vie longue qui sont en tout état de cause des déchets, et d'autre part du plutonium (et de l'uranium de retraitement) qui constitue une ressource énergétique valorisable tout en présentant un impact radiologique potentiel important.

3. Les motivations des travaux du groupe

L'industrie nucléaire, comme toute industrie classique, est engagée dans une démarche d'optimisation de la gestion de ses déchets consistant à séparer et recycler les matières valorisables, réduire, conditionner et stocker les déchets ultimes. L'aboutissement de cette démarche repose bien entendu sur des critères économiques, mais également sur des décisions politiques car c'est l'Etat qui réglemente le développement de cette activité au travers des trois axes sous contrôle que sont la recherche, la production d'énergie et les organismes de sûreté et de radioprotection.

L'industrie nucléaire se doit, comme toute autre industrie, d'assumer le coût de son impact sur l'environnement, en gérant notamment la matière énergétique que constitue le plutonium ainsi que les déchets ultimes.

L'inventaire des déchets radioactifs ultimes destinés au stockage définitif dépend de nombreux paramètres tels que : la capacité à retraiter, les performances des procédés de retraitement, les avancées sur les combustibles, et de la mise au point de nouvelles filières (parmi celles-ci, les réacteurs ou brûleurs à spectre de neutrons rapides sont les plus prometteurs) ; il dépend aussi, dans une moindre mesure, de la nature des déchets résultant du démantèlement des installations.

L'ensemble des progrès technologiques à venir sur le combustible, les procédés du cycle et les réacteurs visant à améliorer la consommation ou le recyclage des matières énergétiques et à minimiser l'inventaire radiologique des déchets ultimes à vie longue est donc à prendre en compte dans l'évaluation du potentiel technique et économique de la filière nucléaire.

Au plan physique, les quantités et la nocivité des déchets issus d'un combustible usé dépendent de la composition chimique (et isotopique) du combustible et du spectre de neutrons, déterminé pour une large part par la filière de réacteur choisie. On verra que l'analyse du groupe conduit à des propositions de systèmes (à inclure ensuite dans des études de scénarios) que l'on peut caractériser par trois paramètres : la technologie de la chaudière, le combustible et l'aval du cycle associé.

3.1. La maîtrise de l'inventaire plutonium

Le plutonium doit-il être considéré comme une matière énergétique valorisable ou un déchet ultime ?

Bien que le plutonium soit une matière fissile qu'il est possible de recycler dans les réacteurs à eau et *indispensable à long terme* pour la valorisation des matières fertiles, la réponse à cette question est *éminemment variable dans le temps* en fonction de l'évolution de paramètres économiques (la compétitivité du coût du kWh nucléaire vis-à-vis des autres sources d'énergie, le coût du retraitement et de l'uranium naturel, etc.), mais aussi de paramètres socio-politiques (débat sur le nucléaire, acceptabilité au plan de la sûreté à long terme et de la sécurité d'un entreposage de longue durée ou d'un stockage géologique contenant de grandes quantités de plutonium, etc.). Les combustibles usés et donc le plutonium qu'il contient, ne peuvent être considérés comme déchets ultimes qu'à partir du moment où la décision de ne pas les retraiter est prise. Actuellement, avec le mono-recyclage du plutonium dans les MOX, le stock de plutonium sans emploi défini contenu dans les MOX usés s'accroît d'une dizaine de tonnes par an.

La *stabilisation*, voire la réduction de l'inventaire plutonium avec le parc actuel de réacteurs *impliquent* respectivement le *multi-recyclage du plutonium et son maintien dans le cycle du combustible* (fabrication-combustion-refroidissement-retraitement). Le nombre de recyclages possibles du plutonium dans les combustibles MOX 45 GWj/t étant limité à un au plan économique et à deux ou

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

trois au plan technique¹, il est nécessaire de développer de nouveaux combustibles ne présentant pas ces inconvénients.

La contribution de l'énergie nucléaire à un développement durable implique de réduire autant que faire se peut les risques résiduels associés aux-déchets ultimes destinés au stockage profond et à plus long terme de valoriser les matières fertiles (voir graphe n° 1). En gros deux actions sont envisageables pour réduire les risques du stockage : confiner les produits (conditionnements spécifiques, barrières géologiques), réduire l'inventaire radiologique des produits à vie longue mis au stockage. Cette dernière approche implique une stratégie de séparation chimique (retraitement) puis de transmutation en réacteur (recyclage), appliquée en premier lieu au plutonium.

Pour préserver et étendre l'expertise acquise dans le domaine du retraitement et du recyclage, il importe de conserver vivantes ces techniques industrielles et de programmer des actions de R & D pour les améliorer. Dans le domaine du retraitement, on peut signaler les actions de nature à minimiser les rejets radioactifs gazeux et liquides telles que demandées par la convention OSPAR ou la simplification des procédés en relation avec un objectif de compétitivité économique, voire inventorier et explorer de nouveaux procédés présentant une rupture technologique comme la pyrochimie², laquelle permet le retraitement de combustibles irradiés peu ou pas refroidis et ainsi de réduire dans une proportion pouvant atteindre 50 % l'inventaire plutonium dans le cycle³. Enfin dans le domaine du recyclage, on doit garder et étendre l'expertise acquise avec le développement de nouveaux combustibles et de nouveaux concepts de réacteurs dédiés, comme ceux à sels fondus ou les systèmes sous-critiques assistés par accélérateur, qui permettent de traiter spécifiquement d'autres corps à vie longue que le plutonium, tels que les actinides mineurs et certains produits de fission (iode-129 par exemple).

(1) *Cette limitation est due à la dégradation de la composition isotopique et de la limitation enveloppe à 12,5 % de plutonium dans le combustible liée à une réactivité du cœur positive en cas d'accident de perte du fluide réfrigérant auxquelles il faut ajouter une limitation administrative de l'usine MELOX de fabrication des MOX.*

(2) *Ce procédé repose sur le pouvoir dissociant des sels fondus et sur la faible radiosensibilité des espèces chimiques. L'absence d'eau permet de relâcher les contraintes de criticité et ainsi d'aboutir à des installations beaucoup plus compactes.*

(3) *L'inventaire plutonium dans le cycle est fonction du temps de refroidissement des combustibles avant retraitement. Le temps moyen de refroidissement est aujourd'hui de 9 ans et a tendance à croître du fait de l'augmentation des taux de combustion et des problèmes posés par la tenue de l'extractant sous irradiation.*

3.2. La minimisation de la production de déchets ultimes B, C¹ ou combustibles usés

Cet objectif peut être atteint de diverses manières, par exemple :

- par l'augmentation du rendement énergétique des centrales électronucléaires en développant les réacteurs à haut rendement (RHR² - des rendements pouvant atteindre 50 % étant possibles pour certaines filières contre 34 % pour les REP actuels et 36 % pour l'EPR) ;
- par la mise en œuvre de spectres neutroniques mieux adaptés au recyclage des matières fissiles (en particulier du plutonium) ;
- par l'utilisation de combustibles au plutonium sur matrice inerte ou associé au thorium ;
- par des opérations de retraitement poussé suivies d'une incinération de certains PFVL³ et des actinides dans les réacteurs dédiés évoqués ci-dessus ;
- ou encore par la combinaison de plusieurs de ces solutions.

3.3. La minimisation des quantités de plutonium destinées au stockage géologique

De nombreux pays équipés de centrales nucléaires n'ont pas opté pour le retraitement des combustibles usés ou y ont renoncé. Nombre de ces pays qui effectuent des recherches sur l'option « stockage direct » des combustibles envisagent de sortir du nucléaire. A ce jour, il est délicat de se prononcer de façon objective sur les comparaisons technico-économiques des deux voies concurrentes : « retraitement, recyclage du plutonium, conditionnement et stockage géologique des déchets B et C » et « stockage géologique direct des combustibles usés » compte tenu du fait qu'aucun de ces stockages n'existe et qu'aucune solution de conditionnement n'est encore définitivement arrêtée pour

(1) Les déchets B sont les déchets de moyenne activité comportant une quantité de radio-isotopes à vie longue ne permettant pas leur stockage sur un site de surface comme le CSA à Soulaines. Les déchets C sont les déchets de haute activité, ils sont essentiellement formés des produits de fission à vie longue et des actinides mineurs conditionnés dans des matrices de verre et des coques et embouts. Dans l'analyse conduite par le groupe, les déchets B, C et les combustibles usés sans emploi défini ont été considérés comme destinés au stockage géologique.

(2) RHR : Réacteur à haut rendement.

(3) PFVL : Produits de fission à vie longue (I¹²⁹ ; Tc 99 ; Cs 135, etc.).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

rendre les combustibles usés et les colis de verres actuels acceptables dans un stockage géologique. Par contre, la démonstration de sûreté et donc l'acceptabilité de tels stockages seront en partie liées à la présence ou non de plutonium en quantités importantes. A titre d'exemple, un siècle de fonctionnement du parc français actuel nécessiterait l'enfouissement de l'ordre de 1 500 cœurs REP, soit une masse de plutonium de l'ordre de 1 000 tonnes et d'uranium irradié de 100 000 tonnes.

Parmi les risques liés à la présence de plutonium et qui sont pris en compte dans les études de sûreté on peut citer :

- le risque de criticité ;
- le risque de détournement résultant de la mine de plutonium, ce risque étant d'autant plus important que la réversibilité du stockage est facilitée ;
- après 1 000 ans de stockage, la prédominance du potentiel de radiotoxicité du plutonium susceptible de retourner à la biosphère en cas d'accident hors dimensionnement, etc.

Rappelons que le plutonium est le contributeur maximal à la radiotoxicité du combustible irradié sur une période d'un million d'années et il serait absurde de se préoccuper de la transmutation des actinides mineurs si le plutonium lui-même n'était pas traité.

Cette question prend d'autant plus d'importance que la gestion des déchets s'inscrit dans la durée. De plus, avec le niveau de consommation actuel du parc nucléaire mondial et les réserves d'uranium économiquement exploitables, se posera très vraisemblablement, à l'échelle du siècle, une pénurie de ressources en uranium 235 et la nécessité alors de recourir aux matières fertiles, uranium 238 ou thorium, ce qui nécessitera d'utiliser le plutonium dans les réacteurs. *Autrement dit, une filière nucléaire durable devra à terme valoriser à coup sûr le plutonium.*

Nous avons donc étudié au-delà des scénarios à recyclage multiple de plutonium (scénarios 2, 5 et 6, les scénarios 5 et 6 recyclant également les actinides mineurs) des solutions intermédiaires à deux recyclages, le premier étant un recyclage classique tel que pratiqué actuellement sous la forme de MOX et le deuxième recyclage ayant pour objectif principal de minimiser la quantité de plutonium dans les combustibles irradiés destinés au stockage direct (scénarios 3, 4 et 9). Leurs résultats doivent être comparer à ceux du scénario 1 (mono-recyclage sous forme de MOX tel qu'actuellement pratiqué) et aux scénarios avec arrêt du retraitement en 2010 (scénarios 7 et 8).

4. Les hypothèses relatives aux scénarios électronucléaires prospectifs

Le groupe de travail « Le parc nucléaire actuel » a étudié neuf variantes dévolution du parc nucléaire actuel au-delà de 2020. Le parc actuel de référence, pris en compte pour les scénarios prospectifs, correspond au scénario S6 (voir annexe 1) avec le recyclage du Pu sous forme de MOX dans les 28 REP des paliers CP1 et CP2 et une durée de vie moyenne des réacteurs (CPy, P4 et N4) de 45 ans. Ceci conduit à l'arrêt du dernier réacteur du parc actuel en 2049.

Deux scénarios prospectifs supposent un arrêt du retraitement en 2010 et par conséquent un arrêt du recyclage du Pu dans les CPy à partir de cette date. La période de simulation des scénarios prospectifs s'étale entre 2020 et la fin du parc de 2^{ème} génération (entre 2090 et 2110 suivant le scénario).

Il est à noter que les règles qui ont été initialement fixées par la mission au groupe de prospective nucléaire pour définir les parcs de deuxième génération consistaient :

- à figer la composition du parc en 2050 ;
- à calculer les bilans matières en déroulant ensuite l'exploitation jusqu'en 2070.

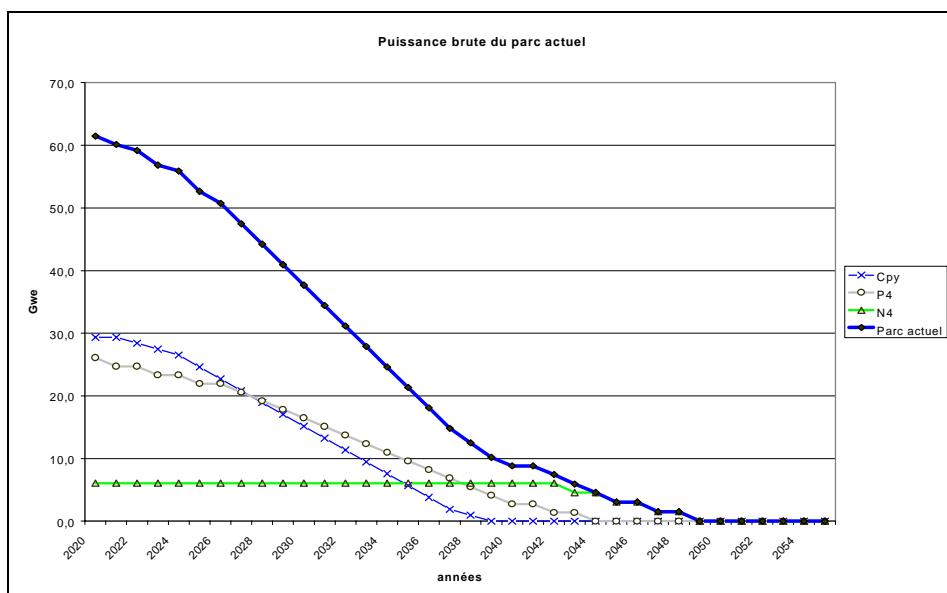
La composition du second parc a donc été définie en tenant compte du parc actuel et pour atteindre, en fonction des objectifs de chaque scénario, un pseudo-équilibre de fonctionnement en 2070. En particulier, le groupe ne s'est pas soucié d'optimiser la fin de vie du second parc, étant entendu qu'il s'est délibérément placé pour les objectifs les plus attractifs au plan prospectif dans le cadre d'un nucléaire durable, la fin de vie du second parc devant être naturellement prise en compte dans l'optimisation du parc de troisième génération. Il résulte de ceci que les bilans à la fin de vie du second parc ne sont donnés qu'à titre indicatif et ne doivent donc pas être pris en compte dans la comparaison.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

4.1. Le parc actuel (scénario S6 du groupe « Le parc nucléaire actuel »)

4.1.1. La puissance installée

A la fin de l'année 2019, le parc actuel sera composé de 4 CP0, 28 CPy, 19 P4 et 4 N4 soit une puissance brute installée de 62,4 GWe (puissance nette = 59,8 GWe). Au-delà, l'évolution de la puissance brute installée du parc actuel est donnée ci-dessous.



En 2020 le coefficient de production (Kp) est de 79 % ; ensuite, il augmente de 0,5 % par an pour atteindre une valeur stable de 85 % à partir de 2033.

4.1.2. Le bilan matières en 2020

Le point 0 des scénarios prospectifs est celui donné fin 2019, date où les bilans matières du parc actuel constituent le point de départ des parcs prospectifs (voir rapport du groupe « Le parc nucléaire actuel »).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Bilan du parc actuel avec recyclage du Pu sous forme de MOX dans les 28 Cpy pour l'année 2019 (données issues du rapport du groupe « Le parc nucléaire actuel »)

P brute installée	61,489 GW
Kp	79 %
Production annuelle	432 TWh
Taux de combustion UOX	57 GWj/t
Taux de combustion MOX	49 GWj/t
Teneur Pu MOX neuf	8,70 %
Enric. U235 (UOX)	4,60 %
Besoins en Unat	8 044 t
Besoins en MUTS	6,05
UOX chargés	841 t
Besoins retraitement	983 t
MOX chargés	135 t
MOX entreposés	3 115 t
UOX entreposés	8 979 t
Pu sans emploi	290 t
Déchets B conditionnés issus de l'exploitation des réacteurs	16 000 m ³
Déchets B conditionnés issus du retraitement	16 056 m ³
Déchets B conditionnés totaux	32 056 m ³
Déchets C conditionnés	17 630 (nombre de conteneurs)
Déchets C conditionnés	3 526 m ³ (0,2 m ³ par conteneur)

Les productions cumulées fin 2019, ci-après, ont été évaluées à partir des données issues du rapport du groupe « Le parc nucléaire actuel ».

Energie : 13 950 TWh
 Produits de fission : 1 700 tonnes
 Actinides mineurs : 75 tonnes

C'est à partir de ces inventaires que les scénarios des parcs prospectifs sont déroulés.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

4.2. Les parcs prospectifs

4.2.1. *Les caractéristiques des parcs prospectifs*

A partir des éléments précédents, plusieurs scénarios de prospective technologique ont été établis dans une démarche « évolutionnaire » pour le court terme, cherchant à rentabiliser les installations existantes, et franchement innovante pour le moyen et long terme, en intégrant les sauts et les ruptures technologiques à la fois sur le combustible, la chaudière et l'aval du cycle.

Cependant, et bien que les réacteurs à eau présentent les limites intrinsèques suivantes :

- en spectre neutronique, qui ne permettent pas d'accéder (sauf, par exemple, à passer en technologie « eau supercritique ») aux spectres rapides nécessaires au caractère omnivore et à l'isogénération ;
- en rendement thermodynamique et en affinité avec les technologies avancées développées sur de grands marchés industriels innovants non nucléaires (turbines à gaz, matériaux « hautes températures »).

Ils représentent, par leur retour d'expérience et leur capacité d'adaptation, un programme industriel au succès garanti. Celui-ci constitue un atout majeur et il est actuellement difficile d'envisager, au cours de la période 2020–2040, une relève du parc électrogène qui les écarterait.

Les scénarios électronucléaires prospectifs retenus couvrent les scénarios B2 (33 GWe), H2 et B3 (47 GWe) et H3 (85 GWe). Ils décrivent un large éventail de solutions mettant en jeu des parcs de réacteurs à une ou deux composantes (réacteurs à eau et réacteurs à haut rendement), des combustibles innovants, et des cycles du combustible ouverts avec abandon du retraitement en 2010, semi-fermés avec un ou deux recyclages du plutonium ou complètement fermés avec le multi-recyclage du plutonium ; ces dernières solutions permettent en outre d'envisager des cycles plus performants pour les PFVL et les AM¹ (recyclage).

Ces scénarios, proposés et étudiés par le groupe de travail « Prospective technologique de la filière nucléaire » jusqu'à l'horizon 2070, envisagent :

(1) AM : Actinides mineurs (Np ; Am ; Cm).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- une durée de vie moyenne du parc actuel de 45 ans ;
- une durée de vie des réacteurs EPR de 60 ans ;
- une durée de vie moyenne des réacteurs RHR-1 et RHR-2 de 40 ans ;
- une offre énergétique d'origine nucléaire en 2050 centrée sur 47 GWe (scénarios d'offre haute correspondant à H2 et basse correspondant à B3), avec une variante à 85 GWe (scénario d'offre haute correspondant à H3) et deux autres à 33 GWe (scénario d'offre basse correspondant à B2) ;
- un coefficient de production de 0,85 pour tous les nouveaux types de réacteur au-delà de 2020 ;
- jusqu'en 2020, le mono-recyclage du plutonium à 30 % dans les 28 réacteurs 900 MWe des paliers CP1 et CP2 du parc actuel pour les scénarios avec retraitement, et jusqu'en 2010 pour les scénarios avec arrêt du retraitement ;
- à partir de 2020, diverses possibilités de recyclage du plutonium dans le parc français de réacteurs à eau (EPR) sous la forme de combustibles avancés, tels que l'APA¹ ou un combustible MOX où l'uranium appauvri serait remplacé par du thorium ;
- pour la période 2030-2050 l'émergence d'une nouvelle composante du parc, basée sur des concepts de réacteurs à haut rendement (RHR), alimentés soit en plutonium, soit en uranium enrichi, l'intérêt de ces réacteurs étant une production moindre de déchets à vie longue et dans certaines conditions, liées à un combustible sans support fertile, une consommation accrue de plutonium et d'actinides mineurs.

Pour ce qui concerne les RHR, l'examen des critères de physique, de technologie et de dualité (partage de technologies avancées avec des secteurs industriels innovants disposant de marchés étendus et en expansion) oriente les études vers une nouvelle strate technologique, susceptible de satisfaire aux exigences du réacteur propre, constituée par :

- Un caloporeur gaz (hélium) à haute température permettant :
 - un rendement thermodynamique élevé ;
 - une architecture simplifiée (pas de circuit secondaire) ;
 - un relatif découplage vis-à-vis du choix du spectre et de la technologie combustible du fait de l'inertie chimique et de la transparence aux neutrons de l'hélium.

(1) APA : Assemblage combustible au Pu avancé.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Des combustibles avancés présentant l'aptitude :

- aux hautes températures ;
- aux taux de combustion élevés en spectre rapide ;
- au retraitement (RHR 2).

et la possibilité d'accéder à une mise en œuvre industrielle dans la période utile au renouvellement du parc actuel.

La première génération de réacteur à haut rendement est le concept RHR-1¹ ou RHT dans sa version GT-MHR² destinée à la dénaturation et à la combustion du plutonium militaire russe, mais aussi à l'exportation et capable d'applications spécifiques (par exemple cogénération ou production d'hydrogène). Un prototype de cette filière, appelée à se développer à l'international, pourrait apparaître dès 2010 et son introduction dans le parc français pourrait se faire vers 2030, à un niveau de puissance installée, dans l'attente de l'avènement du réacteur propre, ajusté au traitement du plutonium issu du retraitement des MOX (ce niveau de puissance pourrait se situer autour de 15 % de la puissance des réacteurs à eau du parc), ou utilisant de l'uranium enrichi en cas d'arrêt du retraitement des combustibles UOX et, a fortiori, de non retraitement des MOX.

