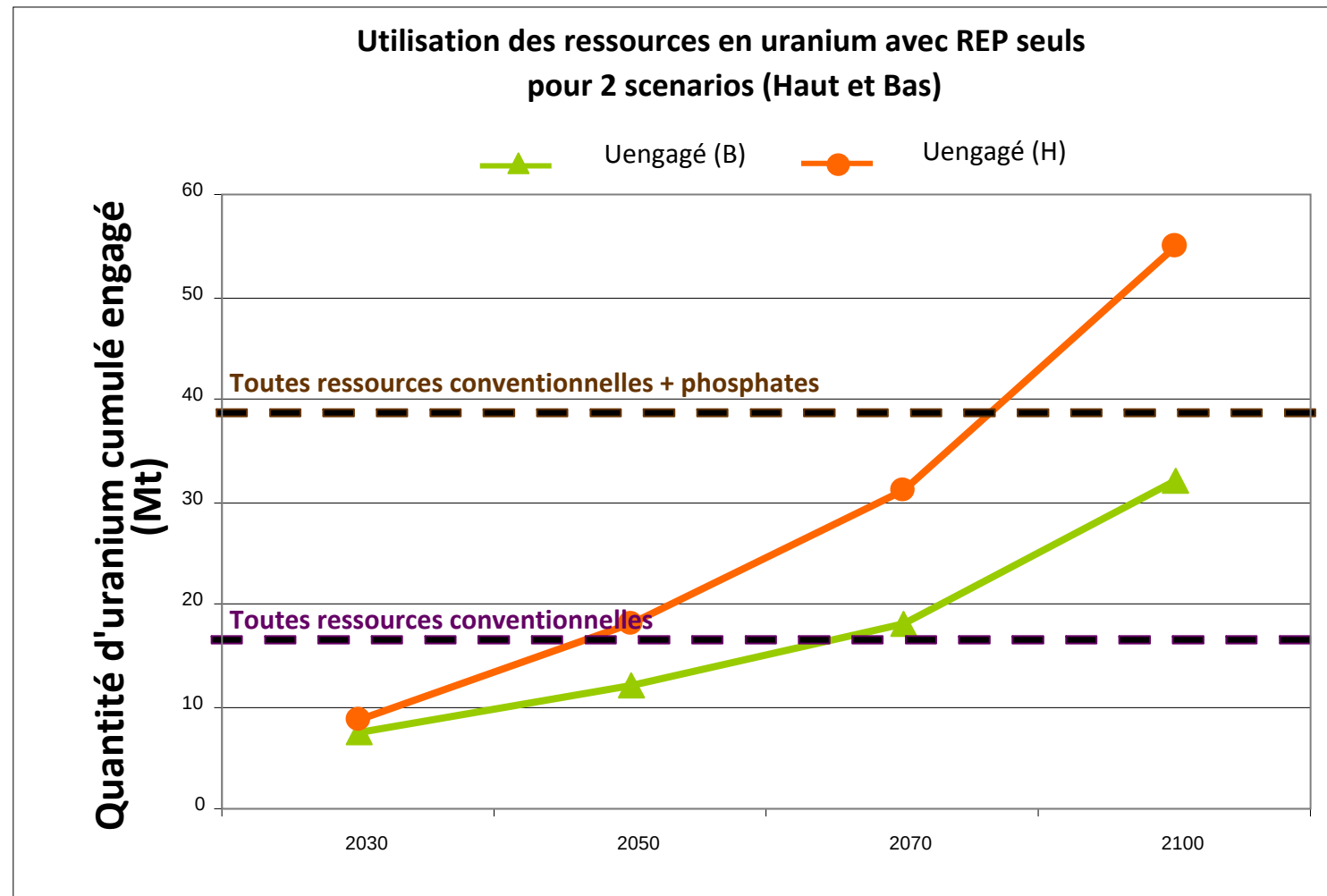


Quatrième génération

Le programme ASTRID*

Commission locale d'information de Cadarache – 15 décembre 2010
François Gauché, chef du programme « réacteurs de 4^{ème} génération », CEA/DEN