La deuxième génération de réacteur de cette filière technologique est le RHR-2³ qui doit fonctionner *en spectre rapide et en recyclage* (combustible retraitable) pour brûler les transuraniens. Ceci suppose le *succès d'un important*

(1) *RHR-1 : réacteur à haut rendement de première génération. Ce réacteur est un réacteur à haute température, il se caractérise par une meilleure efficacité de conversion d'énergie (d'où pour une puissance donnée une réduction des déchets nucléaires), une technologie combustible sans support fertile qui contribue à minimiser la formation de Pu en réacteur et une meilleure protection de l'environnement. De par la nature du combustible et les hauts taux de combustion atteints (>200 GWj/t) le retraitement est difficile et a priori n'offre pas d'intérêt au plan économique.*

(2) *Framatome participe dans le cadre d'un programme international au développement d'un réacteur GT-MHR de 286 MWe, intrinsèquement sûr, dont la vocation est la dénaturation du plutonium militaire. Cette filière apparaît de par sa taille et ses caractéristiques économiques, attractive pour l'exportation ; elle met en œuvre des technologies potentiellement intéressantes pour le développement du réacteur propre et pour d'éventuels systèmes hybrides, ce qui, au-delà des actions de soutien apportées à l'industriel Framatome sur le projet GT-MHR, suscite un intérêt particulier du CEA.*

(3) *RHR-2 : réacteur à haut rendement de deuxième génération, intrinsèquement « omnivore », c'est-à-dire consommateur de noyaux lourds.*

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

programme de R & D sur le cœur, le combustible et son retraitement et l'adaptation de la chaudière du RHT.

L'apparition du RHR-2 est limitée par le calendrier de R & D et d'industrialisation des innovations chaudière, combustible et cycle nécessaires pour atteindre les propriétés recherchées. L'horizon associé se situe autour de 2040 et le niveau de puissance installée pourrait s'établir autour de 25-30 % de celle du parc, en fonction du scénario d'offre énergétique retenu (50 ou 80 GWe).

Les scénarios proposés consistent donc en des variantes du type « double composante » selon les termes adoptés dans les scénarios étudiés pour la CNE dans le cadre de la loi de décembre 1991 où l'EPR assure, en UOX, en MOX U/Pu ou MOX Th/Pu ou en APA, la part majoritaire de la production d'énergie ; il peut ensuite, au cours du temps, être assisté par une composante minoritaire de RHR-1 ou de RHR-2 assurant la *combustion du plutonium* produit par les EPR et éventuellement de certains actinides mineurs.

D'autres filières prospectives sont étudiées pour une mise en œuvre industrielle au delà de 2050, telles que les réacteurs à sels fondus, le cycle au thorium et les systèmes hybrides (voir § 5.2.2.3).

Parmi les neuf scénarios envisagés : six répondent à une offre énergétique de 47 GWe en 2050, correspondant aux scénarios d'offre H2 et B3, deux répondent aux scénarios d'offre basse B2 (33 GWe) et un au scénario cavalier seul H3 (85 GWe). Ces scénarios sont flexibles, ils permettent d'évoluer vers d'autres scénarios en fonction du contexte ; ils sous-tendent des efforts de R & D importants et d'intérêt générique qui concernent aussi bien le combustible, sa fabrication et son retraitement que les réacteurs.

En résumé, dans les différents scénarios décrits ci-après, on met en œuvre les réacteurs et les combustibles innovants suivants :

- EPR alimenté par du combustible UOX, UOX + MOX, APA, oxydes de Th-Pu ;
- RHR-1 Pu : réacteur à haut rendement en spectre thermique alimenté par du combustible au Pu placé dans du graphite ;
- RHR-1U : réacteur à haut rendement en spectre thermique alimenté par du combustible à base d'Uranium enrichi à 20 % en ^{235}U placé dans du graphite ;

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- RHR-2 Pu : réacteur à haut rendement en spectre rapide alimenté par du combustible à particules au Pu.

Les données relatives à ces réacteurs et à la gestion associée sont décrites dans des fiches « réacteurs » jointes en annexe.

La durée de vie des réacteurs est de 60 ans pour les EPR et de 40 ans pour les RHR-1 et les RHR-2.

4.2.2. *Les scénarios étudiés à partir de 2020*

Les scénarios retenus sont issus de propositions du groupe prospective nucléaire (scénarios 1 à 6) et de demandes explicites des membres de la mission (scénarios 7 et 8 avec arrêt du retraitement en 2010 et scénario 9). Les scénarios proposés par le groupe prospective nucléaire sont issus d'un travail de réflexion qui a porté, à partir de la situation actuelle, sur la vision la plus globale possible (réacteurs, combustibles, installations du cycle et traitement des déchets associés) de la filière nucléaire dans le but d'assurer son acceptabilité et sa pérennité. Les nouveaux combustibles et réacteurs proposés dans les scénarios résultent des analyses et études menées sur les innovations porteuses de progrès pour une filière nucléaire compétitive, sûre et respectueuse de l'environnement ; ces analyses et études ont conduit sur la base d'une analyse multicritère à écarter d'ores et déjà un certain nombre de concepts ou d'options prises en compte par les travaux sur l'aval du cycle réalisés par MM. Mandil et Vesseron (1996-1997).

Un examen des programmes de R & D sur l'ensemble de ces prospectives technologiques est en cours. Il devrait permettre de proposer d'une part un premier plan quadriennal au CEA axé sur le développement de scénarios et d'études de faisabilité technique des concepts et d'autre part un plan à plus long terme visant le développement des technologies les plus attractives avec pour objectif d'offrir, le moment venu, une large palette de solutions susceptibles de justifier les choix industriels du futur.

4.2.2.1. Scénarios pour le parc du futur impliquant le retraitement total ou partiel des combustibles

Scénario 1 - Appellation **1-47-EPR-MOX** - mono-recyclage du plutonium sous forme de MOX dans le REP et les EPR.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Le Pu issu du retraitement des combustibles UOX déchargés annuellement est recyclé à flux tendu dans les 28 réacteurs 900 MWe des paliers CP1 et CP2 du parc actuel, chargés au maximum à 30 % de combustibles MOX jusqu'à leur fin de vie. A partir de 2020, ce scénario envisage le remplacement des réacteurs REP arrivés en fin de vie par des réacteurs à eau avancés (EPR) de façon à maintenir une puissance brute constante de l'ordre de 47 GWe. Le plutonium issu du retraitement des UOX est alors recyclé dans les réacteurs EPR, en parallèle aux réacteurs des paliers CP1 et CP2 jusqu'à l'arrêt de ces derniers. Les combustibles MOX usés ne sont pas retraités, ils sont entreposés en vue d'un retraitement différé ou d'un stockage direct. Ce scénario est la référence actuelle et n'implique que la R & D spécifique concernant l'augmentation des performances des combustibles MOX.

Scénario 2 – Appellation **2-47-EPR-APA** - multi-recyclage du plutonium sous forme de combustible APA dans les EPR (cycle du plutonium fermé).

La période 2000-2019 est identique à celle du scénario 1 (mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les 28 réacteurs 900 MWe des paliers CP1 et CP2 du parc REP). A partir de 2020, ce scénario envisage le remplacement des réacteurs REP arrivés en fin de vie par des réacteurs à eau avancés (EPR) de façon à maintenir une puissance brute constante de l'ordre de 47 GWe. Le Pu issu du retraitement des combustibles MOX est multi-recyclé sous forme de combustibles avancés au plutonium (APA) dans les EPR. Le nombre de réacteurs EPR chargés de combustibles APA ne concerne qu'une fraction du parc et est fonction de la disponibilité en plutonium.

On retraite en fonction des besoins en Pu les combustibles UOX, MOX et APA. Un important programme de R & D portant sur les matrices inertes, la fabrication et la qualification de ces combustibles est en cours de lancement au CEA. Le concept APA en constitue la ligne principale, mais au cas où l'APA ne déboucherait pas au plan industriel, d'autres solutions de repli (Corail, Duplex) conservant le principe d'un recyclage du plutonium en assemblages combustibles avancés sont envisagés.

Scénario 3 – Appellation **3-47-EPR-MOX-Th** - deuxième recyclage du plutonium sous forme de combustible PuO₂/ThO₂ dans les EPR (cycle du plutonium semi-fermé).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Ce scénario est identique aux scénarios 1 et 2 pour la période 2000-2019. A partir de 2020, ce scénario envisage le remplacement des réacteurs REP arrivés en fin de vie par des réacteurs à eau avancés (EPR) de façon à maintenir une puissance brute constante de l'ordre de 47 GWe. Au-delà de 2020 le mono-recyclage du plutonium, sous la forme de combustible MOX, se poursuit dans les REP, puis dans les EPR au fur et à mesure que les réacteurs CPy sont arrêtés. A partir de 2040, les MOX sont retraités et le plutonium issu de ce retraitement fait l'objet d'un deuxième recyclage dans un combustible à base d'oxyde de plutonium sur une matrice d'oxyde de thorium dont le but est d'allonger le cycle et de mieux épuiser le plutonium. La proportion d'EPR chargés de combustibles MOX et d'EPR chargés de combustibles (Th/Pu)_{O₂} est fixée par la disponibilité en Pu contenu dans les combustibles UOX et MOX irradiés. Les combustibles (Th/Pu)_{O₂} sont entreposés et sont destinés au stockage direct. Ces combustibles PuO₂/ThO₂ n'ont pas vocation à être retraités, le but de ce deuxième et dernier recyclage est d'épuiser au mieux le plutonium avant l'envoi du combustible au stockage direct.

Après 2030 on peut distinguer deux familles de scénarios :

Les scénarios dits à double composante, où le parc est constitué de réacteurs à eau et de réacteurs à haut rendement incinérant le plutonium et partie des AM et des PFVL. Le but de ces scénarios est de fermer en partie ou en totalité le cycle du plutonium tout en diminuant la quantité de déchets ultimes susceptibles d'aller au stockage géologique.

Scénario 4 – Appellation 4-47-EPR-MOX+RHR-1Pu - Introduction des RHR-1 (cycle du plutonium semi-fermé).

Ce scénario est identique jusqu'en 2030 aux précédents. A partir de 2030, ce scénario prend en compte l'introduction de réacteurs RHR-1 (réacteur à haut rendement en spectre thermique), en double composante des réacteurs à eau (REP + EPR). Les réacteurs des paliers CP1 et CP2 continuent le mono-recyclage MOX jusqu'à leur arrêt puis dans les EPR au fur et à mesure que les réacteurs CPy sont arrêtés. Les réacteurs RHR-1 sont alimentés par le plutonium issu du retraitement des MOX de façon à épuiser au mieux le plutonium. Le rythme d'installation se fait de façon à maintenir la puissance brute installée de l'ordre de 47 GWe. La proportion d'EPR chargés de combustibles MOX et de RHR-1 est fixée par la disponibilité en Pu contenu dans les combustibles UOX et MOX irradiés. On retraite en fonction des besoins en Pu les combustibles UOX et MOX. Cette option, grâce à son

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

combustible et ses hauts taux de combustion, permet de brûler des quantités significatives de plutonium et, grâce à l'augmentation du rendement thermodynamique, permet d'engendrer moins de déchets radioactifs.

De plus, le combustible peut être constitué de plutonium sur matrice thorium. Les combustibles RHR-1 usés, dont le retraitement est difficile, se présentent sous une forme physico-chimique passive (particules de matières fissiles enrobées) attrayante sous réserve d'études approfondies pour un stockage géologique direct¹. Son but est identique à celui du scénario 3, c'est-à-dire effectuer un deuxième et dernier recyclage pour épuiser au mieux le plutonium avant l'envoi du combustible au stockage direct.

Scénarios 5 et 6 – Appellations 5-47-EPR-MOX + RHR-2 et 6-85-EPR-MOX + RHR-2 - Introduction des RHR-2 ou réacteurs propres (cycles du plutonium et des actinides mineurs fermés)

La partie générique de ces scénarios jusqu'en 2040 est identique au scénario 1. A partir de cette date une nouvelle génération de réacteurs à haut rendement RHR-2, « omnivores », économiquement compétitifs, dont la technologie découle des réacteurs RHR-1, à base de combustibles (Pu + AM) et d'un spectre de neutrons adapté², est introduite en double composante d'un parc EPR où seul un mono-recyclage du plutonium sous forme de MOX aurait été effectué. Le rythme d'installation se fait de façon à maintenir la puissance brute installée de l'ordre de 47 GWe pour le scénario 5 et de façon à atteindre progressivement 85 GWe en 2050 pour le scénario 6. La proportion d'EPR, chargés de combustibles MOX, et de RHR-2 est fixée par la disponibilité en Pu contenu dans les combustibles UOX, MOX et RHR-2Pu irradiés. On retraite en fonction

(1) Bien qu'en apparence contraire à l'objectif de minimisation de la quantité de plutonium envoyée au stockage géologique (cf. § 3.3) un tel scénario a été retenu compte tenu de son caractère transitoire associé au tonnage limité de plutonium concerné.

(2) Le concept de réacteur « omnivore » repose aujourd'hui sur des choix de physique (spectre à neutrons rapides) et non de technologies. Les choix technologiques mettront à profit les progrès des techniques non-nucléaires, par exemple pour les caloporeurs les développements réalisés sur le gaz et l'eau supercritique, et chercheront à développer des techniques présentant des synergies avec plusieurs concepts de réacteurs de façon à donner naissance à un réacteur simple (cycle gaz direct) et performant (rendement thermodynamique élevé) tout en limitant l'ampleur des programmes de R & D.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

des besoins en Pu les combustibles UOX, MOX et RHR-2Pu. En parallèle, à partir de 2040, on met en œuvre la séparation poussée et on recycle sous forme homogène les actinides mineurs (Np, Am et Cm) dans les RHR-2Pu.

Le but de ces scénarios est d'introduire en double composante des réacteurs capables de fermer le cycle du plutonium produit par les réacteurs à eau et de brûler tout ou partie de ses propres déchets, voire des déchets provenant des réacteurs à eau (AM).

Scénario 9 - Appellation **9 33-RHR-1 Pu-U 20 %** – Introduction de RHR-1 alimentés par un combustible à base de Pu, puis après épuisement du Pu par un combustible U à 20 % d' ^{235}U (cycle du plutonium semi-fermé jusqu'à environ 2050, puis ouvert).

Le plutonium contenu dans les combustibles UOX irradiés est recyclé sous forme de MOX dans les 28 CPy. Les réacteurs actuels en fin de vie ne sont pas remplacés jusqu'en 2030, date à partir de laquelle on installe des RHR-1, alimentés par du combustible au Pu, de façon à maintenir une puissance brute installée de l'ordre de 33 GWe. Le Pu contenu dans les combustibles MOX puis UOX est recyclé dans les RHR-1. Dès que le Pu contenu dans les UOX et les MOX est épuisé, les RHR-1Pu sont transformés en RHR-1U alimentés par du combustible à base d'uranium enrichi à 20 % d' ^{235}U . Les combustibles UOX et MOX sont retraités, les combustibles RHR-1Pu et RHR-1U sont entreposés pour refroidissement en attente de stockage direct.

4.2.2.2. Scénarios d'évolution du parc du futur en cas d'arrêt du retraitement en 2010

Scénario 7 – Appellation **7-47-EPR-UOX** - Arrêt du mono-recyclage du plutonium sous forme de MOX en 2010 (cycle du plutonium ouvert).

Ce scénario est identique au scénario 1 jusqu'en 2006 (terme de la loi du 31 décembre 1991), il suppose qu'à cette échéance soit prise la décision d'arrêter la politique de retraitement recyclage. Il se traduit par un arrêt effectif du retraitement en 2008 et du recyclage des combustibles MOX dans les 28 réacteurs des paliers CP1 et CP2 en 2010. A partir de 2020, on installe des réacteurs EPR de façon à maintenir une puissance brute constante de l'ordre de 47 GWe. Au-delà de 2010, le parc nucléaire, constitué uniquement de réacteurs à eau (REP actuels, puis REP + EPR), n'est plus alimenté qu'avec des

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

combustibles UOX (fonctionnement en cycle ouvert). Les combustibles MOX accumulés avant 2010 et les combustibles UOX déchargés après 2010 sont entreposés pour refroidissement en attente de stockage direct.

Scénario 8 – Appellation 8-33-RHR-IU - Introduction des RHR-1 alimentés par un combustible à l'uranium enrichi (cycle du plutonium ouvert).

Comme dans le scénario 7 le mono-recyclage du combustible MOX dans les réacteurs des paliers CP1 et CP2 s'arrête en 2010. Au-delà de 2020 et jusqu'en 2030 les réacteurs REP arrêtés ne sont pas remplacés. A partir de 2030, il n'est introduit dans le parc que des réacteurs RHR-1, alimentés en combustibles à base d'uranium enrichi (20 % U235). Les RHR-1 sont installés de façon à maintenir une puissance brute installée de l'ordre de 33 GWe (scénario d'offre B2). Le fonctionnement du parc au-delà de 2030 se poursuit en cycle ouvert (pas de retraitement des combustibles usés). Les combustibles UOX et les combustibles RHR-1U sont entreposés pour refroidissement en attente de stockage direct.

4.2.2.3. Scénarios très innovants à considérer comme des alternatives globales

D'autres scénarios pourraient être imaginés, ils constituent aujourd'hui des alternatives globales aux autres options qui bénéficient d'une avance et d'un retour d'expérience importants, de ce fait leur développement nécessite des programmes de R & D particulièrement lourds.

Parmi eux on peut citer :

- L'introduction d'un nouveau concept de réacteur : le réacteur à sels fondus (RSF).

Ce type de réacteur possède des avantages potentiels intéressants de compacité, de gestion en ligne des déchets et, associé au retraitement pyrochimique, de minimisation de l'inventaire plutonium. Ces avantages lui confèrent un attrait suffisant pour qu'un programme conséquent de R & D soit mené sur l'étude de ses points durs (caractérisation d'un sel en spectre rapide, matériaux, corrosion et conception chaudière associés et retraitement pyrochimique).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- Le passage du cycle uranium au cycle thorium. Le cycle du thorium dans les réacteurs nucléaires, évoqué dès le milieu des années cinquante, a connu des périodes de grande activité suivies d'un oubli quasi total.

Les vertus premières du thorium sont :

- son abondance - Sa période étant trois fois plus élevée que celle de l'²³⁸U ($1,4 \times 10^{10}$ ans), les réserves sont plus importantes et mieux réparties ;
- les qualités neutroniques dans les domaines thermique et épithermique de l'²³³U, isotope fissile provenant de l'irradiation du ²³²Th avec un rapport production/absorption par fission = 2,29, ce qui permet d'envisager la surgénération dans un spectre thermique ;
- la réduction de la radiotoxicité potentielle. Élément plus léger que les uranums et plutonums, le ²³²Th produit moins d'actinides mineurs (américium et curium). On admet généralement une réduction d'une à deux décades de la radiotoxicité potentielle à 10 000 ans mais à très long terme (un million d'années) la nuisance serait équivalente ou supérieure à celle du cycle uranium-plutonium ;

Les inconvénients de l'utilisation du thorium sont :

- le ²³²Th n'est pas fissile en réacteur. Il faut donc amorcer le cycle en le mélangeant avec un corps fissile: ²³⁵U, ²³⁹Pu ;
- dans un combustible (Th, ²³³U), il se forme, sous irradiation, de l'²³²U (période de 70 ans) par réaction $n, 2n$ sur l'uranium 233. La décroissance de celui-ci conduit à deux émetteurs gamma de forte énergie: le ²⁰⁸Tl ($E\gamma = 2,6$ MeV, $T = 3$ mn, β) et le ²¹²Bi ($E\gamma = 1,8$ MeV $T = 1h30$, β ; $T = 3h$, α), gênants pour toutes les opérations de manutention (recyclage, fabrications, transport, stockage,...) et qui nécessiteront des chaînes blindées et robotisées coûteuses. Paradoxalement cette difficulté se transforme en vertu quand il s'agit de non-prolifération.

Les scénarios dits « double strate » pour lesquels le plutonium est recyclé dans des réacteurs électrogènes de nouvelle génération (RHR-1, RHR-2,...) et les AM et PFVL dans des réacteurs dédiés (systèmes hybrides ou autres) pour lesquels la compétitivité de la production d'électricité n'est pas prioritaire. Là encore d'importants programmes nationaux et internationaux de R & D sont menés pour évaluer leur faisabilité, mais il est peu probable que ces réacteurs dédiés soient industrialisables avant 2050.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Les programmes de R & D correspondant comportent une première étape d'évaluation et de R & D générique sur les dix ans à venir. Il faut remarquer que les technologies développées pour les RHR sont en synergie avec celles des systèmes hybrides étudiés dans le cadre de la loi de 1991.

Ces scénarios, originaux sur de nombreux points, ne peuvent aujourd'hui être considérés comme matures, au regard des contraintes technologiques, de sûreté et de compétitivité, avant 2050. En conséquence, le développement détaillé de ces scénarios ne sera pas effectué dans le cadre qui a été fixé pour cette étude.

4.3. Les données du cycle du combustible

Au-delà de 2020, les taux de combustion moyens des différents combustibles sont les suivants :

- UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035, 64 GWj/t au-delà ;
- MOX : 49 GWj/t jusqu'en 2035, 55 GWj/t au-delà ;
- (Th-Pu)O₂ : 60 GWj/t ;
- APA : 89 GWj/t ;
- RHR-1U : 130 GWj/t ;
- RHR-1Pu : 609 GWj/t ;
- RHR-2 Pu : 480 GWj/t.

Le temps minimum de refroidissement adopté avant retraitement est de 5 ans, le temps de vieillissement du Pu entre retraitement et chargement en réacteur est de 2 ans.

Les volumes des déchets B, C et combustibles irradiés conditionnés ont été évalués avec les hypothèses suivantes :

- déchets B issus du retraitement : 0,27 m³/tonne métal lourd de combustible retraité ;
- déchets C issus du retraitement : 0,11 m³/tonne métal lourd de combustible retraité.

Ces deux données sont issues du rapport du GT « Le parc nucléaire actuel » (page 15 de la fiche n° 8) :

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

- déchets B issus des réacteurs : $0,1 \text{ m}^3/\text{an}/\text{tranche de REP}$;
 $0,05 \text{ m}^3/\text{an}/\text{tranche de RHR}$;
- combustibles irradiés REP ou EPR : $2 \text{ m}^3/\text{tonne de métal lourd}$;
- combustibles irradiés RHR-1U : $8 \text{ m}^3/\text{tonne de métal lourd}$;
- combustibles irradiés RHR-1Pu : $31 \text{ m}^3/\text{tonne métal lourd}$.

Le volume des combustibles irradiés conditionnés des RHR-1 est supposé être le double du volume du combustible.

Dans les scénarios sans retraitement ou dès que le retraitement s'arrête, les combustibles irradiés entreposés sont supposés conditionnés pour le stockage direct.

L'ensemble des déchets B, et C accumulés avant 2020 sont pris en compte dans les inventaires des déchets conditionnés des différents scénarios prospectifs.

4.4. Les programmes de recherche

4.4.1. Les objectifs des programmes de recherche

Les recherches menées selon les trois objectifs ci-dessus auront un effet déterminant - de par les types de réacteur et les spectres neutroniques mis en jeu, la nature des combustibles, leur retraitabilité et le recyclage des matières nucléaires - sur la nature, la quantité et le conditionnement des déchets radioactifs ultimes à vie longue, et donc sur les différents concepts d'entreposage et de stockage réversible ou non aujourd'hui envisagés. Elles sont aussi susceptibles d'avoir des effets déterminants sur l'acceptabilité du nucléaire tant en France qu'à l'étranger (exportation).

Aujourd'hui les efforts de R & D sur la filière nucléaire doivent porter en priorité sur des combustibles innovants permettant le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à eau, et en parallèle, sur les technologies permettant de faire progresser les réacteurs du futur et les usines du cycle aux plans de la minimisation des déchets ultimes, de la sûreté et de la compétitivité. Le but est de maintenir sur les combustibles, les procédés du cycle et les réacteurs une offre technologique au meilleur niveau quels que soient les scénarios de renouvellement du parc actuel et l'évolution du contexte économique (coût du kWh, ressources en uranium) et politique.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Ces voies de R & D poursuivent divers objectifs :

- 1) Améliorer le mono-recyclage actuel du plutonium en jouant sur le combustible (matrice inerte ou thorium) à partir de 2020.
- 2) Stabiliser vers 2050 l'inventaire global de plutonium par son multi-recyclage dans les réacteurs à eau grâce à la mise au point d'un nouveau type de combustible (APA¹) qui pourrait entrer en service vers 2020. Cette stratégie aurait de plus l'intérêt de maintenir la totalité du plutonium à l'intérieur du cycle actif.
- 3) A partir de 2030-2035, avoir la possibilité d'utiliser un réacteur à haut rendement (RHR-1) dédié à l'incinération du plutonium qui pourrait dériver du réacteur à haute température (RHT) ; en cas d'arrêt du retraitement, un tel réacteur pourrait, conjointement avec les REP, produire de l'électricité avec des caractéristiques améliorées en termes de ressources et de déchets.
- 4) Inventorier toutes les orientations possibles ouvertes par la loi du 30 décembre 1991 : retraitement simple, retraitement poussé et transmutation des produits de fission à vie longue et des actinides mineurs (AM²), retraitement différé après entreposage de longue durée des combustibles usés, création d'un stockage profond en couche géologique pour les déchets B, C et (ou) combustibles usés en fonction de l'acceptabilité ou non de grandes quantités de plutonium dans ce stockage. Les PFVL et les AM sont, en effet, susceptibles d'être soit, comme dans le retraitement actuel, conditionnés de façon stable dans des verres et entreposés en attente d'un stockage définitif, soit, dans le futur, vers 2040-2050, séparés (retraitement poussé) pour être brûlés dans des réacteurs électrogènes (réacteur propre) ou dédiés comme les systèmes hybrides, à spectre de neutrons adaptés, ou bien, faire l'objet de conditionnements spécifiques. Dans la solution de la séparation-transmutation, il y aura toujours des déchets radioactifs de procédé et technologiques au niveau des différents maillons du cycle (ou résultant du démantèlement des centrales et des usines du cycle), mais avec

(1) L'APA (assemblage au plutonium avancé), est un assemblage combustible où des crayons UOX ont été remplacés, à raison de quatre pour un, par de gros crayons annulaires composés de plutonium sur matrice inerte. Une matrice inerte possède l'avantage par rapport à une matrice uranium de ne pas contribuer à la production de plutonium ce qui rend le combustible intrinsèquement plutonivore.

(2) AM : actinides mineurs (Np, Am, Cm).

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

des quantités en AM et en PFVL inférieures d'un ou deux ordres de grandeur à celles des combustibles usés.

- 5) Préparer le déploiement possible au-delà de 2050 de filières, sûres et compétitives, réduisant encore la production de déchets.

4.4.2. Evaluations des moyens en fonction des programmes

Les budgets de R & D (subvention de l'Etat) correspondant aux différents scénarios étudiés sont donnés dans les tableaux ci-dessous. Ils ont tous été établis sur la base d'un parc équipé de réacteurs EPR à partir de 2020 en simple ou double composante avec des réacteurs avancés. Ces budgets ne prennent pas en compte le démantèlement des installations de recherche. Il ressort de ces tableaux un tronc commun important quel que soit le scénario dû :

- à la sûreté ;
- aux études pour la fin du cycle (loi de 1991) ;
- à la biologie et la radioprotection ;
- et au parc en fonctionnement (réacteurs à eau et cycle).

La contribution au financement de l'outil d'irradiation indispensable à ces études (réacteur Jules Horowitz) a été intégrée dans les coûts de R & D des réacteurs à eau sur la période 2000-2010.

Il est à noter que ces budgets ne sont pas indépendants les uns des autres, en particulier ils dépendent de la chronologie des choix qui seront faits et certaines phases de R & D devraient normalement être en tronc commun, c'est le cas par exemple des combustibles avancés pour les combustibles à eau destinés à une consommation accrue du plutonium tel que l'APA. Ils ne peuvent être pris isolément que dans le cadre de la demande telle que formulée pour l'exercice en cours.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

**Evaluation du coût de la R & D (subvention)
au CEA et à l'IRSN (ex IPSN)**

Scénario arrêt du nucléaire en 2045

GF par an	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Sûreté	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Recherches sur l'aval du cycle*	1,20	0,70	0,50	0,50	0,50
Biologie et radioprotection	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Réacteurs à eau (REP + EPR)** et cycle	0,90	0,70	0,70	0,50	0,40
Total	3,40	2,70	2,50	2,30	2,20

Scénario de base REP + EPR

GF par an	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Sûreté	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Recherches sur l'aval du cycle *	1,20	0,70	0,50	0,50	0,50
Biologie et radioprotection	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Réacteurs à eau (REP + EPR) **	0,90	0,70	0,70	0,70	0,70
Combustibles APA et MOX/Th + cycle	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20
Total	3,55	2,90	2,70	2,70	2,70

Scénario REP + EPR + RHR-1

GF par an	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Sûreté	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Recherches sur l'aval du cycle *	1,20	0,70	0,50	0,50	0,50
Biologie et radioprotection	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Réacteurs à eau (REP + EPR) **	0,90	0,70	0,70	0,70	0,70
RHR-1 *** et cycle	0,15	0,70	0,40	0,40	0,40
Total	3,55	3,40	2,90	2,90	2,90

Scénario REP + EPR + RHR-2

GF par an	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Sûreté	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Recherches sur l'aval du cycle *	1,20	0,70	0,50	0,50	0,50
Biologie et radioprotection	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Réacteurs à eau (REP + EPR) **	0,90	0,70	0,70	0,70	0,70
RHR-2 *** et cycle	0,20	0,70	0,70	0,70	0,70
Total	3,60	3,40	3,20	3,20	3,20

(*) loi de 1991

(**) dont 0,20 pour le réacteur Jules Horowitz (RJH) en 2000-2010

(***) construction d'un réacteur expérimental sur 2010-2020

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

5. Résultats et conclusions

Les paramètres importants de chacun des scénarios décrits sont donnés dans les tableaux et courbes joints en annexe 3, il s'agit :

- de la composition du parc¹ dans le temps ;
- des besoins en uranium et en enrichissement ;
- de l'inventaire total Pu dans le cycle du combustible (réacteurs et installations du cycle) ;
- des flux de matières dans le cycle (masses annuelles à retraiter et à fabriquer) et hors cycle (masse de Pu sans emploi immédiat) ;
- de l'inventaire en actinides mineurs sans emploi ;
- de l'inventaire en produits de fission ;
- des capacités d'entreposage des combustibles irradiés ;
- des volumes de déchets ultimes conditionnés (B, C, combustibles irradiés) ;
- de la radiotoxicité des déchets ultimes.

Les tableaux suivants évaluent pour les 9 scénarios étudiés par le groupe « Prospective technologique de la filière nucléaire » sur les périodes 2020-2050 ; 2020-2070 et 2020-2090 l'évolution de la masse (en tonnes) de Pu total, de Pu sans emploi (hors cycle), d'actinides mineurs et de Pu + AM dans les déchets ultimes, le volume en m³ de déchets ultimes conditionnés produits et les ratios en kg de matière ou en m³ de déchets par TWh, produits au cours de ces périodes.

(1) Il existe de légères différences entre les scénarios d'offre des parcs nucléaires définis par B. Chateau et ceux retenus par le groupe prospective nucléaire. Ces différences se traduisent par un excédent d'offre de quelques pour cent pour les scénarios retenus par le groupe sur la période 2025-2035. La mission, dans son étude, a tenu compte de ces écarts dans l'évaluation des flux matières et le calcul des bilans économiques.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Scénarios pour la période 2020-2050	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Production ou consommation de Pu en t	163	-65	61	18	83	155	278	215	-156
Evolution du Pu sans emploi	196	-126	8	10	31	52	287	244	-186
Evolution des AM en t	64	95	67	73	44	55	40	27	67
Evolution en t des Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	260	-31	75	83	75	107	327	271	-119
Evolution du V des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³	16,4	10,2	11,7	14,3	10,2	11,6	45,0	47,9	22,0
Ratios en kg/TWh produit (2020-2050)									
Production en TWh	10,3	10,3	10,3	10,1	9,8	12,8	10,3	7,5	7,5
Production ou consommation de Pu	15,8	-6,3	5,9	1,8	8,5	12,1	27,0	28,7	-20,8
Evolution du Pu sans emploi	19,0	-12,2	0,8	1,0	3,2	4,1	27,9	32,5	-24,8
Evolution des AM	6,2	9,2	6,5	7,2	4,5	4,3	3,9	3,6	8,9
Evolution des Pu+AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	25,2	-3,0	7,3	8,2	7,7	8,4	31,8	36,1	-15,9
Volume des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³ /TWh	1,6	1,0	1,1	1,4	1,0	0,9	4,4	6,4	2,9

Scénarios pour la période 2020-2070	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Production ou consommation de Pu en t	273	-170	30	6	1	101	441	275	-175
Evolution du Pu sans emploi	306	-172	37	11	-35	-2	450	304	-81
Evolution des AM en t	102	164	108	120	32	38	67	39	79
Evolution en t des Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	408	-8	145	131	-3	36	517	343	-2
Evolution du V des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³	23,7	15,3	21,6	22,8	15,2	19,3	70,5	75,0	49,3
Ratios en kg/TWh produit (2020-2070)									
Production en TWh	17,0	17,0	17,0	16,8	16,2	19,3	17,0	11,8	11,8
Production ou consommation de Pu	15,7	-9,8	1,7	0,4	0,1	4,7	25,3	22,6	-14,4
Evolution du Pu sans emploi	17,6	-9,9	2,1	0,7	-1,8	-0,1	25,9	25,0	-6,7
Evolution des AM	5,9	9,4	6,2	7,2	1,6	1,8	3,8	3,2	6,5
Evolution des Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	23,4	-0,5	8,3	7,9	-0,2	1,7	29,7	28,2	-0,2
Volume des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³ /TWh	1,4	0,9	1,3	1,3	0,9	1,0	4,2	6,2	4,0

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Scénarios pour la période 2020-2090	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Production ou consommation de Pu en t	373	-220	100	52	-86	37	596	300	-143
Evolution du Pu sans emploi	421	-196	122	108	-15	66	609	333	-43
Evolution des AM en t	140	223	147	152	33	42	92	43	83
Evolution en t des Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	561	27	269	260	18	108	701	376	40
Evolution du V des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³	30,6	19,2	28,5	35,4	27,4	41,0	96,5	142,0	62,8
Ratios en kg/TWh produit (2020-2090)									
Production en TWh	23,5	23,5	23,5	22,5	22,2	26,4	23,5	13,3	13,3
Production ou consommation de Pu	15,9	-9,4	4,3	2,3	-3,9	1,4	25,4	22,6	-10,8
Evolution du Pu sans emploi	17,9	-8,3	5,2	4,8	-0,7	2,5	25,9	25,0	-3,2
Evolution des AM	6,0	9,5	6,3	6,8	1,5	1,6	3,9	3,2	6,2
Evolution des Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes	23,9	1,1	11,4	11,6	0,8	4,1	29,8	28,3	3,0
Volume des déchets ultimes (B + C + C.I.) en k.m ³ /TWh	1,3	0,8	1,2	1,6	1,2	1,6	4,1	10,7	4,7

Ces résultats synthétiques illustrent, sur la base des critères techniques que nous avons cherché à optimiser, l'effet des divers scénarios, après diverses périodes de fonctionnement sans modification de la composition du nouveau parc, sur les évolutions des stocks de plutonium total, des quantités de Pu + AM susceptibles d'aller dans les déchets ultimes, ainsi que sur les quantités de déchets ultimes à stocker.

Sur la période médiane 2020-2070, pour chacun des trois critères techniques considérés ci-dessus et sur la base d'une analyse technique multi-critère simple nous avons fait un classement des scénarios de 1 à 9 où l'on donne le même poids à chaque critère (pas de pondération bien que les critères concernant le Pu nous semblent plus importants que celui concernant les actinides mineurs) nous obtenons le classement suivant :

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

Scénarios	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inventaire Pu total	7 ^e	2 ^e	5 ^e	4 ^e	3 ^e	6 ^e	9 ^e	8 ^e	1 ^e
Quantité de Pu sans emploi	7 ^e	1 ^e	6 ^e	5 ^e	4 ^e	3 ^e	9 ^e	8 ^e	2 ^e
Quantité d'AM	5 ^e	9 ^e	6 ^e	8 ^e	1 ^e	2 ^e	4 ^e	3 ^e	7 ^e
Quantité de Pu + AM dans les déchets ultimes	7 ^e	1 ^e	6 ^e	5 ^e	2 ^e	4 ^e	9 ^e	8 ^e	2 ^e
Volume des déchets ultimes	6 ^e	1 ^e	4 ^e	4 ^e	1 ^e	3 ^e	8 ^e	9 ^e	7 ^e
Classement aux points	20	4	15	13	6	13	26	25	10
	7 ^e	1 ^e	6^e	4^e	2^e	4^e	9^e	8^e	3^e

Cette analyse qualitative, qu'il ne faut considérer que de façon macroscopique, confirme l'adéquation des choix effectués aux priorités accordées à la maîtrise du plutonium et à la minimisation du volume et de la radiotoxicité des déchets ; en effet, sur la base de ces critères il ressort que les familles de scénarios les meilleures sont dans un ordre décroissant :

- les scénarios prenant en compte le multi-recyclage du plutonium (scénarios 2 ; 5 ; 6) ;
- les scénarios prenant en compte un bi-recyclage du plutonium (scénarios 9¹; 4 ; 3) ;
- le scénario actuel prenant en compte un mono-recyclage du plutonium (scénario 1) ;
- les scénarios prenant en compte l'arrêt du retraitement en 2010 (scénarios 8 ; 7).

Ce classement est quasi constant quelle que soit la période considérée. D'autres critères de classement auraient pu être pris en considération tel la radiotoxicité potentielle des déchets ou la quantité de produits de fission (ce dernier critère n'étant pas très discriminant), ils n'auraient pas changé le classement final par famille.

De l'évaluation technique de ces scénarios il ressort qu'à ce jour il existe diverses solutions possibles et envisageables pour maîtriser l'inventaire plutonium et diminuer le volume et la radiotoxicité potentielle des déchets ultimes destinés soit à un entreposage de longue durée, soit à un stockage géologique profond. Ces solutions sont basées sur le multi-recyclage du

(1) Ce scénario s'intercale entre les scénarios 5 et 6 avec lesquels il ne présente que très peu d'écart sur la base des critères retenus.

- La prospective technologique de la filière nucléaire -

plutonium, lequel implique de conserver, voire d'améliorer la maîtrise de la technique du retraitement.

Bien sûr toutes les solutions à multi-recyclage envisagées ne seront pas pertinentes par rapport à leur environnement économique ou technique au moment où elles devront être mises en œuvre. De ce point de vue il est important de *maintenir la flexibilité de la stratégie actuelle* basée sur le retraitement tel que pratiqué dans les usines de La Hague et sur le mono-recyclage du plutonium qui laisse ouvertes pour l'avenir toutes les voies possibles. En effet, cette stratégie offre de nombreux degrés de liberté et permettrait par exemple d'ici 15 à 20 ans, par le développement de combustibles avancés de la famille APA, d'amorcer le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à eau pressurisée actuels de type REP ou futur de type EPR, avec un impact économique probablement relativement faible.

Le maintien de la flexibilité de la stratégie actuelle suppose que :

- l'optimisation technico-économique du fonctionnement du parc actuel soit poursuivie ;
- les travaux de recherches menés dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 soit menés à bien ;
- l'aval du cycle continue à travers une stratégie réacteurs/cycle de troisième génération de faire l'objet d'études de recherche et de développement soutenus.

En conclusion, les scénarios avec multi-recyclage du plutonium illustrent bien *l'intérêt à long terme du retraitement* pour garder la *maîtrise de l'inventaire plutonium et pour diminuer le volume et la radiotoxicité potentielle des déchets ultimes*, et en final *pour optimiser l'utilisation des ressources énergétiques naturelles* (fossiles et fertiles) *dans la perspective de la contribution de l'énergie nucléaire à un développement durable*.

Annexe 1

Présentation des scénarios

Scénarios d'offre en 2050 (note B. Chateau du 29 mars 2000)

20 % de production sans CO₂				
H1				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre haute	248	121	0	0
B4				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre basse	175	89	0	0

50-60 % de production sans CO₂				
H2				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre haute	130	121	46,7	38,6
B2				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre basse	91	90	33	36,7

80 % de production sans CO₂				
H3				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre haute	61	125	85	68,0
B3				
	CO ₂ en Mt	GWe total	GWe nuc.	% nuc.
Offre basse	59	92	46,7	55,9

B4 : (demande basse et offre environnementale de type 4) avec arrêt du parc nucléaire actuel à 45 ans et B'4 variante de B4 avec arrêt du nucléaire à 30 ans

- Présentation des scénarios -

Scénarios du groupe « Le parc nucléaire actuel » pour la parc actuel

Arrêt en 2010 du retraitement- recyclage	Poursuite du retraitement recyclage	
	20 tranches moxées	28 tranches moxées
41 ans de durée de vie	S1	S2
45 ans de durée de vie	S4	S5
		S6

Scénarios d'offre retenus pour l'énergie nucléaire en 2050 par le groupe « Prospective technologique de la filière nucléaire » (GPN) (durée de vie du parc actuel : 45 ans, soit **S6** pour tous les scénarios avec poursuite du retraitement-recyclage et **S4** pour arrêt du retraitement-recyclage en 2010)

Offre	Basse	Moyenne	Haute
	33 GWe B2	46,7 GWe H2 et B3	85 GWe H3
Scénarios GPN	8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 7	6

UOX : combustible à base d'uranium enrichi sous forme d'oxyde
MOX U/Pu : combustible à base d'un mélange d'uranium et de plutonium sous forme d'oxyde
MOX Th/Pu : combustible à base d'un mélange de thorium et de plutonium sous forme d'oxyde
APA : combustible à base de plutonium sur matrice inerte
UPart : combustible à base d'uranium enrichi sous forme de particules, envisagé pour les RHR-1
PuPart : combustible à base de plutonium sous forme de particules, envisagé pour le GT-MHR
MPu/AM : combustible à base d'un mélange de plutonium et d'actinides mineurs sous forme de particules, envisagé pour les RHR-2
URT : Uranium de retraitement
MTh/Pu/AM : combustible à base d'un mélange de thorium, plutonium et d'actinides mineurs sous forme de particules, envisagé pour les RHR-2
CI : combustibles irradiés déchargés des réacteurs
REP : réacteur à eau pressurisée
EPR : réacteur à eau pressurisé (European Pressurized Reactor)
RHR-1 : réacteur à haut rendement dont le combustible est difficilement retraitable
RHR-2 : réacteur à haut rendement évolué, dont le combustible est retraitable
GT-MHR : réacteur de type RHR destiné à brûler le plutonium militaire russe
U-233 : isotope 233 artificiel et fissile de l'uranium, combustible de base de la filière Thorium produit à partir de thorium irradié aux neutrons
PF : produits de fission
AM : actinides mineurs (neptunium, américium et curium)

- Présentation des scénarios -

Scénario	Dates	Contexte et objectifs	Combustibles	Réacteurs	Retraitement	Recyclage	Matières entreposées longue durée	Déchets C	Besoins en R&D
1	>2020 Dépend des scénarios GCN	Incineration faible, concentration et dénaturation du Pu	UOX MOX U/Pu	REP EPR	Oui CI-UOX	Monorecyclage Pu	URT, CI-MOX U/Pu éventuellement CI-UOX non retraités	Verres PF et AM 100 %	Faible
2	>2020 Dépend des scénarios GCN	Arrêt du retraitement en 2010	UOX MOX U/Pu avant 2010	REP EPR	Non après 2008	Arrêt monorecyclage Pu en 2010	CI-MOX non retraités CI-MOX chargés avant 2010	CI-UOX CI-MOX chargés avant 2010	Faible
3	>2020 Dépend des scénarios GCN	Incineration accrue, concentration et dénaturation du Pu	UOX MOX U/Pu MOX Th/Pu après 2020	REP EPR	Oui CI-UOX CI-MOX U/Pu	Monorecyclage Oy MOX U/Pu birecyclage Pu MOX Pu/Th	URT éventuellement CI-MOX, CI-MOX U/Pu non retraités	CI-MOX Th/Pu, verres PF et AM 100 %	Moyen, développement combustible à base de thorium
4	>2030 Dépend des scénarios GCN >2030 RHR-1	Incineration accrue, concentration et dénaturation du Pu spécificité des RHR	UOX MOX U/Pu	REP EPR	Oui CI-UOX CI-MOX U/Pu	Monorecyclage et/ou birecyclage Pu en REP et EPR, monorecyclage du Pu issu des MOX en RHR-1	URT	CI-part verres PF et AM 100 %	Fort, développement réacteur et combustible RHR-1 (expérience du GT-MHR)
8	>2020 Dépend des scénarios GCN >2030 RHR-1	Arrêt du retraitement en 2010 spécificité des RHR	UOX	REP EPR	Oui CI-UOX jusqu'en 2008 non	Arrêt monorecyclage Pu en 2010	CI-UOX	CI-UOX CI-MOX chargés avant 2010 CI-U Part	Fort, développement réacteur et combustible RHR-1 (expérience du GT-MHR)
9	>2030 Dépend des scénarios GCN	Incineration accrue, concentration et dénaturation du Pu spécificité des RHR, stabilisation de l'inventaire Pu	UOX mox u/Pu	REP	Oui	Birecyclage Pu	URT	VERRES ? PF et AM 100 % CI PuPart CI UPart	Fort, développement réacteur et combustible RHR-1 (expérience du GT-MHR)
5-6	>2040-2050 Dépend des scénarios GCN RHR-2	Stabilisation de l'inventaire Pu et AM	UOX MOX U/Pu	REP EPR	Oui CI-UOX CI-MOX U/Pu CI-Mpu/AM	Multirecyclage Pu et AM	URT	Verres PF 100 %	Très fort, développement réacteur et combustible RHR-2 et du retraitement (expérience du GT-MHR et du RHR-1)
Filière Th	>2040-2050 Dépend des scénarios GCN RHR-2	Diminution de l'inventaire Pu et AM au profit de U-233 pour passage à une filière à base de Thorium	UOX MOX U/Pu MTh/Pu/AM	REP EPR	Oui CI-UOX CI-MOX U/Pu CI-MTh/Pu /AM	Multirecyclage Pu et AM production de U-233	URT	Verres PF 100 %	Très fort, développement réacteur et combustible RHR-2 et du retraitement (expérience du GT-MHR et du RHR-1)