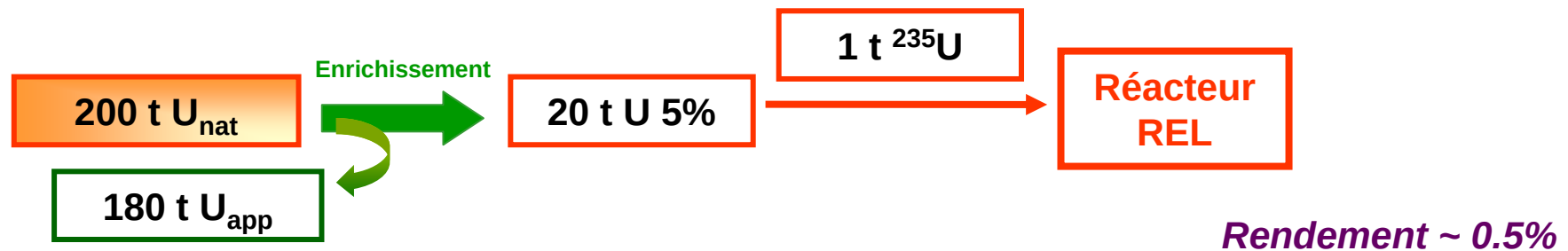
Préservation de la ressource en uranium 1/3



Préservation de la ressource en uranium 2/3



Dans un réacteur à eau légère (comme un REP), pour 1 GWe.an, il faut :



Même si ces rendements peuvent être améliorés, l'efficacité dans l'utilisation de la ressource en uranium restera très faible.

Préservation de la ressource en uranium 3/3



énergie atomique • énergies alternatives

**Dans un réacteur à neutrons rapides, pour produire
1 GWe.an, il faut seulement**

$$1 \text{ t } ^{238}\text{U} (U_{\text{app}}, U_{\text{nat}}, U_{\text{rt}})$$

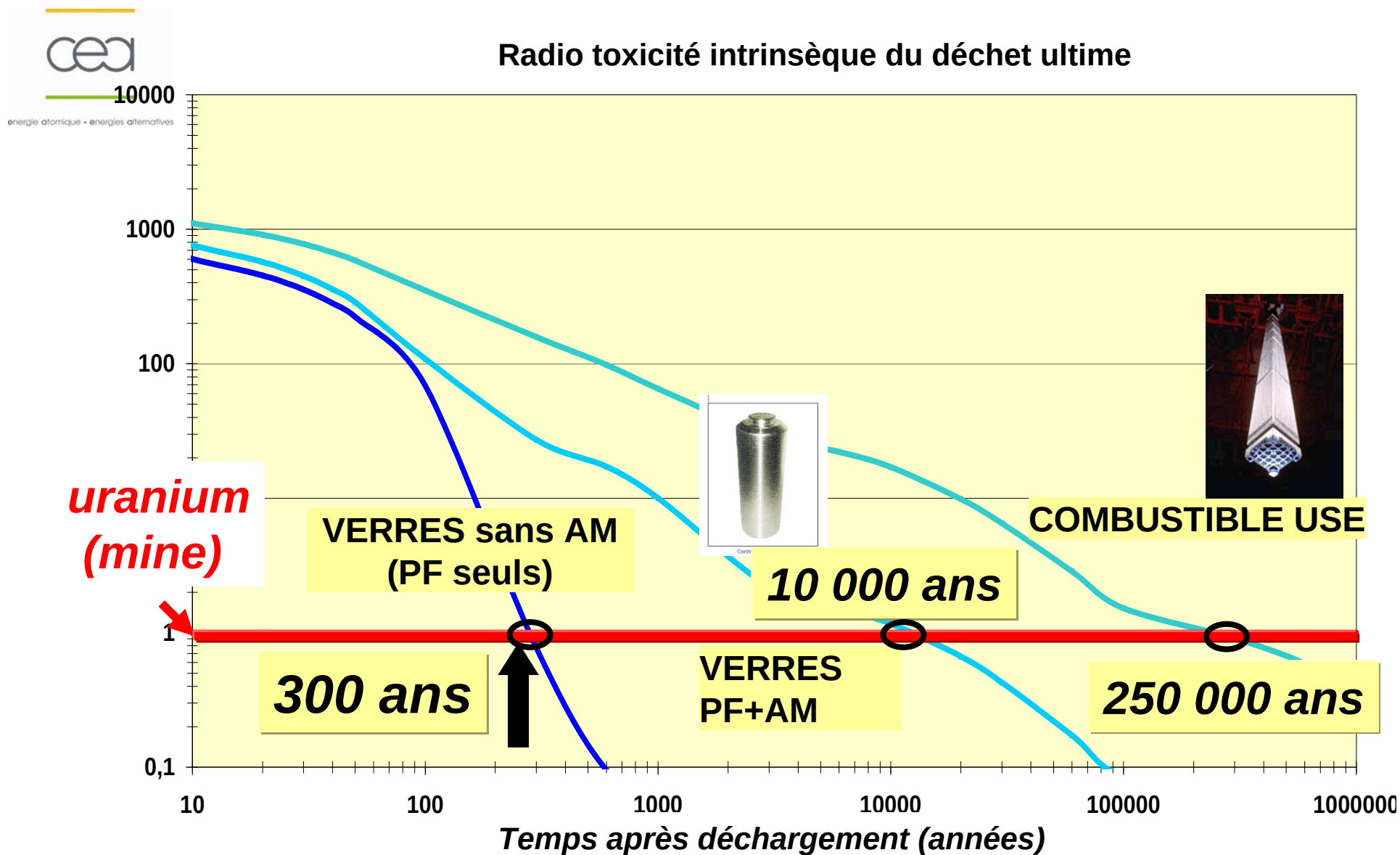
Rendement > à 80 %

Recyclage total du plutonium

Ce rendement est atteint grâce à la possibilité qu'ont les réacteurs à neutrons rapides de multirecycler le plutonium : chaque cycle transforme une partie de l'uranium non fissile en plutonium qui peut être utilisé au cycle suivant.

Dans un REP, le nombre de cycles de recyclage du plutonium est limité par les lois de la physique (la « qualité » du plutonium se dégrade après quelques cycles). Cette limitation n'existe pas pour les RNR.

Transmutation des actinides mineurs



Attentes vis-à-vis d'un système de 4^{ème} génération



- Durabilité
 - Utiliser le mieux possible la ressource en uranium, en lien avec un multirecyclage du plutonium, et, si cette option est retenue, avoir la capacité de réaliser la transmutation de certains actinides mineurs.
 - Pour cela, il faut des réacteurs à neutrons rapides et un cycle fermé.
 - Sûreté
 - Robustesse de la démonstration de sûreté
 - Niveau de sûreté au moins équivalent à celui de l'EPR
 - Economie
 - Les systèmes de 4^{ème} génération devront être compétitifs à service rendu équivalent.
 - Cela demande de grands efforts sur l'investissement initial, mais aussi sur les coûts d'exploitation (importance de la disponibilité)
 - Résistance à la prolifération
-

La stratégie française sur la 4^{ème} génération



→ Au plan international, la nécessité de déployer le moment venu les réacteurs à neutrons rapides (RNR) pour pleinement tirer parti de la ressource en U fait l'objet d'un consensus dans de nombreux pays.

→ Au CEA, deux filières sont étudiées en parallèle

Le RNR Sodium, filière de référence : son prototype **ASTRID**

- Déjà une certaine maturité mais des objectifs d'amélioration dans une perspective GEN IV (sûreté, économie, disponibilité, inspection en service et réparabilité)
- Logique d'assurance : une filière déployable à l'horizon 2040/2050
- Coordination étroite avec les partenaires industriels
- Internationalisation dans des formes à préciser

Le RNR Gaz, option à long terme : un réacteur expérimental **ALLEGRO**

- Du potentiel mais des verrous technologiques importants (matériaux, combustible réfractaire, sûreté)
- Vers une réalisation en Europe ?

Programme de R&D CEA-AREVA-EDF



Un programme de travail finalisé début 2007

4 grands domaines d'innovations transverses :

- Un cœur performant à sûreté améliorée
- Une résistance renforcée aux accidents graves
- Une conversion d'énergie optimisée minimisant le risque sodium
- Une conception du réacteur revisitée (opérabilité, ISIR, ...)

→ Une première phase de R&D de 3 ans pour explorer des options innovantes et recentrer pour la suite le programme sur les options les plus prometteuses

→ Dix dossiers de synthèse tripartites finalisés en octobre 2009 : options de chaudière (boucle, intégré, autres concepts, modularité), manutention du combustible, cœurs, matériaux, ISIR, sûreté

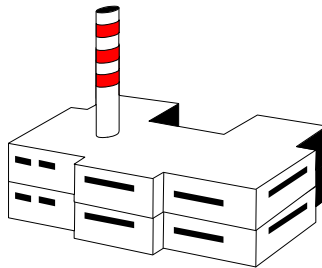
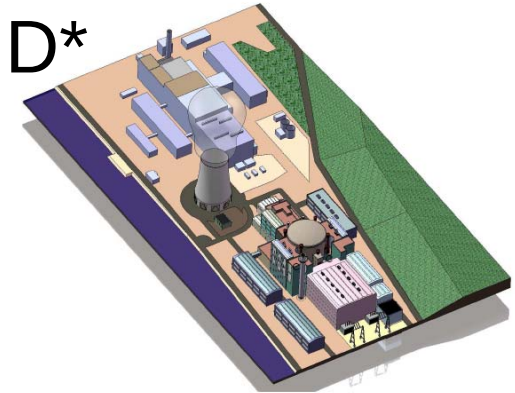
Le périmètre du programme ASTRID*