- Présentation des scénarios -

Principales caractéristiques des scénarios retenus pour le parc électronucléaire du futur

Scénarios pour le parc du futur				Cycle ouvert			Cycle fermé		
	N°	Office électrique en 2050 GWe	Stockage définitif	Stockage direct des CI	Quantité de Pu limitée (~ 30 %)	Réduction des AM et PFVL	Peu de Pu < 0,1 %	Réduction des AM	Réduction des PFVL
Parc à une seule composante : réacteur à eau (REP actuels + EPR)	1	47	Monorecyclage Pu dans REO	2050	Oui	Non	Non		
	7	47		< 2010	Oui	Non	Non		
	2	47	Multirecyclage Pu dans REO	Pu/inerte				Oui	Non *
	3	47		Pu Th	Oui	Non	Oui		
Parc à deux composantes : réacteurs à eau (REO) et réacteurs à haut rendement (RHR-1=GTMHR et RHR-2=RNR-gaz)	4	47	Monorecyclage Pu dans REO Intro RHR-1 Pu (MOX) > 2030		Oui	Oui	Oui (+)		
	8	33	Monorecyclage Pu dans REO Intro RHR-1 U5 > 2030		Oui	Oui ?	Oui (++)		
	5 et 6	47 et 85	Monorecyclage Pu dans REO Intro RHR-2 > 2040					Oui	Oui
	9	33	Monorecyclage Pu dans REO Intro RHR-1 Pu (MOX) U > 2030		Oui	Oui	Oui (++)		

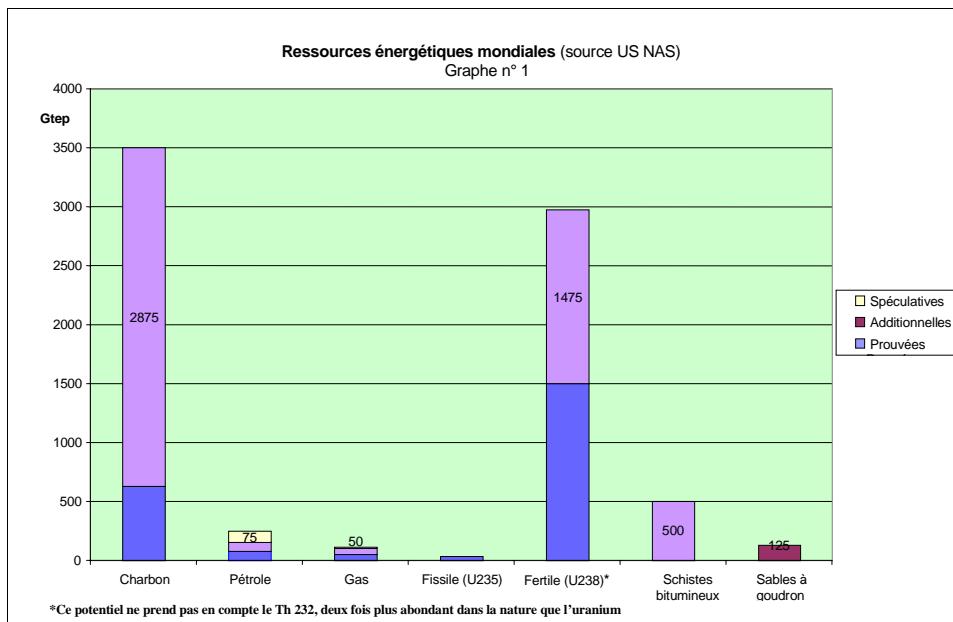
(*) la potentialité du concept à stabiliser l'inventaire en AM n'a pas été considéré dans cette étude

Scénarios retenus pour le parc électronucléaire du futur paramètres directeurs

Scéna- rio	Type de parc		Types de combusti- bles	Type de retraite- ment	Devenir du Pu	Entreposa- ge des CI	Srockage géologique
	> 2020	2050					
1	REP + EPR	EPR	UOX MOX	Actuel	Mono- recyclage	Longue durée pour les MOX	Direct des CI MOX
2	REP + EPR	EPR	UOX MOX <2020 APA > 2020	Actuel	Multi- recyclage	Courte durée	PF + AM + très faibles quantités de Pu
3	REP + EPR	EPR	UOX MOX PuO ₂ /ThO ₂	Actuel pour UOX et MOX	Mono- recyclage MOX en REP et EPR puis mono- recyclage UO ₂ /ThO ₂ en EPR	Longue durée pour CI PuO ₂ /ThO ₂	PF + AM + direct des CI UO ₂ /ThO ₂
4	REP + EPR+ RHR-1	EPR + RHR-1	UOX MOX Pu à particules	Actuel pour UOX et MOX	Mono- recyclage en REP et EPR puis mono- recyclage en RHR-1	Longue durée pour CI RHR-1	PF + AM + direct des CI RHR-1
5-6	REP + EPR + RHR-2	EPR + RHR-2	UOX MOX Pu à particules	Actuel pour UOX et MOX < 2040 actuel ou poussé > 2040	Mono- recyclage en REP et EPR puis multi- recyclage en RHR-2	Courte durée	PF + AM (*)
7	REP + EPR	EPR	UOX MOX <2010	Actuel pour UOX limité à 2008	Mono- recyclage <2010	Longue durée pour les MOX	Direct des CI MOX
8	REP + RHR-1	RHR-1	UOX MOX 2010 UO ₂ à 20 % U5	Actuel pour UOX limité à 2008	Mono- recyclage <2010	Longue durée pour MOX et RHR-1	Direct des CI UOX après 2008, MOX et RHR-1
9	REP + RHR-1	RHR-1	UOX MOX PuPart UPart	Actuel pour UOX et MOX	Bi-recyclage	Courte durée	PF + AM Direct des CI RHR-1 PuPart et UPart

(*) recyclage partiel des AM

- Présentation des scénarios -



Annexe 2

Données de base réacteurs

Fiche n° 1

Type de réacteur : EPR 1450 MWe 57 GWj/t 1/5

Puissance électrique brute : 1530 MWe Puissance électrique nette : 1450 MWe Puissance thermique : 4250 MWe Fonctionnement annuel : 7490 HEPP (312 JEPP) Production annuelle brute : 11,46 TWh _e	Combustible UOX
	Coeur
COEUR	
Nombre d'assemblages Masse de (M.L.I.) (kg)	241 124886
Longueur de cycle (JEPP) Nombre de cycles	335 5
RECHARGEMENT	
Nombre d'assemblages	48
Masse de (M.L.) de la recharge (kg) Masse d'uranium (kg) Masse de plutonium (kg) Enrichissement U235 (%)	24977 24977 4,50
IRRADIATION MOYENNE GWj/t Temps de refroidissement (an)	57 5
DECHARGEMENT	
Masse d'uranium (kg) Masse de plutonium (kg) Masse d'actinides mineurs (kg) Masse de P.F. (kg)	23149 318 47 1463
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION (après refroidissement)	
Plutonium (kg/TWh _e) Actinides mineurs (kg/TWh _e) P.F. (kg/TWh _e)	+ 26 + 3.8 + 119

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 2

Type de réacteur : EPR 1450 MWe 64 GWj/t 1/6

Puissance électrique brute : 1530 MWe		Combustible UOX
Puissance électrique nette : 1450 MWe		
Puissance thermique : 4250 MWe		
Fonctionnement annuel : 7490 HEPP (312 JEPP)		
Production annuelle brute : 11,46 TWh _e		
Coeur		
COEUR		
Nombre d'assemblages		241
Masse de (M.L.I.) (kg)		124886
Longueur de cycle (JEPP)		320
Nombre de cycles		6
RECHARGEMENT		
Nombre d'assemblages		40
Masse de (M.L.) de la recharge (kg)		20814
Masse d'uranium (kg)		20814
Masse de plutonium (kg)		4,95
Enrichissement U235 (%)		
IRRADIATION MOYENNE GWj/t		64
Temps de refroidissement (an)		5
DECHARGEMENT		
Masse d'uranium (kg)		19132
Masse de plutonium (kg)		271
Masse d'actinides mineurs (kg)		41,7
Masse de P.F. (kg)		1369
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION (après refroidissement)		
Plutonium (kg/TWh _e)		+ 23,0
Actinides mineurs (kg/TWh _e)		+ 3,5
P.F. (kg/TWh _e)		+ 117

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 3

Type de réacteur : EPR 1450 MWe 70 % UOX 64 GWj/t 1/6, 30 % MOX 55 GWj/t 1/5

Puissance électrique brute :	1530	MWe			
Puissance électrique nette :	1450	MWe			
Puissance thermique :	4250	MWe			
Fonctionnement annuel :	7490	HEPP (312 JEPP)			
Production annuelle brute :	11,46	TWh _e			
			Combustible		
				UOX	MOX
COEUR					
Nombre d'assemblages			241		
Masse de (M.L.I.)		(kg)	124886		
Longueur de cycle		(JEPP)		320	
Nombre de cycles			6		5
RECHARGEMENT					
Nombre d'assemblages			28		15
Masse de (M.L.) de la recharge		(kg)	14570		7493
Masse d'uranium		(kg)	14570		6714
Masse de plutonium		(kg)			779,3
Enrichissement U235		(%)	4,95		
Teneur Pu		(%)			10,4
IRRADIATION MOYENNE	GWj/t		64		55
Temps de refroidissement		(an)		5	
DECHARGEMENT					
Masse d'uranium		(kg)	13393		6415
Masse de plutonium		(kg)	190		591
Masse d'actinides mineurs		(kg)	29,1		67,5
Masse de P.F.		(kg)	958,5		420
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION					
(après refroidissement)					
Plutonium	(kg/TWh _e)		+ 22,2		-53,4
Actinides mineurs	(kg/TWh _e)		+3,5		+ 19
P.F.	(kg/TWh _e)		+ 117		+ 119

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 4

Type de réacteur : EPR-APA 1450 MWe 89 GWj/t 1/6 (moyenne sur plusieurs recyclages)

Puissance électrique brute :	1530	MWe		
Puissance électrique nette :	1450	MWe		
Puissance thermique :	4250	MWe		
Fonctionnement annuel :	7490	HEPP		
	(312	JEPP)		
Production annuelle brute :	11,46	TWh _e		
			Combustible UOX	
				Coeur
COEUR				
Nombre d'assemblages			241	
Masse de (M.L.I.)		(kg)	66940	
Longueur de cycle		(JEPP)	280	
Nombre de cycles			5	
RECHARGEMENT				
Nombre d'assemblages			48	
Masse de (M.L.) de la recharge		(kg)	13388	
Masse d'uranium		(kg)	11782	
Masse de plutonium		(kg)	1606	
Enrichissement U235		(%)	0.53 (1 ^{er} recyc.), 2.58 (2 ^{ème} recyc.), 3.17 (3 ^{ème} recyc.)	
IRRADIATION MOYENNE	GWj/t		89	
Temps de refroidissement		(an)	5	
DECHARGEMENT				
Masse d'uranium		(kg)	11107	
Masse de plutonium		(kg)	900	
Masse d'actinides mineurs		(kg)	160	
Masse de P.F.		(kg)	1221	
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION				
(après refroidissement)				
Plutonium		(kg/TWh _e)	- 69	
Actinides mineurs		(kg/TWh _e)	+ 15,5	
P.F.		(kg/ TWh _e)	+ 119	

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 5

Type de réacteur : REP Th/Pu, 1500 MWth – 60 GWj/t 1/6

Puissance électrique brute :	1530 MWe	Combustible par familles
Puissance électrique nette :	1450 MWe	
Puissance thermique :	4250 MWe	
Fonctionnement annuel :	7490 HEPP (312 JEPP)	
Production annuelle brute :	11,46 TWh _e	
COEUR		Coeur
Nombre d'assemblages		241
Masse de (M.L.I.)	(kg)	124886
Longueur de cycle		300
Nombre de cycles		6
RECHARGEMENT		
Nombre d'assemblages		40
Masse de (M.L.) de la recharge	(kg)	20814
Masse de thorium	(kg)	17623
Masse de plutonium	(kg)	3191
Teneur en plutonium	(%)	15,33
IRRADIATION MOYENNE		(GWj/t)
Temps de refroidissement	(an)	60 5
DECHARGEMENT		
Masse de thorium+uranium	(kg)	17456
Masse de plutonium	(kg)	2001
Masse d'actinides mineurs	(kg)	74,4
Masse de P.F.	(kg)	1283
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION		
(après refroidissement)		
Plutonium	(kg/TWh _e)	- 108
Actinides mineurs	(kg/TWh _e)	+ 6,8
P.F.	(kg/TWh _e)	+ 117

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 6

Type de réacteur : RHR-1U 284 MWe 130 GWj/t 1/2

Puissance électrique brute :	284	MWe		
Puissance électrique nette :	248	MWe		
Puissance thermique :	604	MWe		
Fonctionnement annuel :	7490	HEPP		
	(312	JEPP)		
Production annuelle brute :	2,13	TWh _e		
			Combustible particules U à 20 %	
Cœur				
COEUR				
Masse de (M.L.I.)	(kg)		4524	
Longueur de cycle	(JEPP)		490	
Nombre de cycles			2	
RECHARGEMENT				
Masse de (M.L.) de la recharge	(kg)		2262	
Masse d'Uranium naturel	(kg)		514	
Masse d'Uranium enrichi	(kg)		1748	
Enrichissement U235	(%)		20	
IRRADIATION MOYENNE	GWj/t		130	
Temps de refroidissement	(an)		5	
DECHARGEMENT				
Masse d'uranium	(kg)		1839	
Masse de plutonium	(kg)		51.2	
Masse d'actinides mineurs	(kg)		7.74	
Masse de P.F.	(kg)		364	
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION				
(après refroidissement)				
Plutonium	(kg/TWh _e)		+ 15,3	
Actinides mineurs	(kg/TWh _e)		+ 2,3	
P.F.	(kg/TWh _e)		+ 109	

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 7

Type de réacteur : RHR-1 Pu 286 MWe 609 GWj/t 1/3

Puissance électrique brute :	286	MWe	Combustible particules Pu
Puissance électrique nette :	248	MWe	
Puissance thermique :	600	MWe	
Fonctionnement annuel :	7490	HEPP (312 JEPP)	
Production annuelle brute :	2,14	TWh _e	
Coeur			
COEUR			
Nombre d'éléments			1020
Masse de (M.L.I.)	(kg)		1270
Longueur de cycle			406
Nombre de cycles			3
RECHARGEMENT			
Nombre d'éléments			340
Masse de (M.L.) de la recharge	(kg)		423
Masse de plutonium	(kg)		423
IRRADIATION MOYENNE	GWj/t		609
Temps de refroidissement	(an)		5
DECHARGEMENT			
Masse de plutonium	(kg)		112,3
Masse d'actinides mineurs	(kg)		32,8
Masse de P.F.	(kg)		272
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION			
(après refroidissement)			
Plutonium	(kg/TWh _e)		- 112
Actinides mineurs	(kg/TWh _e)		+ 12
P.F.	(kg/TWh _e)		+ 98

- Données de base réacteurs -

Fiche n° 8

**Type de réacteur : RHR-2 He Pu + AM sans U, nitrule, particules,
1200 MWth-480 GWj/t 1/3 (cycle à l'équilibre)**

Puissance électrique brute : 600 MWe		Combustible par familles
Puissance électrique nette : 524 MWe		
Puissance thermique : 1200 MWe		
Fonctionnement annuel : 7490 HEPP (312 JEPP)		
Production annuelle brute : 4,5 TWh _e		
		Coeur
COEUR		
Nombre d'assemblages		192
Masse de (M.L.I.) (kg)		2828
Longueur de cycle (JEPP)		375
Nombre de cycles		3
RECHARGEMENT		
Nombre d'assemblages		64
Masse de (M.L.) de la recharge (kg)		943
Masse d'uranium (kg)		7,5
Masse de plutonium (kg)		748
Teneur en plutonium (%)		79,4
IRRADIATION MOYENNE (GWj/t)		480
Temps de refroidissement (an)		5
DECHARGEMENT		
Masse d'uranium (kg)		4.3
Masse de plutonium (kg)		414
Masse d'actinides mineurs (kg)		115
Masse de P.F. (kg)		409
BILAN RAMENE A LA PRODUCTION (après refroidissement)		
Plutonium (kg/TWh _e)		- 62
Actinides mineurs (kg/TWh _e)		- 13,4
P.F. (kg/TWh _e)		+ 76

Annexe 3

Présentation des flux matières pour les différents scénarios

Nota :

Les inventaires d'actinides mineurs dans la première partie (scénarios 1 à 9) partent d'une masse nulle en 2020.

Il en est de même pour les déchets B réacteur et retraitement, les déchets C, les produits de fission (PF) et la production d'énergie électrique (brut et net).

Par contre les tableaux synthétiques de la fin de l'annexe intègrent les masses produites avant 2020.

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

1-47-EPR-MOX

Scénario mon-orecyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy puis l'équivalent dans les EPR jusqu'en 2039 ; à partir de 2040, la proportion de MOX baisse.

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà.

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7 %) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4 %) au-delà.

**Données en tonnes - Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2110
(1 sur 3)**

	MOX char	UOX char	Bes Unat	Bes.MUTS	Bes ret UOX
2020	135	863	8239	6,2	969
2025	140	793	7572	5,7	909
2030	134	693	6595	5,0	951
2035	137	648	6351	4,8	1109
2040	71	616	6180	4,7	576
2045	71	603	6111	4,7	576
2050	71	568	5809	4,5	576
2055	71	568	5809	4,5	576
2060	71	568	5809	4,5	576
2065	71	568	5809	4,5	576
2070	71	568	5809	4,5	576
2075	71	568	5809	4,5	576
2080	66	552	5641	4,3	540
2085	66	552	5641	4,3	540
2090	55	460	4701	3,6	414
2095	33	276	2820	2,2	234
2100	13	110	1128	0,9	108
2105	4	37	376	0,3	36
2110	0	0	0	0,0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Inv. Total Pu (+Am241)	Pu (+Am241) sans emploi	Act. min.	Pu Tot. + Act min	Masse PF
2020	394	290	3	397	54
2025	431	328	15	446	310
2030	465	370	26	491	528
2035	508	390	38	545	742
2040	517	407	49	566	957
2045	531	457	58	589	1176
2050	557	486	67	624	1396
2055	585	515	77	662	1617
2060	612	542	86	699	1837
2065	639	569	96	735	2057
2070	667	596	105	772	2277
2075	694	623	115	809	2498
2080	718	651	124	842	2717
2085	747	681	133	881	2930
2090	767	711	142	908	3130
2095	784	750	148	931	3265
2100	796	783	150	947	3330
2105	805	800	152	956	3359
2110	810	810	152	962	3364

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

MOX entrep.	UOX entrep.	Total Comb. Entreposés	Nb de tranches Moxées	
			Cpy	EPR
2020	3115	8979	12094	
2025	3790	8466	12256	
2030	4500	8076	12576	
2035	5170	6310	11480	
2040	5647	3326	8972	
2045	6198	3470	9668	
2050	6552	3628	10180	
2055	6907	3694	10601	
2060	7261	3657	10918	
2065	7615	3621	11236	
2070	7970	3584	11553	
2075	8324	3547	11871	
2080	8678	3582	12260	
2085	9024	3725	12749	
2090	9356	4073	13429	
2095	9653	5230	14883	
2100	9841	6460	16301	
2105	9927	7184	17111	
2110	9970	7700	17669	
			Cpy	EPR
			28	0
			25	1
			16	6
			6	15
			0	10
			0	10
			0	10
			0	10
			0	10
			0	10
			0	9
			0	8
			0	5
			0	2
			0	1
			0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) des déchets

	Vol MOX Irr. Cond.	Vol. Déc B Réacteur	Vol. Déc B Retrait.	Vol. Déc C Retrait.	Vol total comb irrad
2020	6230	5	262	107	6230
2025	7580	30	1565	637	7580
2030	9001	51	2754	1122	9001
2035	10340	68	4181	1704	10340
2040	11293	84	5391	2196	11293
2045	12396	99	6168	2513	12396
2050	13105	115	6946	2830	13105
2055	13813	130	7723	3146	13813
2060	14522	146	8500	3463	14522
2065	15231	161	9278	3780	15231
2070	15939	177	10055	4097	15939
2075	16648	192	10832	4413	16648
2080	17357	208	11590	4722	17357
2085	18048	223	12319	5019	18048
2090	18712	237	12970	5284	18712
2095	19306	246	13383	5452	19306
2100	19682	251	13573	5530	19682
2105	19855	253	13650	5561	19855
2110	19939	253	13660	5565	35338

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)