énergie atomique • énergies alternatives

Conception du réacteur ASTRID

- Prototype industriel
- Services d'irradiation



Conception de l'atelier de fabrication des cœurs AFC

- Combustible MOX, qq t/an

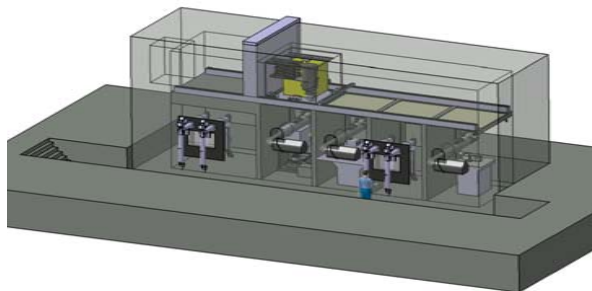
Rénovation et réalisation des installations de qualification de composants

- grandes et petites boucles
- maquette critique MASURCA



+ R&D

Accidents graves



Études des faisabilité sur le ou les ateliers de fabrication de combustible chargé en actinides mineurs

* Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration

Caractéristiques d'ASTRID



- Prototype industriel (extrapolabilité) – RNRNa 600 MWe
- Intégrant le retour d'expérience des réacteurs précédents, en France et à l'international
- Répondant aux critères GEN IV
- Services d'irradiation et de tests d'options

Sûreté

- niveau de sûreté au moins équivalent à un EPR
- des progrès significatifs sur les spécificités des RNR-Na

Opérabilité

- démontrer une disponibilité élevée
- intégrer l'Inspection en Service, Intervention et Réparation (ISIR) dès la conception

Transmutation de déchets ultimes

- démonstration de la faisabilité à une échelle significative
- pourrait être conçu avec une capacité, à terme, de brûler autant d'actinides mineurs qu'il en produit.

Un coût d'investissement maîtrisé

ASTRID – Calendrier de l'avant-projet



- Avant-projet sommaire phase 1 (AVP1) : fin 2010 – 2012
 - Discussion avec ASN sur les « orientations de sûreté »
- Avant-projet sommaire phase 2 (AVP2) : 2013-2014
 - Dépôt du Dossier d'options de sûreté DOS
- Avant-projet détaillé (APD) : 2015-2017
 - Elaboration de l'APD pour mise à disposition des pouvoirs publics des éléments nécessaires pour une décision du Gouvernement sur la construction d'ASTRID
 - Dossiers réglementaires