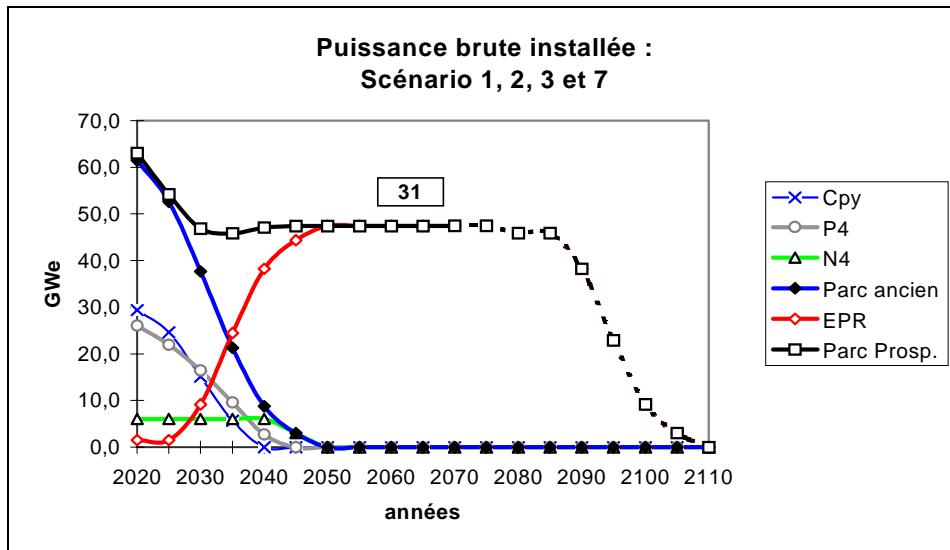
	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc Prosp.	Energ. Cum.
2020	29,4	26,1	6,1	61,5	1,5	63,0	436
2025	24,6	22,0	6,1	52,6	1,5	54,2	2497
2030	15,2	16,5	6,1	37,7	9,2	46,9	4259
2035	5,7	9,6	6,1	21,4	24,5	45,8	5985
2040	0,0	2,7	6,1	8,8	38,3	47,1	7716
2045	0,0	0,0	3,0	3,0	44,4	47,4	9486
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	11262
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	13038
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	14814
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	16590
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	18367
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4	20143
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	45,9	21908
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	45,9	23626
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	38,3	38,3	25242
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	23,0	26331
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	9,2	26858
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1	27087
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27133

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc Prosp.	Energ. Cum.
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	1,5	60,3	418
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	1,5	51,9	2391
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	8,7	44,8	4072
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	23,2	43,7	5701
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	36,3	44,7	7327
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	42,1	45,0	8995
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	10679
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	12364
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	14048
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	15732
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	17406
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	19090
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	20762
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	22391
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3	36,3	23922
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	21,8	24954
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	8,7	25454
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	25671
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25714

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

2-47-EPR-APA

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy jusqu'à leurs arrêts

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5%), 64 GWj/t (U235 = 4,95%) au-delà

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7%) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4%) au-delà

A partir de 2020 multi-recyclage du Pu dans les EPR sous forme de combustible APA

**Données en tonnes - Actinides mineurs produits entre 2020 et 2110
(1 sur 4)**

	MOX char	UOX char	Comb APA	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	841	13	8040	6,1
2025	125	777	13	7428	5,6
2030	75	597	73	5707	4,3
2035	22	408	191	3900	2,9
2040	0	352	191	3483	2,6
2045	0	339	191	3414	2,6
2050	0	305	191	3968	2,9
2055	0	305	191	3968	2,9
2060	0	305	191	3968	2,9
2065	0	386	144	4742	3,5
2070	0	386	144	4742	3,5
2075	0	386	144	4808	3,6
2080	0	386	132	4736	3,5
2085	0	386	132	4736	3,5
2090	0	325	108	3969	3,0
2095	0	203	60	2435	1,8
2100	0	81	24	974	0,7
2105	0	20	12	280	0,2
2110	0	0	0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 4)

	Ret UOX	Ret MOX	Ret APA	Nb de tranches Moxées	
				Cpy	EPR (APA)
2020	288	180		28	1
2025	100	180		25	1
2030	696	180		16	6
2035	548	200		6	16
2040	904	200		0	16
2045	904	152	170	0	16
2050	904	0	170	0	16
2055	904	0	170	0	16
2060	300	0	285	0	16
2065	300	0	199	0	12
2070	300	0	199	0	12
2075	380	0	184	0	12
2080	380	0	163	0	11
2085	380	0	163	0	11
2090	380	0	99	0	9
2095	200	0	26	0	5
2100	100	0	24	0	2
2105	0	0	0	0	1
2110	0	0	0	0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (3 sur 4)

	Comb. UOX Entrep.	Comb. MOX Entrep.	Comb. APA Entrep.	Total
2020	9517	2935	0	12452
2025	12956	2736	13	15706
2030	14914	2462	77	17453
2035	12583	1838	248	14669
2040	10528	952	968	12448
2045	7874	0	1756	9629
2050	5059	0	1865	6924
2055	2131	0	1974	4105
2060	2154	0	1508	3662
2065	2177	0	1384	3560
2070	2362	0	1249	3611
2075	2390	0	1048	3438
2080	2419	0	910	3329
2085	2447	0	803	3250
2090	2476	0	862	3338
2095	2603	0	1254	3857
2100	3221	0	1552	4773
2105	3551	0	1695	5246
2110	3876	0	1790	5666

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (4 sur 4)

	Inv. Total Pu(+Am241)	Pu(+Am241) sans emploi	Act. min.	Pu total + Act. min.	PF
2020	394	286	3	397	55
2025	424	324	16	439	312
2030	448	337	27	475	532
2035	434	283	44	478	748
2040	395	254	62	457	965
2045	359	219	80	439	1186
2050	329	190	98	427	1408
2055	299	160	117	415	1630
2060	267	129	135	402	1852
2065	231	121	152	383	2074
2070	224	114	167	392	2296
2075	211	101	183	394	2518
2080	194	92	198	392	2738
2085	188	85	212	400	2953
2090	174	90	226	399	3155
2095	164	118	235	398	3291
2100	165	146	239	403	3357
2105	167	159	241	407	3386
2110	170	170	241	411	3392

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol. déc. B Retrait.	Vol. déc. C Retrait.	Vol. déc B Réacteur	Vol. comb. irrad cond
2020	131	51	5	
2025	598	271	30	
2030	1370	512	49	
2035	2889	1094	66	
2040	4379	1705	81	
2045	5901	2326	97	
2050	7350	2916	113	
2055	8799	3507	129	
2060	9588	3828	145	
2065	10285	4112	161	
2070	10959	4387	177	
2075	11721	4697	193	
2080	12465	5000	209	
2085	13197	5299	224	
2090	13872	5574	239	
2095	14392	5785	249	
2100	14587	5865	254	
2105	14680	5903	256	
2110	14680	5903	256	11333

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)
(1 sur 2)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	29,4	26,1	6,1	61,5
2025	24,6	22,0	6,1	52,6
2030	15,2	16,5	6,1	37,7
2035	5,7	9,6	6,1	21,4
2040	0,0	2,7	6,1	8,8
2045	0,0	0,0	3,0	3,0
2050	0,0	0,0	0,0	0,0
2055	0,0	0,0	0,0	0,0
2060	0,0	0,0	0,0	0,0
2065	0,0	0,0	0,0	0,0
2070	0,0	0,0	0,0	0,0
2075	0,0	0,0	0,0	0,0
2080	0,0	0,0	0,0	0,0
2085	0,0	0,0	0,0	0,0
2090	0,0	0,0	0,0	0,0
2095	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0
2105	0,0	0,0	0,0	0,0
2110	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	Parc prosp.	Energ. cum.	Energ. cum.
2020	1,5	63,0	436	418
2025	1,5	54,2	2497	2391
2030	9,2	46,9	4259	4072
2035	24,5	45,8	5985	5701
2040	38,3	47,1	7716	7327
2045	44,4	47,4	9486	8995
2050	47,4	47,4	11262	10679
2055	47,4	47,4	13038	12364
2060	47,4	47,4	14814	14048
2065	47,4	47,4	16590	15732
2070	47,4	47,4	18367	17406
2075	47,4	47,4	20143	19090
2080	45,9	45,9	21908	20762
2085	45,9	45,9	23626	22391
2090	38,3	38,3	25242	23922
2095	23,0	23,0	26331	24954
2100	9,2	9,2	26858	25454
2105	3,1	3,1	27087	25671
2110	0,0	0,0	27133	25714

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc Pros.	Energ. cum.
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	1,5	60,3	418
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	1,5	51,9	2391
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	8,7	44,8	4072
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	23,2	43,7	5701
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	36,3	44,7	7327
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	42,1	45,0	8995
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	10679
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	12364
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	14048
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	15732
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	17406
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	19090
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	20762
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	22391
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3	36,3	23922
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	21,8	24954
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	8,7	25454
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	25671
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25714

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

3-47-EPR-MOX-Th

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy jusqu'en 2039; au-delà, la proportion de MOX diminue

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5%), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7 %) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4 %) au-delà

A partir de 2040 multirecyclage du Pu dans les EPR sous forme de combustible
Pu TCT Pu/Th : 60 GWj/t

**Données en tonnes - Actinides mineurs produits entre 2020 et 2110 pour
com. Pu/Th : Pa + Np + Am + Cm (1 sur 3)**

	MOX char	UOX char	Comb. Pu/Th	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	863		8239	6,2
2025	140	793		7572	5,7
2030	134	693		6595	5,0
2035	137	644		6309	4,8
2040	71	514	102	5143	3,9
2045	71	501	102	5074	3,9
2050	71	467	102	4772	3,7
2055	71	467	102	4772	3,7
2060	71	467	102	4772	3,7
2065	71	467	102	4772	3,7
2070	71	528	41	5394	4,1
2075	71	528	41	5394	4,1
2080	71	508	41	5187	4,0
2085	71	508	41	5187	4,0
2090	50	424	41	4334	3,3
2095	30	279		2850	2,2
2100	12	112		1140	0,9
2105	4	37		380	0,3
2110	0	0		0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Ret. UOX	Ret. MOX	Comb. Th entrep	Comb. UOX entrep.	Comb.MOX entrep.	Total
2020	969	0	0	8979	3115	12094
2025	909	0	0	8466	3790	12256
2030	951	0	0	8076	4507	12583
2035	1109	0	0	6491	5039	11531
2040	576	273	0	4744	5218	9962
2045	576	273	0	4754	4404	9159
2050	576	273	508	4391	3394	8293
2055	576	236	1015	3915	2532	7462
2060	576	199	1523	3370	1744	6637
2065	576	199	2030	2825	1101	5956
2070	480	96	2538	2664	634	5836
2075	480	96	3045	2659	511	6216
2080	480	96	3248	2899	388	6534
2085	700	59	3451	2457	373	6281
2090	373	80	3654	2611	348	6613
2095	211	0	3857	3633	547	8037
2100	97	0	3979	4686	716	9381
2105	32	0	3979	5282	794	10055
2110	0	0	3979	5621	830	10430

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

	Inv. Total Pu(+Am241)	Pu(+Am241) sans emploi	Act. min.	Pu total + Act. min.	PF
2020	394	290	3	397	54
2025	428	326	15	443	312
2030	455	360	26	481	532
2035	464	370	38	502	747
2040	516	358	49	565	963
2045	470	312	59	529	1184
2050	455	298	70	525	1406
2055	471	315	80	552	1628
2060	461	305	91	552	1850
2065	474	317	101	575	2072
2070	424	327	111	536	2294
2075	463	367	121	585	2515
2080	476	379	131	607	2736
2085	488	392	141	629	2951
2090	494	412	150	643	3152
2095	485	460	155	640	3288
2100	508	498	158	666	3354
2105	515	512	159	675	3383
2110	519	519	159	679	3389

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol Comb Pu/Th Cond	Vol. Déc. B Retrait.	Vol Déc. C Retrait.	Vol. Déc. B Réacteur	Vol comb irrad cond
2020	0	262	107	5	0
2025	0	1565	637	30	0
2030	0	2754	1122	51	0
2035	0	4132	1684	68	0
2040	0	5489	2236	84	0
2045	0	6635	2703	100	0
2050	1015	7781	3170	116	1015
2055	2030	8887	3621	132	2030
2060	3045	9973	4063	148	3045
2065	4060	11020	4490	164	4060
2070	5075	11916	4855	180	5075
2075	6090	12693	5171	196	6090
2080	6496	13470	5488	212	6496
2085	6902	14395	5865	227	6902
2090	7308	15142	6169	242	7308
2095	7714	15535	6329	252	16073
2100	7958	15705	6398	257	18762
2105	7958	15775	6427	259	20109
2110	7958	15784	6431	259	20860

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)
(1 sur 2)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	29,4	26,1	6,1	61,5
2025	24,6	22,0	6,1	52,6
2030	15,2	16,5	6,1	37,7
2035	5,7	9,6	6,1	21,4
2040	0,0	2,7	6,1	8,8
2045	0,0	0,0	3,0	3,0
2050	0,0	0,0	0,0	0,0
2055	0,0	0,0	0,0	0,0
2060	0,0	0,0	0,0	0,0
2065	0,0	0,0	0,0	0,0
2070	0,0	0,0	0,0	0,0
2075	0,0	0,0	0,0	0,0
2080	0,0	0,0	0,0	0,0
2085	0,0	0,0	0,0	0,0
2090	0,0	0,0	0,0	0,0
2095	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0
2105	0,0	0,0	0,0	0,0
2110	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

EPR	Parc Prosp.	Energ. Cum.	Nb de tranches Moxées	
			Cpy	EPR
2020	1,5	63,0	436	28
2025	1,5	54,2	2497	25
2030	9,2	46,9	4259	16
2035	24,5	45,8	5985	6
2040	38,3	47,1	7716	0
2045	44,4	47,4	9486	0
2050	47,4	47,4	11262	0
2055	47,4	47,4	13038	0
2060	47,4	47,4	14814	0
2065	47,4	47,4	16590	0
2070	47,4	47,4	18367	0
2075	47,4	47,4	20143	0
2080	45,9	45,9	21908	0
2085	45,9	45,9	23626	0
2090	38,3	38,3	25242	0
2095	23,0	23,0	26331	0
2100	9,2	9,2	26858	0
2105	3,1	3,1	27087	0
2110	0,0	0,0	27133	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc prosp.	énerg. cum.
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	1,5	60,3	418
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	1,5	51,9	2391
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	8,7	44,8	4072
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	23,2	43,7	5701
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	36,3	44,7	7327
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	42,1	45,0	8995
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	10679
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	12364
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	14048
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	15732
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	17406
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	19090
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	20762
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	22391
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3	36,3	23922
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	21,8	24954
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	8,7	25454
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	25671
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25714

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

4 47-EPR-MOX+RHR-1Pu

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy puis l'équivalent dans les EPR jusqu'en 2039; au delà, on baisse la proportion de MOX

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7 %) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4 %) au-delà

Mise en service à partir de 2030 de RHR-1 de 286 MWe (rend. : 48 %), durée de vie 40 ans

Le retraitement des MOX alimente les RHR-1

Données en tonnes - Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2110 (1 sur 3)

	MOX char	UOX char	RHR-1 char	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	863	0,0	8239	6,2
2025	140	793	0,0	7572	5,7
2030	126	677	1,3	6447	4,8
2035	118	579	8,5	5643	4,3
2040	71	514	8,5	5143	3,9
2045	71	501	8,5	5074	3,9
2050	71	467	8,5	4772	3,7
2055	71	467	8,5	4772	3,7
2060	71	467	8,5	4772	3,7
2065	64	473	8,5	4834	3,7
2070	64	473	8,5	4834	3,7
2075	64	473	0,3	4834	3,7
2080	64	453	0,0	4627	3,5
2085	64	453	0,0	4627	3,5
2090	50	384	0,0	3921	3,0
2095	33	256	0,0	2614	2,0
2100	14	110	0,0	1120	0,9
2105	5	37	0,0	373	0,3
2110	0	0	0,0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Ret UOX	Ret MOX	Comb. RHR entreposés	Comb. UOX entreposés	Comb. MOX entreposés	Total entrep.
2020	969	0		8979	3115	12094
2025	909	0		8466	3790	12256
2030	788	86		8294	4410	12703
2035	984	148	6,2	7468	4301	11776
2040	576	148	47,5	5646	4072	9765
2045	576	148	89,7	5278	3915	9283
2050	576	148	132,0	4902	3528	8562
2055	576	128	174,2	4417	3182	7773
2060	576	128	216,5	3873	2896	6985
2065	518	128	258,7	3559	2610	6428
2070	518	108	301,0	3328	2322	5951
2075	518	0	341,9	3102	2572	6016
2080	518	0	346,5	2877	2891	6114
2085	518	0	346,5	2611	3210	6167
2090	384	0	346,5	2686	3529	6562
2095	230	0	346,5	3289	3815	7450
2100	115	0	346,5	3949	4011	8307
2105	38	0	346,5	4318	4112	8777
2110	0	0	346,5	4609	4169	9124

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

	Inv. Total Pu (+am 241)	Pu (+am 241) sans emploi	Act. min.	Pu total + act. min.	Masse PF
2020	394	290	3	397	54
2025	429	327	15	444	311
2030	459	361	26	486	531
2035	484	347	40	524	741
2040	450	319	53	503	953
2045	428	316	65	493	1165
2050	412	300	76	488	1378
2055	406	303	88	494	1591
2060	406	301	100	506	1804
2065	398	315	111	509	2017
2070	400	301	123	523	2231
2075	391	328	132	523	2424
2080	412	351	140	552	2608
2085	433	372	148	581	2787
2090	446	398	155	601	2955
2095	460	428	160	620	3083
2100	465	451	163	628	3145
2105	468	464	164	633	3173
2110	472	472	165	636	3179

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol comb RHR Cond	Vol. Déc B Retrait.	Vol. Déc C Retrait.	Vol. Déc. B Réacteur	Vol total comb irrad
2020	0	262	107	5	0
2025	0	1565	637	30	0
2030	0	2724	1110	51	0
2035	191	4087	1665	71	191
2040	1471	5458	2224	91	1471
2045	2781	6435	2622	111	2781
2050	4090	7413	3020	131	4090
2055	5400	8379	3414	150	5400
2060	6710	9329	3801	170	6710
2065	8020	10217	4163	190	8020
2070	9329	11084	4516	210	9329
2075	10599	11802	4808	226	15744
2080	10740	12502	5093	240	16522
2085	10740	13201	5378	253	17160
2090	10740	13792	5619	265	17798
2095	10740	14181	5777	274	18369
2100	10740	14372	5855	278	18761
2105	10740	14455	5889	280	18965
2110	10740	14466	5893	280	28296

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)
(1 sur 2)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	29	26	6,1	61
2025	25	22	6,1	53
2030	15	16	6,1	38
2035	6	10	6,1	21
2040	0	3	6,1	9
2045	0	0	3,0	3
2050	0	0	0,0	0
2055	0	0	0,0	0
2060	0	0	0,0	0
2065	0	0	0,0	0
2070	0	0	0,0	0
2075	0	0	0,0	0
2080	0	0	0,0	0
2085	0	0	0,0	0
2090	0	0	0,0	0
2095	0	0	0,0	0
2100	0	0	0,0	0
2105	0	0	0,0	0
2110	0	0	0,0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-1	Parc prosp.	Energie cumulée	Nb de tranches Moxées	
					Cpy	EPR
2020	1,5	0,0	63,0	436	28	0
2025	1,5	0,0	54,2	2497	25	1
2030	7,7	1,1	46,5	4256	16	5
2035	18,4	7,4	47,1	6001	6	12
2040	30,6	7,4	46,8	7759	0	10
2045	36,7	7,4	47,2	9521	0	10
2050	39,8	7,4	47,2	11289	0	10
2055	39,8	7,4	47,2	13057	0	10
2060	39,8	7,4	47,2	14825	0	10
2065	39,8	7,4	47,2	16593	0	9
2070	39,8	7,4	47,2	18361	0	9
2075	39,8	0,3	40,1	19928	0	9
2080	38,3	0,0	38,3	21406	0	9
2085	38,3	0,0	38,3	22839	0	9
2090	32,1	0,0	32,1	24180	0	8
2095	21,4	0,0	21,4	25211	0	5
2100	9,2	0,0	9,2	25704	0	2
2105	3,1	0,0	3,1	25933	0	1
2110	0,0	0,0	0,0	25979	0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWhe)
(1 sur 2)

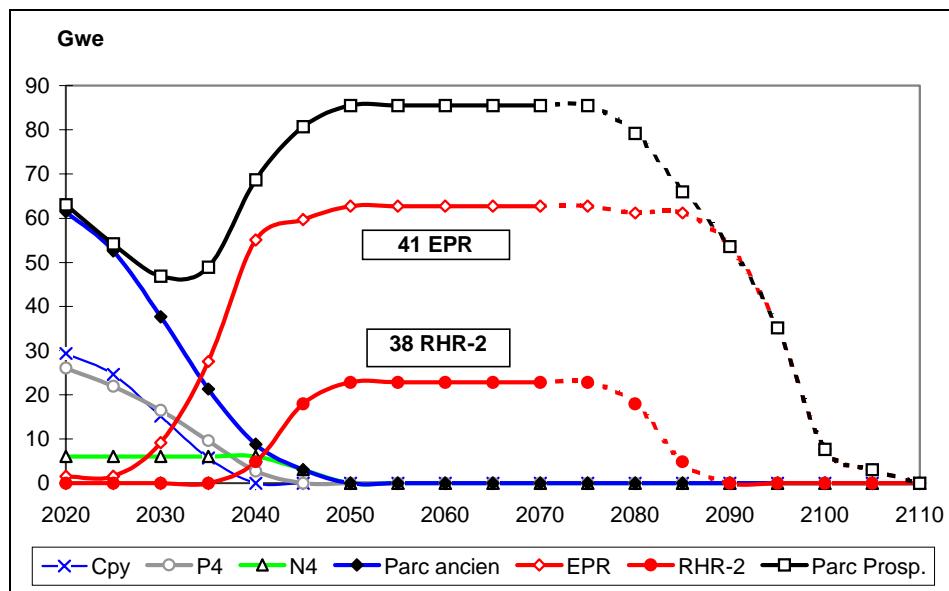
	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	28,1	25,0	5,8	58,9
2025	23,5	21,1	5,8	50,4
2030	14,5	15,8	5,8	36,1
2035	5,4	9,2	5,8	20,5
2040	0,0	2,6	5,8	8,4
2045	0,0	0,0	2,9	2,9
2050	0,0	0,0	0,0	0,0
2055	0,0	0,0	0,0	0,0
2060	0,0	0,0	0,0	0,0
2065	0,0	0,0	0,0	0,0
2070	0,0	0,0	0,0	0,0
2075	0,0	0,0	0,0	0,0
2080	0,0	0,0	0,0	0,0
2085	0,0	0,0	0,0	0,0
2090	0,0	0,0	0,0	0,0
2095	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0
2105	0,0	0,0	0,0	0,0
2110	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-1	Parc prosp.	Energie cumulée
2020	1,5	0,0	60,3	418
2025	1,5	0,0	51,9	2391
2030	7,3	1,0	44,3	4061
2035	17,4	6,5	44,3	5645
2040	29,0	6,5	43,9	7276
2045	34,8	6,5	44,2	8917
2050	37,7	6,5	44,2	10566
2055	37,7	6,5	44,2	12221
2060	37,7	6,5	44,2	13876
2065	37,7	6,5	44,2	15531
2070	37,7	6,5	44,2	17186
2075	37,7	0,2	37,9	18876
2080	36,3	0,0	36,3	20287
2085	36,3	0,0	36,3	21645
2090	30,5	0,0	30,5	22915
2095	20,3	0,0	20,3	23893
2100	8,7	0,0	8,7	24360
2105	2,9	0,0	2,9	24577
2110	0,0	0,0	0,0	24620

Puissance nette installée : scénario 6 85-EPR/MOX + RHR-2



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

5-47-EPR-MOX + RHR-2

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy, puis l'équivalent dans les EPR jusqu'en 2040; au-delà la proportion de MOX baisse

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7 %) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4 %) au-delà

Mise en service à partir de 2040 de RHR-2 de 600 MWe (rend. : 50 %), durée de vie Recyclage du Pu et des actinides mineurs

Le retraitement des MOX alimente les RHR-2

Puissance : 47 GWe

Données en tonnes et m³ pour les déchets - Données en tonnes et m³ pour les déchets (1 sur 4)

	MOX char	UOX char	comb. RHR-2 char	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	863	0	8239	6,2
2025	140	793	0	7572	5,7
2030	134	693	0	6595	5,0
2035	137	644	0	6309	4,8
2040	64	500	4	4997	3,8
2045	64	406	20	4099	3,1
2050	53	340	24	3479	2,7
2055	53	340	24	3479	2,7
2060	53	340	24	3479	2,7
2065	53	340	24	3479	2,7
2070	53	340	24	3479	2,7
2075	53	340	24	3479	2,7
2080	50	323	20	3296	2,5
2085	50	323	4	3296	2,5
2090	36	233	0	2381	1,8
2095	8	54	0	549	0,4
2100	0	0	0	0	0,0
2105	0	0	0	0	0,0
2110	0	0	0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 4)

	Ret MOX	Ret UOX	Ret RHR-2	Nb de tranches Moxées	
				Cpy	EPR
2020	0	969		28	0
2025	0	909		25	1
2030	0	951		16	6
2035	0	1109		6	15
2040	109	518		0	9
2045	273	518		0	9
2050	328	422		0	7
2055	283	422		0	7
2060	239	422		0	7
2065	239	422	1	0	7
2070	60	422	32	0	7
2075	60	422	32	0	7
2080	55	399	19	0	7
2085	40	399	0	0	7
2090	0	244	0	0	5
2095	0	22	0	0	1
2100	0	0	0	0	0
2105	0	0	0	0	0
2110	0	0	0	0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (3 sur 4)

	Comb. UOX	Comb. MOX	Comb. RHR2	Total
	Entrep.	Entrep.	Entrep.	
2020	8979	3115	0	12094
2025	8479	3790	0	12269
2030	8192	4507	0	12699
2035	6672	5027	0	11699
2040	5725	5588	0	11313
2045	5827	4957	12	10795
2050	5664	3681	96	9441
2055	5371	2563	210	8144
2060	4965	1499	328	6791
2065	4559	565	444	5568
2070	4154	529	401	5083
2075	3748	492	358	4598
2080	3387	481	331	4198
2085	3074	483	420	3977
2090	3045	700	454	4199
2095	3941	906	457	5304
2100	4568	975	457	6000
2105	4586	975	457	6018
2110	4586	975	457	6018

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (4 sur 4)

	Inv. Total Pu (+ Am241)	Pu (+Am241) sans emploi	Act. min.	Pu total + Act. min.	PF
2020	394	290	3	397	54
2025	428	326	15	443	312
2030	457	362	26	483	532
2035	479	372	38	516	747
2040	493	392	48	541	944
2045	497	362	49	546	1139
2050	477	321	47	524	1329
2055	462	322	44	506	1516
2060	452	312	41	493	1703
2065	420	280	38	458	1890
2070	395	255	35	430	2077
2075	370	229	32	401	2264
2080	332	213	29	361	2448
2085	306	245	31	337	2597
2090	308	275	36	344	2716
2095	311	304	38	349	2766
2100	317	317	38	355	2768
2105	317	317	38	356	2768
2110	317	317	38	356	2768

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol. Déc B	Vol. Déc C	Vol. Déc B	Vol comb
	Retrait.	Retrait.	Réacteur	irrad cond
2020	262	107	5	
2025	1565	637	30	
2030	2754	1122	51	
2035	4132	1684	68	
2040	5355	2182	82	
2045	6370	2595	99	
2050	7450	3035	116	
2055	8401	3423	133	
2060	9329	3801	150	
2065	10222	4164	168	
2070	10915	4447	185	
2075	11609	4729	202	
2080	12279	5003	219	
2085	12892	5252	231	7954
2090	13344	5436	240	8397
2095	13493	5497	245	10607
2100	13493	5497	246	12000
2105	13493	5497	247	12036
2110	13493	5497	247	12036

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)
(1 sur 2)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	29	26	6,1	61
2025	25	22	6,1	53
2030	15	16	6,1	38
2035	5,7	10	6,1	21
2040	0	2,7	6,1	8,8
2045	0	0	3,0	3,0
2050	0	0	0,0	0
2055	0	0	0,0	0
2060	0	0	0,0	0
2065	0	0	0,0	0
2070	0	0	0,0	0
2075	0	0	0,0	0
2080	0	0	0,0	0
2085	0	0	0,0	0
2090	0	0	0,0	0
2095	0	0	0,0	0
2100	0	0	0,0	0
2105	0	0	0,0	0
2110	0	0	0,0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-2	Parc prosp	Energie cumulée
2020	1,5	0	63	436
2025	1,5	0	54	2497
2030	9,2	0	47	4259
2035	24	0	46	5985
2040	29	3,0	41	7567
2045	29	15	47	9292
2050	29	18	47	11059
2055	29	18	47	12822
2060	29	18	47	14585
2065	29	18	47	16347
2070	29	18	47	18110
2075	29	18	47	19873
2080	28	15	43	21602
2085	28	3,0	31	22894
2090	20	0	20	23862
2095	4,6	0	5	24263
2100	0	0	0	24275
2105	0	0	0	24275
2110	0	0	0	24275

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)
(1 sur 2)

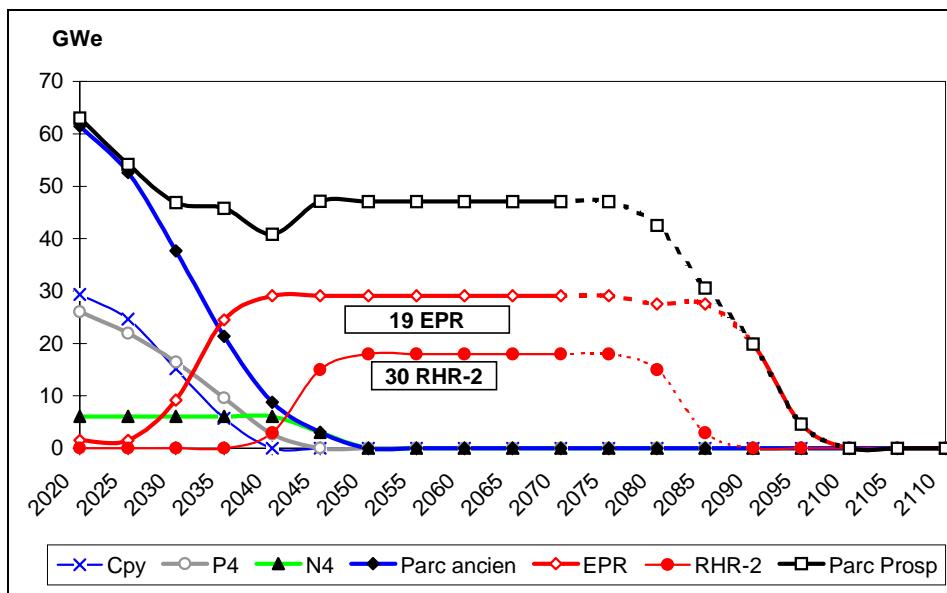
	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	28,1	25,0	5,8	58,9
2025	23,5	21,1	5,8	50,4
2030	14,5	15,8	5,8	36,1
2035	5,4	9,2	5,8	20,5
2040	0,0	2,6	5,8	8,4
2045	0,0	0,0	2,9	2,9
2050	0,0	0,0	0,0	0,0
2055	0,0	0,0	0,0	0,0
2060	0,0	0,0	0,0	0,0
2065	0,0	0,0	0,0	0,0
2070	0,0	0,0	0,0	0,0
2075	0,0	0,0	0,0	0,0
2080	0,0	0,0	0,0	0,0
2085	0,0	0,0	0,0	0,0
2090	0,0	0,0	0,0	0,0
2095	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0
2105	0,0	0,0	0,0	0,0
2110	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-2	Parc prosp	Energie cumulée
2020	1,5	0,0	60,3	418
2025	1,5	0,0	51,9	2391
2030	8,7	0,0	44,8	4072
2035	23,2	0,0	43,7	5701
2040	27,6	2,6	38,6	7146
2045	27,6	13,1	43,6	8591
2050	27,6	15,7	43,3	10166
2055	27,6	15,7	43,3	11787
2060	27,6	15,7	43,3	13407
2065	27,6	15,7	43,3	15028
2070	27,6	15,7	43,3	16648
2075	27,6	15,7	43,3	18269
2080	26,1	13,1	39,2	19906
2085	26,1	2,6	28,7	21529
2090	18,9	0,0	18,9	22615
2095	4,4	0,0	4,4	22995
2100	0,0	0,0	0,0	23006
2105	0,0	0,0	0,0	23006
2110	0,0	0,0	0,0	23006

Puissance brute installée : scénario 5 47-EPR/MOX + RHR-2



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

6 85-EPR-MOX + RHR-2

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy puis l'équivalent dans EPR jusqu'en 2040; au delà la proportion de MOX baisse

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au delà

TCT MOX : 49 GWj/t (T Pu = 8,7 %) jusqu'en 2035, 55 GWj/t (T Pu = 10,4 %) au-delà

Mise en service à partir de 2040 de RHR-2 de 600 MWe (rend. : 50 %), durée de vie 40 ans

Recyclage du Pu et des actinides mineurs

Le retraitement des MOX alimente les RHR-2

Puissance : 85 GWe

Données en tonnes - Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2110 (1 sur 3)

	MOX char	UOX char	RHR-2	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	863	0	8239	6,2
2025	140	793	0	7572	5,7
2030	134	693	0	6595	5,0
2035	137	722	0	7107	5,4
2040	92	821	6	8276	6,3
2045	92	788	24	8000	6,1
2050	92	753	30	7698	5,9
2055	92	753	30	7698	5,9
2060	92	753	30	7698	5,9
2065	92	753	30	7698	5,9
2070	92	753	30	7698	5,9
2075	92	753	30	7698	5,9
2080	92	733	24	7490	5,7
2085	92	733	6	7490	5,7
2090	75	646	0	6603	5,1
2095	49	425	0	4339	3,3
2100	11	92	0	943	0,7
2105	4	37	0	377	0,3
2110	0	0	0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Ret. MOX	Ret. UOX	Ret. RHR-2	Comb. UOX entrep.	Comb. MOX entrep.	Comb. RHR2 entrep.
2020	0	969		8979	3115	0
2025	0	909		8479	3790	0
2030	0	951		8192	4507	0
2035	0	1116		6653	5177	0
2040	120	748		5326	5688	0
2045	382	748		5427	4874	15
2050	358	748		5613	3360	113
2055	358	748		5705	2028	259
2060	307	748	0	5729	953	408
2065	95	748	37	5753	514	445
2070	95	748	37	5777	500	409
2075	95	748	37	5801	485	372
2080	95	748	26	5825	471	346
2085	55	748	2	5829	496	431
2090	0	574	0	6239	937	475
2095	0	313	0	7543	1312	478
2100	0	87	0	9469	1545	478
2105	0	35	0	10134	1614	478
2110	0	0	0	10560	1646	478

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

	Inv. Total Pu (+Am241)	Pu (+Am241) sans emploi	Act. min.	Pu Total + Act. Min.	PF
2020	394	290	3	397	54
2025	428	326	15	443	312
2030	457	362	26	483	532
2035	491	380	38	528	751
2040	513	392	50	563	1032
2045	541	354	57	598	1358
2050	549	342	58	607	1713
2055	536	318	54	590	1892
2060	529	322	49	579	2070
2065	512	305	45	557	2248
2070	495	288	41	536	2426
2075	479	271	36	515	2604
2080	440	260	32	472	2783
2085	410	298	36	446	2984
2090	431	356	45	477	3202
2095	452	403	54	506	3422
2100	457	446	62	519	3642
2105	464	460	69	533	3862
2110	468	468	75	543	4082

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol. Déc B Retrait.	Vol. Déc C Retrait.	Vol. déc B Réacteur	Vol Comb irrad cond
2020	262	107	5	
2025	1565	637	30	
2030	2754	1122	51	
2035	4138	1686	68	
2040	5502	2242	89	
2045	6881	2803	114	
2050	8424	3432	144	
2055	9918	4041	175	
2060	11344	4621	206	
2065	12627	5144	237	
2070	13816	5629	267	
2075	15004	6113	298	
2080	16190	6596	328	
2085	17331	7061	354	
2090	18217	7422	374	15302
2095	18814	7665	389	18667
2100	19002	7741	395	22984
2105	19086	7776	399	24451
2110	19096	7780	399	25369

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)
(1 sur 2)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	29	26	6	61
2025	25	22	6	53
2030	15	16	6	38
2035	6	10	6	21
2040	0	3	6	9
2045	0	0	3	3
2050	0	0	0	0
2055	0	0	0	0
2060	0	0	0	0
2065	0	0	0	0
2070	0	0	0	0
2075	0	0	0	0
2080	0	0	0	0
2085	0	0	0	0
2090	0	0	0	0
2095	0	0	0	0
2100	0	0	0	0
2105	0	0	0	0
2110	0	0	0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-2	Parc Prosp.	Energie cumulée	Nb de tranches Moxées	
					Cpy	EPR
2020	2	0	63	436	28	0
2025	2	0	54	2497	25	1
2030	9	0	47	4259	16	6
2035	28	0	49	6019	6	15
2040	55	5	69	8279	0	13
2045	60	18	81	11064	0	13
2050	63	23	86	14236	0	13
2055	63	23	86	15996	0	13
2060	63	23	86	17757	0	13
2065	63	23	86	19518	0	13
2070	63	23	86	21278	0	13
2075	63	23	86	23039	0	13
2080	61	18	79	24800	0	13
2085	61	5	66	26560	0	13
2090	54	0	54	28321	0	10
2095	35	0	35	30082	0	7
2100	8	0	8	31843	0	2
2105	3	0	3	33603	0	1
2110	0	0	0	35364	0	0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)
(1 sur 2)

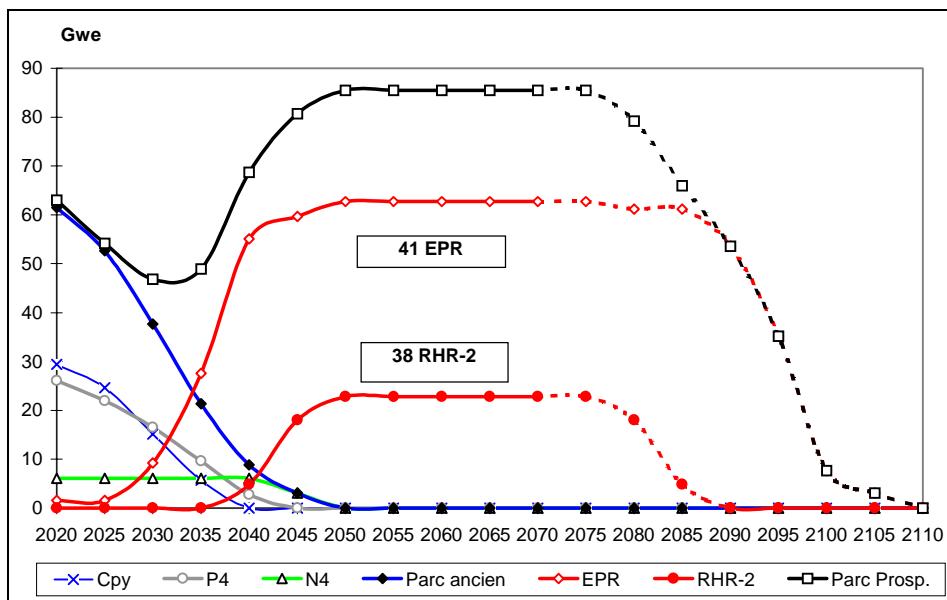
	Cpy	P4	N4	Parc ancien
2020	28,1	25,0	5,8	58,9
2025	23,5	21,1	5,8	50,4
2030	14,5	15,8	5,8	36,1
2035	5,4	9,2	5,8	20,5
2040	0,0	2,6	5,8	8,4
2045	0,0	0,0	2,9	2,9
2050	0,0	0,0	0,0	0,0
2055	0,0	0,0	0,0	0,0
2060	0,0	0,0	0,0	0,0
2065	0,0	0,0	0,0	0,0
2070	0,0	0,0	0,0	0,0
2075	0,0	0,0	0,0	0,0
2080	0,0	0,0	0,0	0,0
2085	0,0	0,0	0,0	0,0
2090	0,0	0,0	0,0	0,0
2095	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0
2105	0,0	0,0	0,0	0,0
2110	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	EPR	RHR-2	Parc prospec.	Energie cumulée
2020	1,5	0,0	60,3	418
2025	1,5	0,0	51,9	2391
2030	8,7	0,0	44,8	4072
2035	26,1	0,0	46,6	5732
2040	52,2	4,2	64,8	7814
2045	56,6	15,7	75,2	10306
2050	59,5	19,9	79,4	13209
2055	59,5	19,9	79,4	14843
2060	59,5	19,9	79,4	16476
2065	59,5	19,9	79,4	18110
2070	59,5	19,9	79,4	19744
2075	59,5	19,9	79,4	21378
2080	58,0	15,7	73,7	23084
2085	58,0	4,2	62,2	25028
2090	50,8	0,0	50,8	26840
2095	33,4	0,0	33,4	28509
2100	7,3	0,0	7,3	30178
2105	2,9	0,0	2,9	31846
2110	0,0	0,0	0,0	33515

Puissance nette installée : scénario 6 85-EPR/MOX + RHR-2



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

7-47-EPR-UOX

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy jusqu'en 2010, date d'arrêt du retraitement

TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

**Données en tonnes - Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2110
(1 sur 2)**

	UOX char	Bes Unat	Bes. MUTS
2020	979	9356	7,0
2025	906	8652	6,5
2030	805	7649	5,7
2035	733	7220	5,5
2040	677	6803	5,2
2045	664	6734	5,1
2050	629	6432	4,9
2055	629	6432	4,9
2060	629	6432	4,9
2065	629	6432	4,9
2070	629	6432	4,9
2075	629	6432	4,9
2080	609	6224	4,8
2085	609	6224	4,8
2090	508	5187	4,0
2095	305	3112	2,4
2100	122	1245	1,0
2105	41	415	0,3
2110	0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (2 sur 2)

	Inv. total Pu (+Am 241)	Pu (+Am 241) sans emploi	Act. Min.	Pu tot. + Act. min.	Masse PF	Comb. REP entrep.
2020	414	380	2	415	54	23417
2025	474	443	9	484	310	28362
2030	531	503	16	547	528	33054
2035	585	556	22	607	742	37171
2040	623	593	29	652	957	38984
2045	658	624	35	693	1176	42530
2050	692	667	42	734	1396	45871
2055	734	709	49	783	1617	49121
2060	774	749	55	829	1837	52267
2065	814	789	62	876	2057	55414
2070	855	830	69	923	2277	58561
2075	895	870	75	970	2498	61708
2080	934	910	82	1016	2717	64854
2085	975	950	88	1063	2930	68001
2090	1010	989	94	1104	3130	71046
2095	1039	1027	98	1138	3265	74010
2100	1059	1055	100	1160	3330	76142
2105	1071	1069	101	1172	3359	77258
2110	1076	1076	101	1178	3364	77847

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol comb irr. cond	Vol. déc B réacteur
2020	46834	5
2025	56723	30
2030	66108	51
2035	74343	68
2040	77969	84
2045	85059	100
2050	91742	116
2055	98242	132
2060	104535	148
2065	110828	164
2070	117122	180
2075	123415	196
2080	129708	212
2085	136002	227
2090	142092	242
2095	148020	252
2100	152283	257
2105	154516	259
2110	155694	259

Energie brute cumulée (TWh)

	Energ. cum.
2020	436
2025	2497
2030	4259
2035	5985
2040	7716
2045	9486
2050	11262
2055	13038
2060	14814
2065	16590
2070	18367
2075	20143
2080	21908
2085	23626
2090	25242
2095	26331
2100	26858
2105	27087
2110	27133

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc Prosp.
2020	29,4	26,1	6,1	61,5	1,5	63,0
2025	24,6	22,0	6,1	52,6	1,5	54,2
2030	15,2	16,5	6,1	37,7	9,2	46,9
2035	5,7	9,6	6,1	21,4	24,5	45,8
2040	0,0	2,7	6,1	8,8	38,3	47,1
2045	0,0	0,0	3,0	3,0	44,4	47,4
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	47,4
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	45,9
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	45,9
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	38,3	38,3
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	23,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	9,2
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	EPR	Parc prosp.	Energ. cum.
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	1,5	60,3	418
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	1,5	51,9	2391
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	8,7	44,8	4072
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	23,2	43,7	5701
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	36,3	44,7	7327
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	42,1	45,0	8995
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	10679
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	12364
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	14048
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	15732
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	17406
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	45,0	19090
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	20762
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	43,5	22391
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3	36,3	23922
2095	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	21,8	24954
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	8,7	25454
2105	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	25671
2110	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25714

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

8 33-RHR-1U

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy jusqu'en 2010, date d'arrêt du retraitement

Les REP actuels ne sont pas remplacés

A partir de 2030, mise en service de RHR-1 à Uenr. (U235 = 20 %) durée de vie 40 ans

A partir de 2030, maintien de la puissance installée à 30 GWe
TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