ASTRID : organisation industrielle



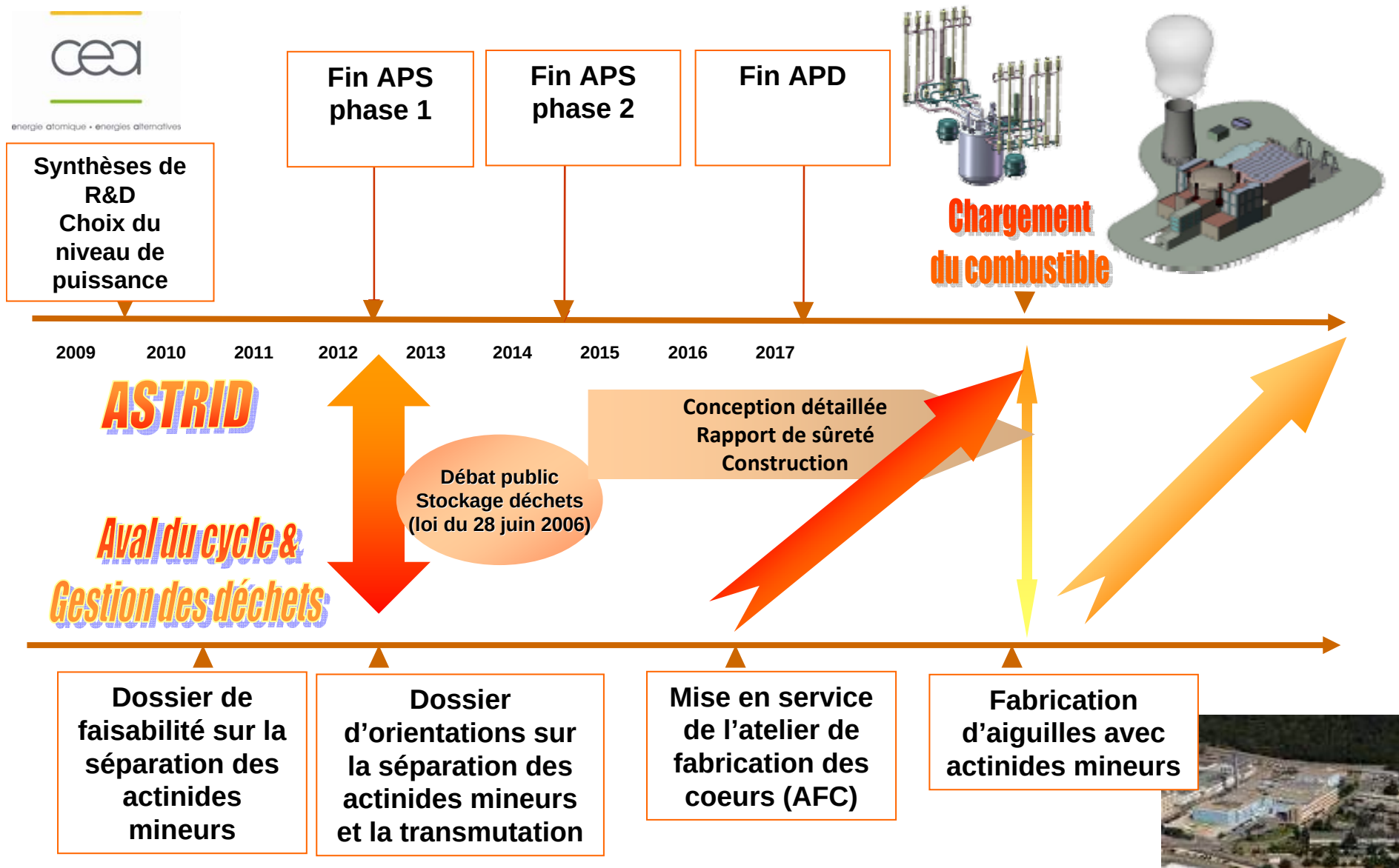
- Le CEA/DEN est le maître d'ouvrage délégué de l'APS
 - Équipe projet à Cadarache (pilotage des maîtrises d'œuvre)
 - Soutien de R&D (plus de 200 personnes au CEA)
- Organisation de partenariats industriels :
 - Exigence de la convention sur le programme d'investissements d'avenir (JO du 11 septembre 2010)
 - Accord de collaboration signé avec AREVA : lot d'ingénierie « chaudière – auxiliaires nucléaires – contrôle commande »
 - Discussions en cours avec EDF, GDF Suez, ALSTOM et d'autres
- D'ici fin 2012, ce seront plus de 450 personnes qui travailleront sur le projet.

Les partenariats / L'ouverture à l'international



- La France est fortement active au sein du forum international Génération IV. Mise en commun de référentiels de sûreté, de résistance à la prolifération.
- La France cherche à développer des partenariats renforcés avec des pays développant un programme de réacteurs à neutrons rapides, comme le Japon ou la Russie.
- Collaboration trilatérale CEA-JAEA-DOE
- Collaboration avec l'Inde (thèmes sûreté uniquement)
- Collaboration avec la Chine
- La dimension européenne est également prise en compte. ASTRID est inscrit dans la Sustainable Nuclear Energy Technology Platform SNETP. Lancement de l'ESNII mi-novembre 2010. L'objectif est d'obtenir dans le prochain PCRDT un soutien renforcé au développement du nucléaire du futur.
- Le programme ASTRID est ouvert à la collaboration européenne.

Un développement cohérent Réacteur / Cycle



CONCLUSION



- ➔ Les résultats de la R&D tripartite [CEA-AREVA-EDF] obtenus de 2007 à 2009 orientent les études de la période 2010-2012 et contribueront aux choix d'options ASTRID par le CEA en 2010.
- ➔ ASTRID a pour objectif essentiel de démontrer à l'échelle industrielle les avancées dans les domaines de progrès identifiés pour le RNR-Na (sûreté, opérabilité, économie, évaluation de possibilités de transmutation d'actinides mineurs)
- ➔ L'emprunt national prévoit de consacrer 650 M€ aux études de conception d'ASTRID.
- ➔ Avec la poursuite de sa R&D et le lancement du programme ASTRID, la France se donne les moyens de mettre au point le premier prototype de réacteur de 4^{ème} génération dont le déploiement commercial pourrait intervenir si nécessaire au cours de la seconde moitié du siècle (logique d'assurance vis à vis d'éventuelles tensions sur le marché de l'uranium).
- ➔ Les études d'avant-projet sommaire d'ASTRID ont commencé.