**Données en tonnes- Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2090
(1 sur 3)**

	UOX char	RHR-1 char	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	958	0	9158	6,9
2025	884	0	8447	6,4
2030	667	0	6381	4,8
2035	408	63	6013	5,0
2040	169	125	5792	5,2
2045	75	153	5806	5,4
2050	0	167	5569	5,4
2055	0	167	5569	5,4
2060	0	167	5569	5,4
2065	0	167	5569	5,4
2070	0	167	5569	5,4
2075	0	104	3457	3,3
2080	0	42	1392	1,3
2085	0	14	480	0,5
2090	0	0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Comb REP entrep.	Comb. RHR-1 Uenr. entrep.	Total
2020	23417		23417
2025	28340		28340
2030	32811		32811
2035	36391		36391
2040	38774	307	39081
2045	40050	913	40963
2050	40638	1662	42300
2055	40788	2490	43278
2060	40788	3325	44113
2065	40788	4160	44948
2070	40788	4995	45784
2075	40788	5831	46619
2080	40788	6359	47147
2085	40788	6588	47376
2090	40788	6682	47470

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

	Inv. Total Pu (+Am241)	Pu (+Am241) sans emploi	Act. Min.	Pu total + Act. Min.	PF
2020	415	382	2	417	53
2025	465	439	9	474	304
2030	516	497	15	531	505
2035	558	542	19	578	656
2040	588	578	23	611	801
2045	612	605	26	639	940
2050	630	626	29	659	1076
2055	647	642	32	679	1210
2060	661	657	35	696	1345
2065	676	671	38	714	1479
2070	690	686	41	731	1614
2075	703	701	43	746	1727
2080	711	710	44	755	1777
2085	714	714	44	759	1800
2090	715	715	45	760	1804

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol Comb. UOX Cond	Vol Comb RHR Cond	Vol. Déc B réacteur	Vol total comb. Cond.
2020	46834	0	5	46834
2025	56680	0	30	56680
2030	65623	0	49	65623
2035	72782	0	65	72782
2040	77548	2454	88	80002
2045	80100	7304	114	87404
2050	81276	13294	142	94571
2055	81576	19918	171	101495
2060	81576	26600	200	108176
2065	81576	33281	229	114858
2070	81576	39963	258	121539
2075	81576	46644	282	128221
2080	81576	50872	293	132449
2085	81576	52704	298	134280
2090	81576	53456	299	135032

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)

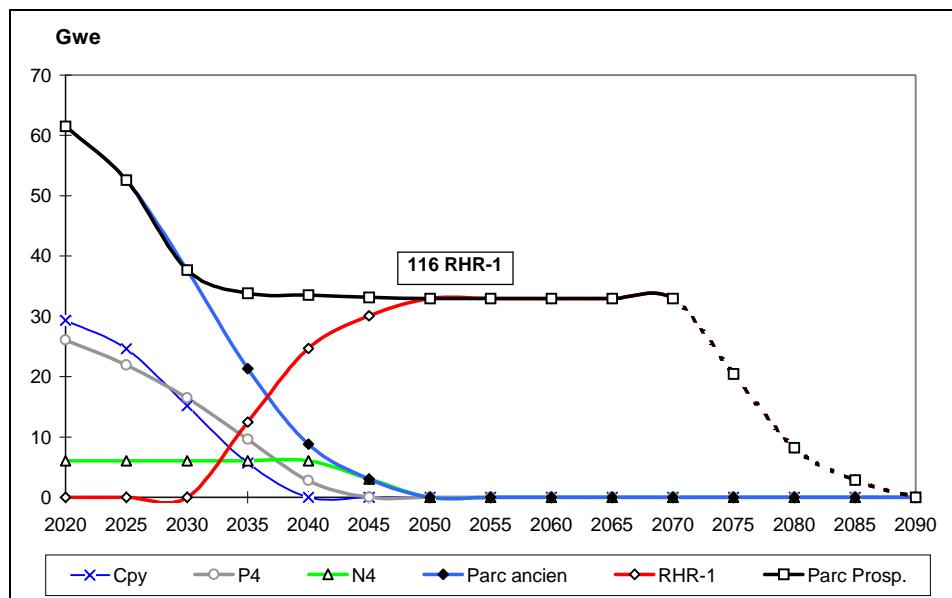
	Cpy	P4	N4	Parc ancien	RHR-1	Parc Prosp.	Energie cumulée
2020	29	26	6,1	61	0	61	426
2025	25	22	6,1	53	0	53	2432
2030	15	16	6,1	38	0	38	4038
2035	6	10	6,1	21	12	34	5274
2040	0	3	6,1	9	25	34	6530
2045	0	0	3,0	3	30	33	7776
2050	0	0	0,0	0	33	33	9013
2055	0	0	0,0	0	33	33	10246
2060	0	0	0,0	0	33	33	11480
2065	0	0	0,0	0	33	33	12714
2070	0	0	0,0	0	33	33	13947
2075	0	0	0,0	0	20	20	14985
2080	0	0	0,0	0	8	8	15445
2085	0	0	0,0	0	3	3	15656
2090	0	0	0,0	0	0	0	15698

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	RHR-1	Parc Prospl.	Energie cumulée
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	0	58,9	408
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	0	50,4	2330
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	0	36,1	3868
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	11	31,4	4887
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	22	30,0	5847
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	26	29,2	6850
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	7870
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	8947
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	10025
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	11102
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	12179
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	18	17,9	13086
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	7	7,2	13487
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	2	2,5	13671
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	13708

Puissance brute installée : scénario 8 33-RHR-1U



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

9 33-RHR-1Pu-U

Scénario mono-recyclage du Pu sous forme de MOX dans les REP : 30 % dans les 28 Cpy jusqu'à leurs arrêts

Les REP actuels ne sont pas remplacés

A partir de 2030, mise en service de RHR-1 Pu pour recycler le Pu des MOX
durée de vie 40 ans

Dès que le stock de Pu est épuisé les RHR-1Pu sont transformés en RHR-1U

A partir de 2030, maintien de la puissance installée à 30 GWe
TCT UOX : 57 GWj/t jusqu'en 2035 (U235 = 4,5 %), 64 GWj/t (U235 = 4,95 %) au-delà

Données en tonnes - Actinides mineurs et PF produits entre 2020 et 2090 (1 sur 3)

	MOX char	UOX char	RHR1- Pu char	RHR1-U char	Bes. Unat	Bes. MUTS
2020	135	841	0		8044	6,1
2025	124	777	0		7434	5,6
2030	82	597	0		5709	4,3
2035	0	408	14		3905	2,9
2040	0	169	28		1616	1,2
2045	0	75	34		722	0,5
2050	0	0	38		0	0,0
2055	0	0	0	167	5568	5,4
2060	0	0		167	5568	5,4
2065	0	0		167	5568	5,4
2070	0	0		167	5568	5,4
2075	0			104	3456	3,3
2080	0			42	1392	1,3
2085	0			14	480	0,5
2090	0			0	0	0,0

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

suite (2 sur 3)

	Ret UOX	Ret MOX	Comb UOX entrep.	RHR-1Pu entrep.	Comb MOX entrep.	RHR-1U entrep.
2020	969	0	8979		3115	
2025	796	0	8900		3790	
2030	373	0	10640		4410	
2035	614	176	10942		4422	
2040	972	278	8982	48	3235	
2045	1184	338	4672	176	1639	
2050	0	0	188	339	189	
2055	0	0	338	487	189	334
2060	0	0	338	487	189	1169
2065	0	0	338	487	189	2004
2070	0	0	338	487	189	2840
2075	0	0	338	487	189	3675
2080	0	0	338	487	189	4203
2085	0	0	338	487	189	4432
2090	0	0	338	487	189	4526

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

fin (3 sur 3)

	Inv. Total Pu (+Am241)	Pu (+Am241) sans emploi	Act. Min.	Pu total + Act. Min.	PF
2020	390	290	3	393	53
2025	422	335	15	437	304
2030	442	395	24	466	505
2035	475	394	32	507	654
2040	446	313	43	489	790
2045	357	201	56	413	918
2050	234	104	70	305	1040
2055	158	152	73	231	1174
2060	177	171	76	253	1309
2065	196	190	79	275	1443
2070	215	209	82	296	1578
2075	231	228	84	315	1691
2080	241	240	85	326	1741
2085	245	245	86	331	1764
2090	247	247	86	333	1768

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Volume (m³) déchets

	Vol comb RHR cond	Vol. déc B réacteur	Vol. déc B ret	Vol. déc C ret
2020	0	5	262	107
2025	0	30	1459	594
2030	0	49	2299	937
2035	0	65	3013	1227
2040	1481	88	4548	1853
2045	5471	114	6488	2643
2050	10508	142	8249	3361
2055	17755	171	8249	3361
2060	24437	200	8249	3361
2065	31118	229	8249	3361
2070	37800	258	8249	3361
2075	44481	282	8249	3361
2080	48709	293	8249	3361
2085	50541	298	8249	3361
2090	51290	299	8249	3361

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Puissance brute installée (GWe), énergie brute cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	RHR-1	Parc prosp.	Energie cumulée
2020	29	26	6,1	61	0	61	426
2025	25	22	6,1	53	0	53	2432
2030	15	16	6,1	38	0	38	4038
2035	6	10	6,1	21	12	34	5274
2040	0	3	6,1	9	25	34	6530
2045	0	0	3,0	3	30	33	7776
2050	0	0	0,0	0	33	33	9013
2055	0	0	0,0	0	33	33	10246
2060	0	0	0,0	0	33	33	11480
2065	0	0	0,0	0	33	33	12714
2070	0	0	0,0	0	33	33	13947
2075	0	0	0,0	0	20	20	14985
2080	0	0	0,0	0	8	8	15445
2085	0	0	0,0	0	3	3	15656
2090	0	0	0,0	0	0	0	15698

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

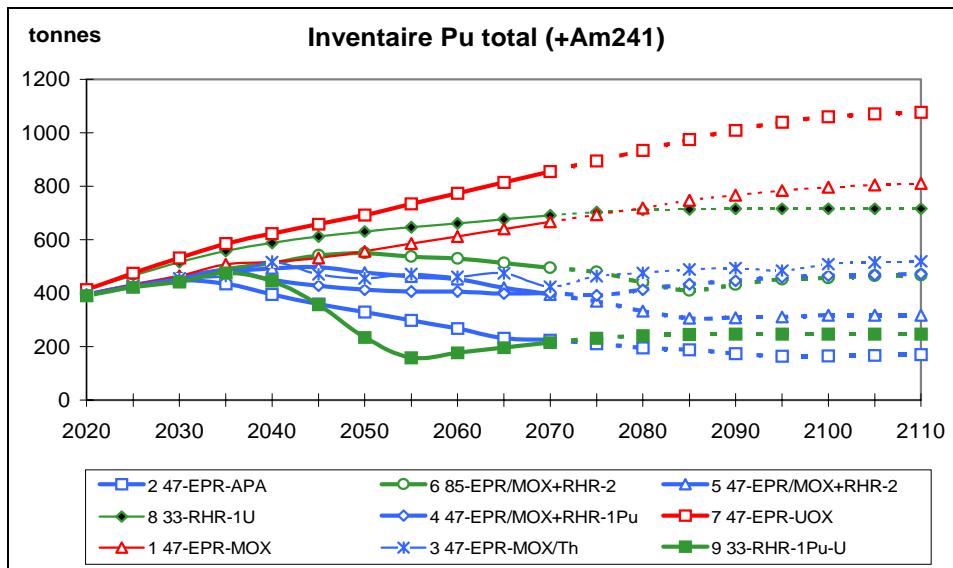
Puissance nette installée (GWe), énergie nette cumulée (TWh)

	Cpy	P4	N4	Parc ancien	RHR-1	Parc Prospl.	Energie cumulée
2020	28,1	25,0	5,8	58,9	0	58,9	408
2025	23,5	21,1	5,8	50,4	0	50,4	2330
2030	14,5	15,8	5,8	36,1	0	36,1	3868
2035	5,4	9,2	5,8	20,5	11	31,4	4887
2040	0,0	2,6	5,8	8,4	22	30,0	5847
2045	0,0	0,0	2,9	2,9	26	29,2	6850
2050	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	7870
2055	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	8947
2060	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	10025
2065	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	11102
2070	0,0	0,0	0,0	0,0	29	28,8	12179
2075	0,0	0,0	0,0	0,0	18	17,9	13086
2080	0,0	0,0	0,0	0,0	7	7,2	13487
2085	0,0	0,0	0,0	0,0	2	2,5	13671
2090	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	13708

- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire Pu total (+ Am 241) en tonnes

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	394	394	394	415	394	414	394	394	390
2025	424	428	428	465	429	474	431	428	422
2030	448	457	457	516	459	531	465	455	442
2035	434	491	479	558	484	585	508	464	475
2040	395	513	493	588	450	623	517	516	446
2045	359	541	497	612	428	658	531	470	357
2050	329	549	477	630	412	692	557	455	234
2055	299	536	462	647	406	734	585	471	158
2060	267	529	452	661	406	774	612	461	177
2065	231	512	420	676	398	814	639	474	196
2070	224	495	395	690	400	855	667	424	215
2075	211	479	370	703	391	895	694	463	231
2080	194	440	332	711	412	934	718	476	241
2085	188	410	306	714	433	975	747	488	245
2090	174	431	308	715	446	1010	767	494	247
2095	164	452	311	715	460	1039	784	485	247
2100	165	457	317	715	465	1059	796	508	247
2105	167	464	317	715	468	1071	805	515	247
2110	170	468	317	715	472	1076	810	519	247

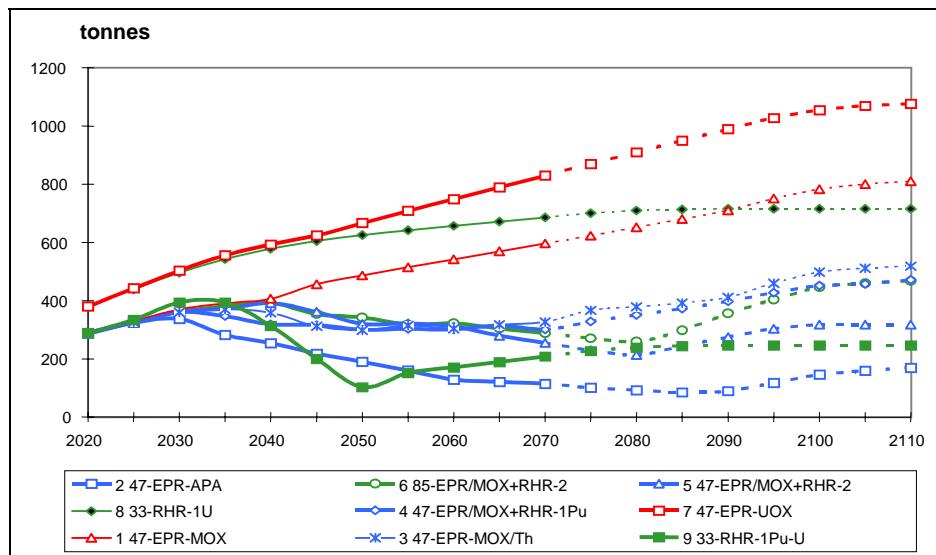


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire Pu sans emploi en tonnes

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	286	290	290	382	290	380	290	290	290
2025	324	326	326	439	327	443	328	326	335
2030	337	362	362	497	361	503	370	360	395
2035	283	380	372	542	347	556	390	370	394
2040	254	392	392	578	319	593	407	358	313
2045	219	354	362	605	316	624	457	312	201
2050	190	342	321	626	300	667	486	298	104
2055	160	318	322	642	303	709	515	315	152
2060	129	322	312	657	301	749	542	305	171
2065	121	305	280	671	315	789	569	317	190
2070	114	288	255	686	301	830	596	327	209
2075	101	271	229	701	328	870	623	367	228
2080	92	260	213	710	351	910	651	379	240
2085	85	298	245	714	372	950	681	392	245
2090	90	356	275	715	398	989	711	412	247
2095	118	403	304	715	428	1027	750	460	247
2100	146	446	317	715	451	1055	783	498	247
2105	159	460	317	715	458	1069	800	512	247
2110	170	468	317	715	472	1076	810	519	247

Inventaires Pu sans emploi

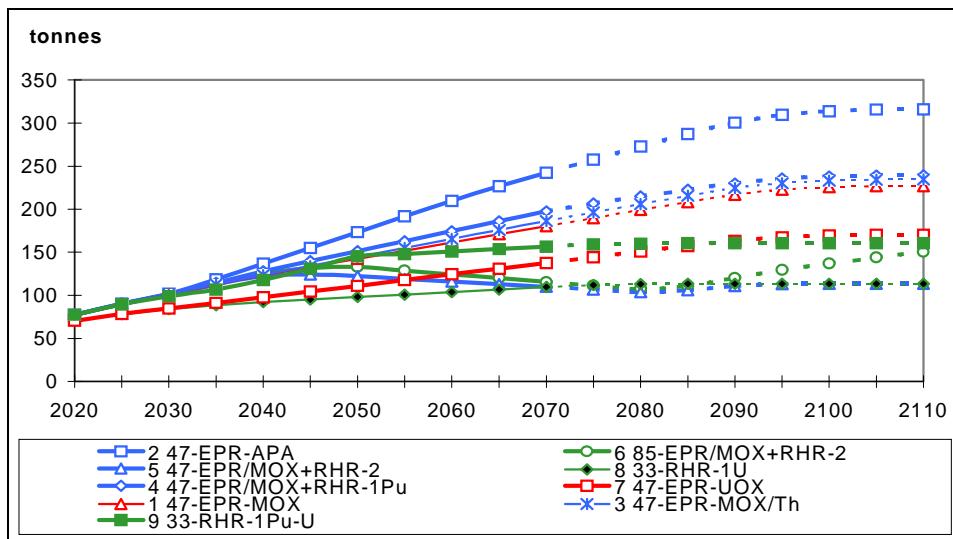


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire actinides mineurs en tonnes

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	78	78	78	71	78	71	78	78	78
2025	91	90	90	78	90	78	90	90	90
2030	102	101	101	84	101	85	101	101	99
2035	119	113	113	88	115	91	113	113	107
2040	137	125	123	92	128	98	124	124	118
2045	155	132	124	95	140	104	133	134	131
2050	173	133	122	98	151	111	142	145	145
2055	192	129	119	101	163	118	152	155	148
2060	210	124	116	104	175	124	161	166	151
2065	227	120	113	107	186	131	171	176	154
2070	242	116	110	110	198	138	180	186	157
2075	258	111	107	112	207	144	190	196	159
2080	273	107	104	113	215	151	199	206	160
2085	287	111	106	113	223	157	208	216	161
2090	301	120	111	114	230	163	217	225	161
2095	310	129	113	114	235	167	223	230	161
2100	314	137	113	114	238	169	225	233	161
2105	316	144	113	114	239	170	227	234	161
2110	316	150	113	114	240	170	227	234	161

Inventaires actinides mineurs produits

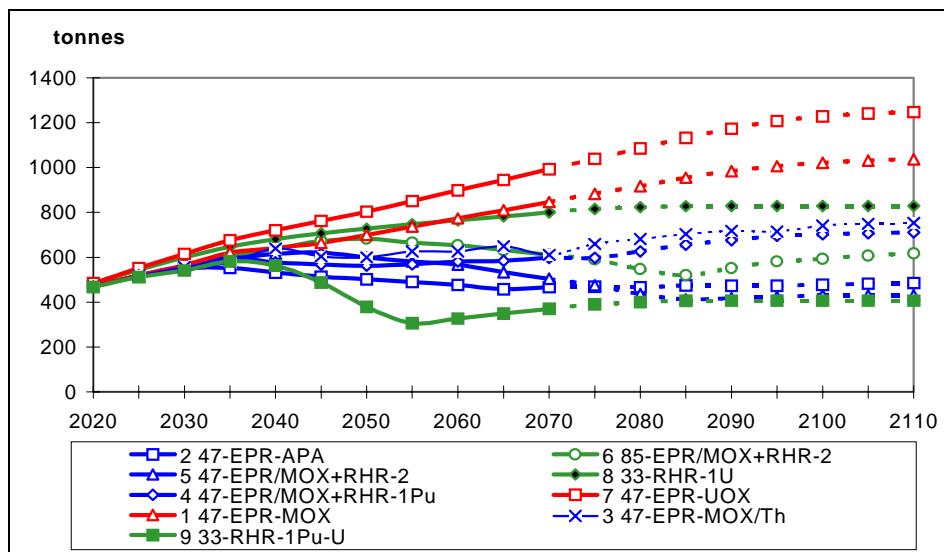


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire Pu total + actinides mineurs en tonnes

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MO X+RHR-2	5 47-EPR/MO X+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MO X+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	472	472	472	486	472	484	472	472	468
2025	514	518	518	543	519	553	521	518	512
2030	550	558	558	600	561	616	566	556	541
2035	553	603	591	647	599	676	620	577	582
2040	532	638	616	680	578	721	641	640	564
2045	514	673	621	708	568	762	664	604	488
2050	502	682	599	728	563	803	699	600	380
2055	490	665	581	748	569	852	737	627	306
2060	477	654	568	765	581	898	774	627	328
2065	458	632	533	783	584	945	810	650	350
2070	467	611	505	800	598	992	847	611	371
2075	469	590	476	815	598	1039	884	660	390
2080	467	547	436	824	627	1085	917	682	401
2085	475	521	412	828	656	1132	956	704	406
2090	474	552	419	829	676	1173	983	718	408
2095	473	581	424	829	695	1207	1006	715	408
2100	478	594	430	829	703	1229	1022	741	408
2105	482	608	431	829	708	1241	1031	750	408
2110	486	618	431	829	711	1247	1037	754	408

Inventaire Pu total + actinides mineurs

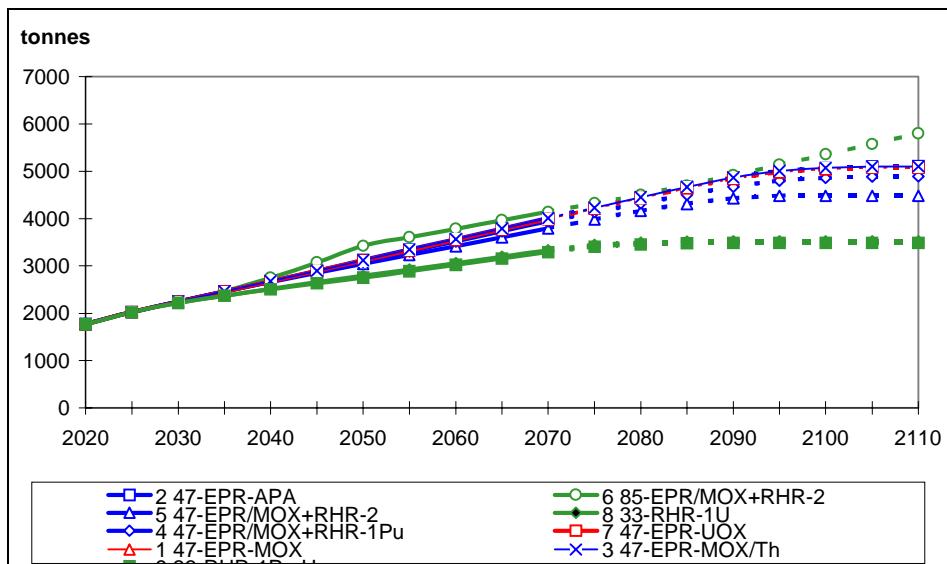


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire produits de fission en tonnes

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	1771	1770	1770	1769	1770	1770	1770	1770	1769
2025	2028	2028	2028	2020	2027	2026	2026	2028	2020
2030	2248	2248	2248	2221	2247	2244	2244	2248	2221
2035	2464	2467	2463	2372	2457	2458	2458	2463	2370
2040	2681	2748	2660	2517	2669	2673	2673	2679	2506
2045	2902	3074	2855	2656	2881	2892	2892	2900	2634
2050	3124	3429	3045	2792	3094	3112	3112	3122	2756
2055	3346	3608	3232	2926	3307	3333	3333	3344	2890
2060	3568	3786	3419	3061	3520	3553	3553	3566	3025
2065	3790	3964	3606	3195	3733	3773	3773	3788	3159
2070	4012	4142	3793	3330	3947	3993	3993	4010	3294
2075	4234	4320	3980	3443	4140	4214	4214	4231	3407
2080	4454	4499	4164	3493	4324	4433	4433	4452	3457
2085	4669	4700	4313	3516	4503	4646	4646	4667	3480
2090	4871	4918	4432	3520	4671	4846	4846	4868	3484
2095	5007	5138	4482	3520	4799	4981	4981	5004	3484
2100	5073	5358	4484	3520	4861	5046	5046	5070	3484
2105	5102	5578	4484	3520	4889	5075	5075	5099	3484
2110	5108	5798	4484	3520	4895	5080	5080	5105	3484

Inventaire PF

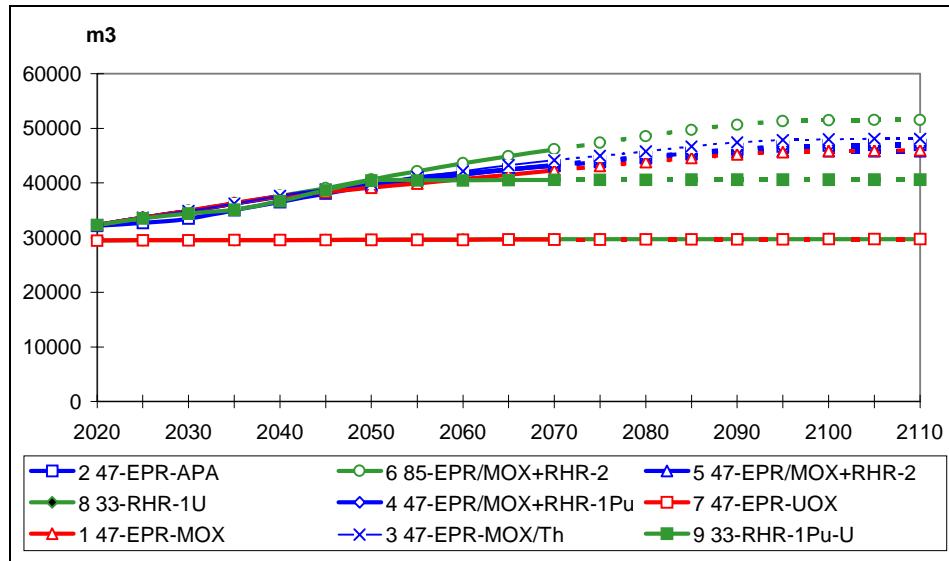


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire des déchets B conditionnés (m³)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-OUX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	32192	32323	32323	29472	32323	29472	32323	32323	32323
2025	32684	33651	33651	29497	33651	29497	33651	33651	33544
2030	33475	34860	34860	29516	34831	29518	34860	34860	34404
2035	35011	36262	36256	29532	36214	29535	36305	36256	35133
2040	36516	37646	37494	29555	37605	29551	37531	37629	36692
2045	38054	39051	38525	29581	38602	29567	38323	38791	38657
2050	39519	40625	39622	29609	39599	29583	39116	39953	40447
2055	40984	42150	40590	29638	40586	29599	39909	41075	40476
2060	41789	43605	41535	29667	41555	29615	40702	42177	40505
2065	42502	44919	42445	29696	42463	29631	41495	43240	40534
2070	43192	46139	43156	29725	43350	29647	42288	44151	40563
2075	43969	47358	43867	29749	44085	29663	43081	44944	40587
2080	44729	48574	44554	29760	44797	29679	43854	45737	40598
2085	45477	49741	45179	29765	45510	29694	44598	46678	40603
2090	46167	50647	45640	29766	46113	29709	45263	47439	40604
2095	46697	51259	45794	29766	46510	29719	45685	47842	40604
2100	46897	51453	45795	29766	46706	29724	45879	48018	40604
2105	46992	51541	45796	29766	46791	29726	45959	48090	40604
2110	46992	51551	45797	29766	46802	29726	45969	48099	40604

Inventaire déchets B conditionnés (retraitement)

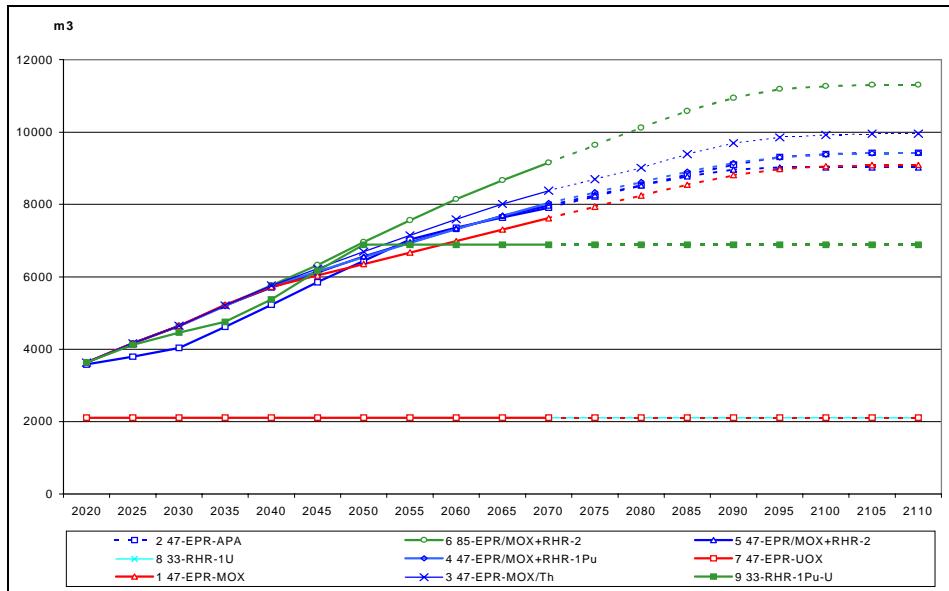


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire des déchets C conditionnés (m³)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	3577	3633	3633	2107	3633	2107	3633	3633	3633
2025	3797	4163	4163	2107	4163	2107	4163	4163	4120
2030	4038	4648	4648	2107	4636	2107	4648	4648	4463
2035	4620	5212	5210	2107	5191	2107	5230	5210	4753
2040	5231	5768	5708	2107	5750	2107	5722	5762	5379
2045	5852	6329	6121	2107	6148	2107	6039	6229	6169
2050	6442	6958	6561	2107	6546	2107	6356	6696	6887
2055	7033	7567	6949	2107	6940	2107	6672	7147	6887
2060	7354	8147	7327	2107	7327	2107	6989	7589	6887
2065	7638	8670	7690	2107	7689	2107	7306	8016	6887
2070	7913	9155	7973	2107	8042	2107	7623	8381	6887
2075	8223	9639	8255	2107	8334	2107	7939	8697	6887
2080	8526	10122	8529	2107	8619	2107	8248	9014	6887
2085	8825	10587	8778	2107	8904	2107	8545	9391	6887
2090	9100	10948	8962	2107	9145	2107	8810	9695	6887
2095	9311	11191	9023	2107	9303	2107	8978	9855	6887
2100	9391	11267	9023	2107	9381	2107	9056	9924	6887
2105	9429	11302	9023	2107	9415	2107	9087	9953	6887
2110	9429	11306	9023	2107	9419	2107	9091	9957	6887

Inventaires déchets C conditionnés (retraitement)

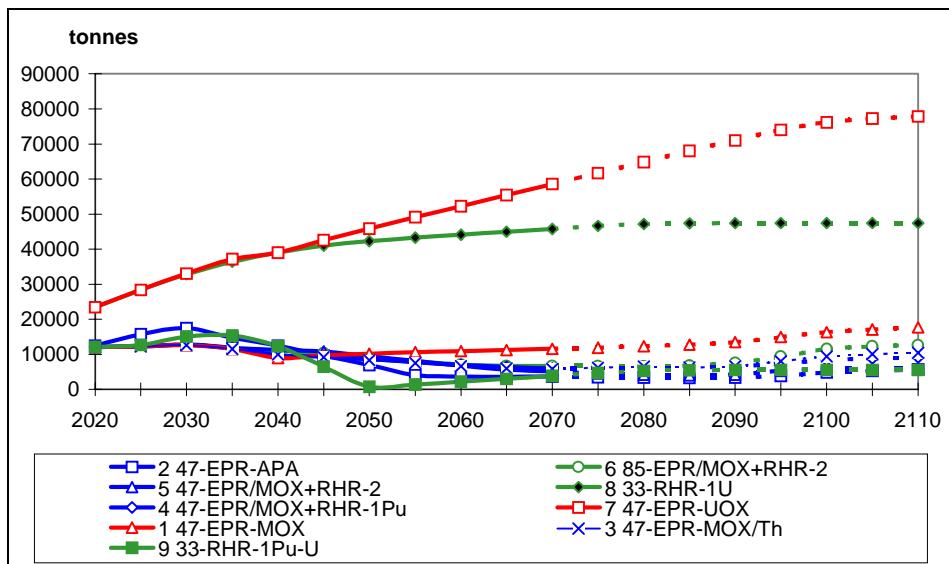


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire des combustibles irradiés entreposés (tonnes)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	12452	12094	12094	23417	12094	23417	12094	12094	12094
2025	15706	12269	12269	28340	12256	28362	12256	12256	12690
2030	17453	12699	12699	32811	12703	33054	12576	12583	15050
2035	14669	11830	11699	36391	11776	37171	11480	11531	15364
2040	12448	11014	11313	39081	9765	38984	8972	9962	12265
2045	9629	10316	10795	40963	9283	42530	9668	9159	6487
2050	6924	9085	9441	42300	8562	45871	10180	8293	716
2055	4105	7993	8144	43278	7773	49121	10601	7462	1348
2060	3662	7090	6791	44113	6985	52267	10918	6637	2183
2065	3560	6713	5568	44948	6428	55414	11236	5956	3018
2070	3611	6685	5083	45784	5951	58561	11553	5836	3853
2075	3438	6658	4598	46619	6016	61708	11871	6216	4689
2080	3329	6642	4198	47147	6114	64854	12260	6534	5217
2085	3250	6756	3977	47376	6167	68001	12749	6281	5446
2090	3338	7651	4199	47470	6562	71046	13429	6613	5540
2095	3857	9333	5304	47470	7450	74010	14883	8037	5540
2100	4773	11492	6000	47470	8307	76142	16301	9381	5540
2105	5246	12226	6018	47470	8777	77258	17111	10055	5540
2110	5666	12684	6018	47470	9124	77847	17669	10430	5540

Inventaire combustibles irradiés entreposés

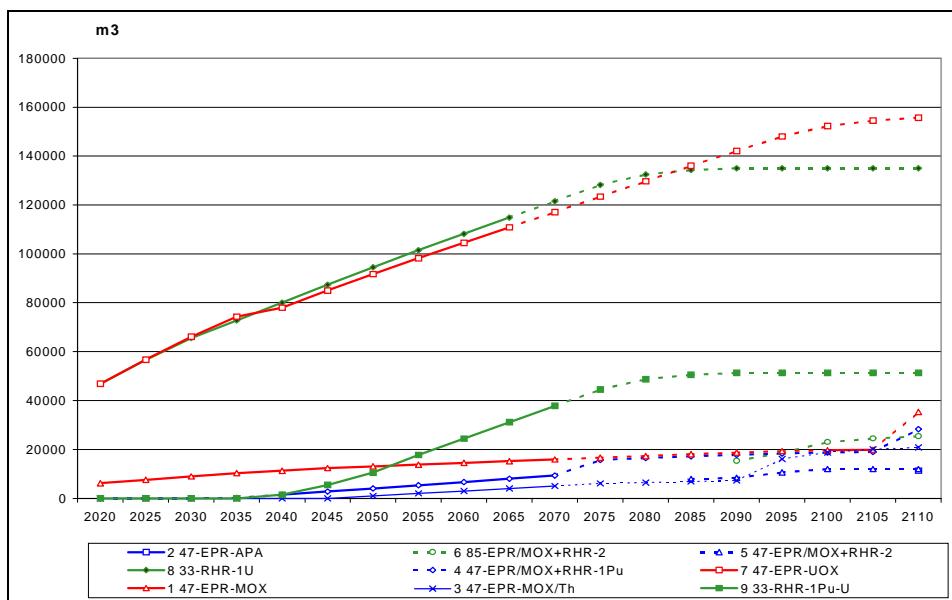


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire des combustibles irradiés conditionnés (m^3)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020				46834	0	46834	6230	0	0
2025				56680	0	56723	7580	0	0
2030				65623	0	66108	9001	0	0
2035				72782	191	74343	10340	0	0
2040				80002	1471	77969	11293	0	1481
2045				87404	2781	85059	12396	0	5471
2050				94571	4090	91742	13105	1015	10508
2055				101495	5400	98242	13813	2030	17755
2060				108176	6710	104535	14522	3045	24437
2065				114858	8020	110828	15231	4060	31118
2070				121539	9329	117122	15939	5075	37800
2075				128221	15744	123415	16648	6090	44481
2080				132449	16522	129708	17357	6496	48709
2085				7954	134280	17160	136002	18048	6902
2090		15302	8397	135032	17798	142092	18712	7308	51290
2095		18667	10607	135032	18369	148020	19306	16073	51290
2100		22984	12000	135032	18761	152283	19682	18762	51290
2105		24451	12036	135032	18965	154516	19855	20109	51290
2110	11333	25369	12036	135032	28296	155694	35338	20860	51290

Inventaires combustibles irradiés conditionnés

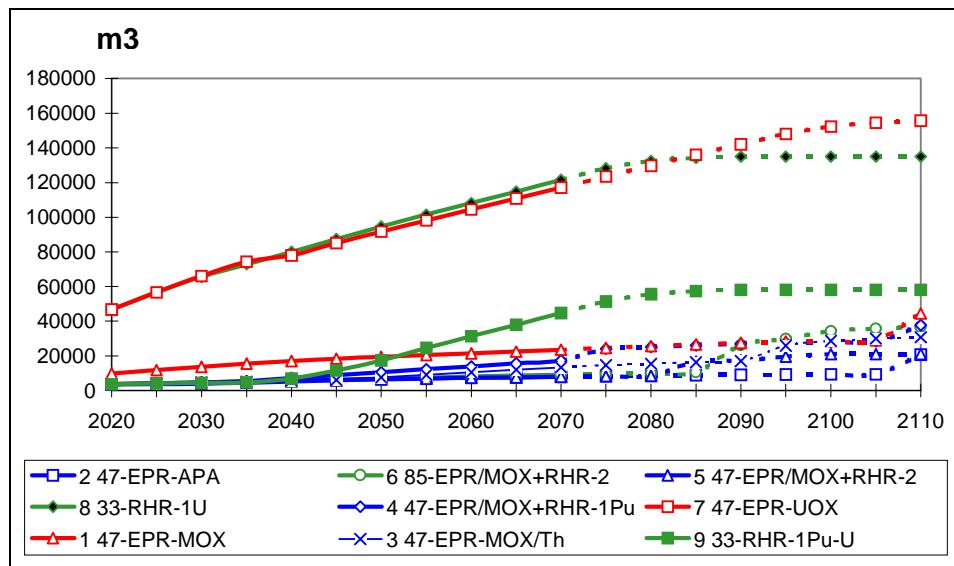


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire des déchets C (retraitement) + CI conditionnés (m³)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	3577	3633	3633	46834	3633	46834	9863	3633	3633
2025	3797	4163	4163	56680	4163	56723	11743	4163	4120
2030	4038	4648	4648	65623	4636	66108	13648	4648	4463
2035	4620	5212	5210	72782	5382	74343	15570	5210	4753
2040	5231	5768	5708	80002	7221	77969	17015	5762	6860
2045	5852	6329	6121	87404	8929	85059	18435	6229	11640
2050	6442	6958	6561	94571	10636	91742	19460	7711	17395
2055	7033	7567	6949	101495	12340	98242	20486	9177	24641
2060	7354	8147	7327	108176	14037	104535	21511	10634	31323
2065	7638	8670	7690	114858	15708	110828	22537	12076	38005
2070	7913	9155	7973	121539	17371	117122	23562	13456	44686
2075	8223	9639	8255	128221	24078	123415	24587	14787	51368
2080	8526	10122	8529	132449	25142	129708	25605	15510	55596
2085	8825	10587	16732	134280	26064	136002	26593	16293	57427
2090	9100	26249	17360	135032	26943	142092	27522	17003	58176
2095	9311	29857	19631	135032	27673	148020	28284	25928	58176
2100	9391	34251	21023	135032	28143	152283	28738	28686	58176
2105	9429	35753	21059	135032	28380	154516	28942	30062	58176
2110	20761	36675	21059	135032	37715	155694	44430	30816	58176

Inventaires déchets C (retraitement) et combustibles irradiés conditionnés

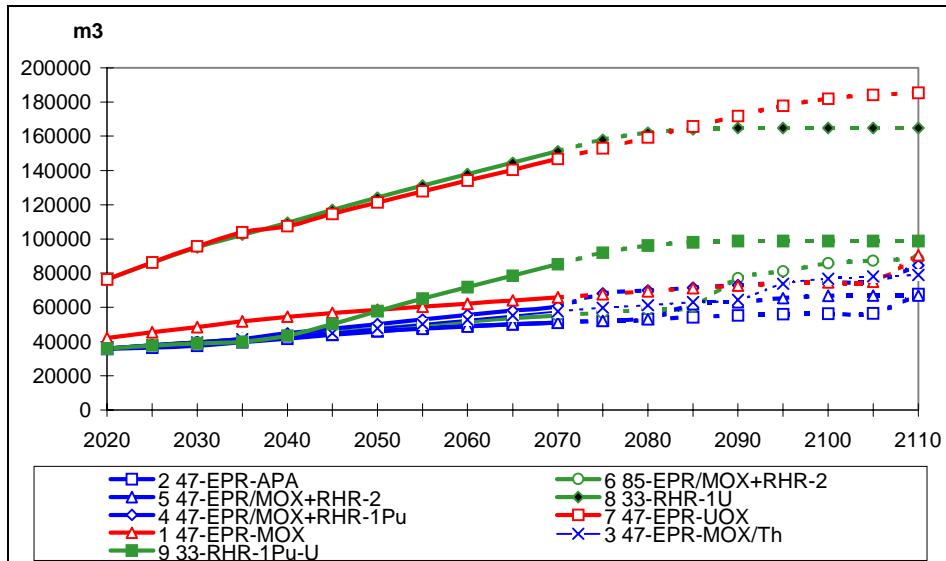


- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

Inventaire déchets B + déchets C + combustibles irradiés conditionnés (m³)

	2 47-EPR-APA	6 85-EPR/MOX+RHR-2	5 47-EPR/MOX+RHR-2	8 33-RHR-1U	4 47-EPR/MOX+RHR-1Pu	7 47-EPR-UOX	1 47-EPR-MOX	3 47-EPR-MOX/Th	9 33-RHR-1Pu-U
2020	35769	35955	35955	76306	35955	76306	42185	35955	35955
2025	36480	37814	37814	86177	37814	86220	45394	37814	37665
2030	37513	39508	39508	95138	39467	95626	48509	39508	38867
2035	39631	41473	41466	102314	41596	103878	51875	41466	39887
2040	41748	43414	43201	109557	44826	107519	54546	43391	43552
2045	43905	45380	44646	116985	47531	114626	56758	45020	50297
2050	45961	47583	46183	124179	50236	121325	58577	47664	57841
2055	48017	49716	47539	131132	52925	127840	60395	50252	65117
2060	49143	51753	48862	137843	55592	134150	62213	52811	71828
2065	50140	53590	50136	144554	58171	140459	64031	55315	78538
2070	51105	55293	51129	151264	60721	146768	65850	57607	85249
2075	52192	56997	52122	157970	68162	153078	67668	59732	91955
2080	53256	58696	53083	162209	69939	159387	69459	61247	96193
2085	54302	60328	61911	164046	71574	165696	71190	62972	98030
2090	55266	76896	62999	164799	73055	171801	72785	64442	98780
2095	56008	81116	65425	164799	74183	177739	73969	73771	98780
2100	56287	85704	66819	164799	74849	182007	74617	76704	98780
2105	56420	87294	66855	164799	75171	184242	74901	78152	98780
2110	67753	88225	66856	164799	84517	185420	90399	78915	98780

Inventaires déchets conditionnés : B + C + combustibles irradiés



- Présentation des flux matières pour les différents scénarios -

**Gain en radiotoxicité des déchets ultimes produits
par les scénarios 1, 2 et 5 par rapport au scénario 7**

Années	1-47-EPR-MOX	2-47-EPR-APA	5-47-RHR-2
100	1,0831807	2,64704747	319,757204
1 000	1,13936125	2,19709811	280,11581
10 000	1,28474431	2,2187501	258,374785
100 000	1,48097391	4,08216723	312,07476
1 000 000	1,39567431	3,57091446	468,178637

Gain en radiotoxicité ingestion par rapport au scénario 7-47-EPR (UOX)

