

# 3

## DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE FRANÇAISE AU PROJET PENLY 3



**LE PANORAMA DRESSÉ DANS LE CHAPITRE PRÉCÉDENT MONTRE QUE L'ENJEU DES ÉTATS COMME DES ACTEURS ÉNERGÉTIENS EST DE RÉPONDRE À DES BESOINS D'ÉNERGIE CROISSANTS DANS LE MONDE (MÊME SI EN FRANCE, UNE STABILISATION SEMBLE SE DESSINER) ET DE SURMONTER LES DÉFIS CLIMATIQUES, EN APPORTANT DES SOLUTIONS :**

- À DES COÛTS ABORDABLES ET "SOUTENABLES" POUR LES POPULATIONS, COMME POUR LES ÉTATS ;
- QUI GARANTISSENT LA MEILLEURE SÉCURITÉ ÉNERGÉTIQUE POSSIBLE ;
- DONT LE BILAN SOIT DE MOINS EN MOINS ÉMETTEUR DE GAZ À EFFET DE SERRE.

### 3.1 Les conséquences du Grenelle de l'environnement

Grâce à l'existence d'un parc de production pour l'essentiel hydraulique et nucléaire, la France se trouve déjà dans une situation favorable :

- l'**indépendance énergétique** de la France est assurée à hauteur de 90 % pour la production d'électricité ;
- 90 % de la production d'électricité en 2008 a été faite sans émissions de CO<sub>2</sub>. Ceci permet à la France d'avoir des émissions de gaz à effet de serre par habitant parmi les plus faibles des pays industrialisés.

**Émissions de CO<sub>2</sub> dues aux combustibles fossiles par habitant pour quelques pays européens et émissions de CO<sub>2</sub> par kWh produit, électricité et chaleur, année 2007**

Pays	t CO <sub>2</sub> /an/habitant	g CO <sub>2</sub> /kWh électricité et chaleur <sup>1</sup>
Allemagne	9,7	412
Espagne	7,7	385
Danemark	9,2	314
France	5,8	90
Luxembourg	22,4	327
Royaume-Uni	8,6	497
Union Européenne à 27	7,9	358
États-Unis	19,1	549
Fédération de Russie	11,2	323

Source : Agence internationale de l'énergie.

Néanmoins, les Pouvoirs Publics ont souhaité aller plus loin au travers des lois issues du Grenelle de l'environnement.

Les objectifs qui ont les conséquences les plus importantes sur l'électricité sont :

- la réduction de la consommation énergétique globale ;
- des moyens de production d'électricité adaptés à ce nouveau contexte énergétique, les moins émetteurs de gaz à effet de serre possible, tout en maintenant l'indépendance énergétique et la compétitivité du kWh produit.

**i**  
5.2  
4.2

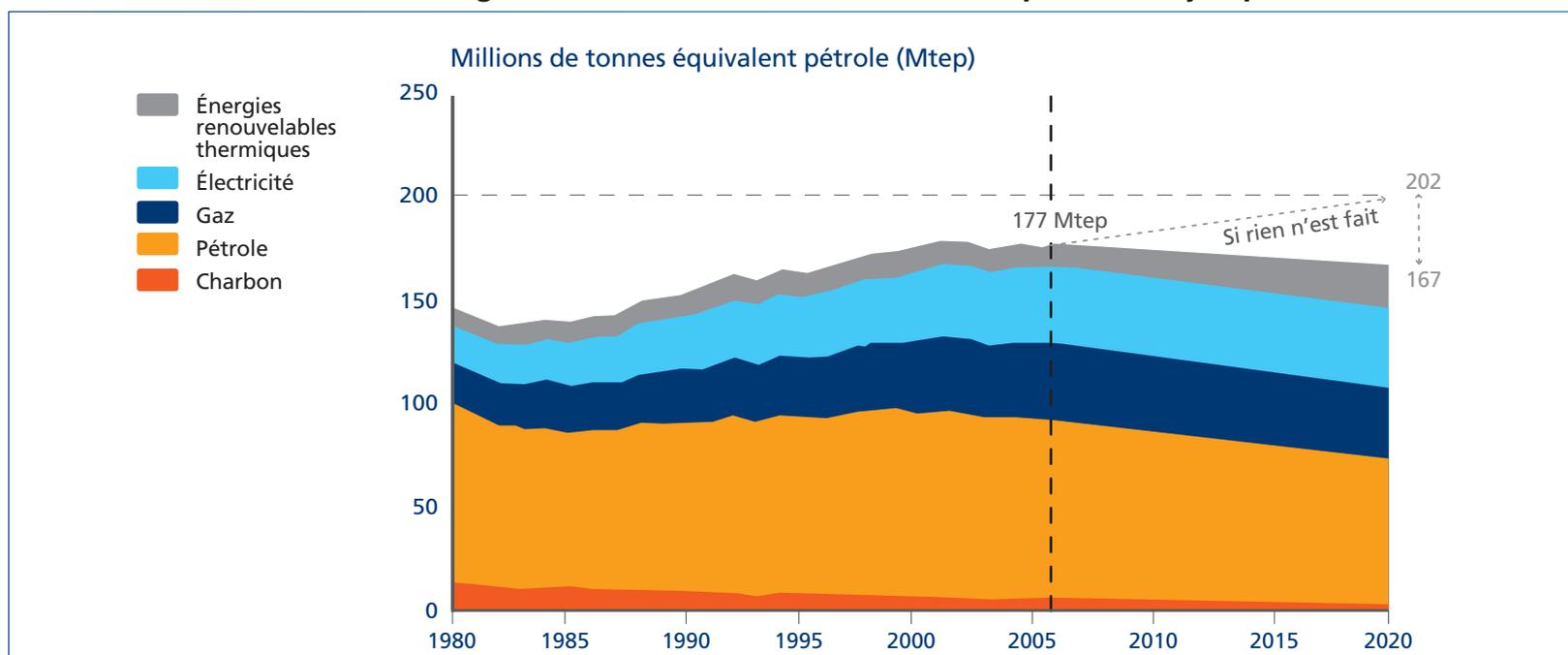
### 3.2 Vers une réduction de la consommation énergétique française

L'énergie délivrée aux consommateurs en France, corrigée du climat, est aujourd'hui de 177 Mtep (millions de tonnes équivalent pétrole). Elle n'augmente plus depuis 2002. Depuis les chocs pétroliers, c'est la première fois que la consommation connaît une période aussi longue sans croissance. Elle devrait même s'orienter à la baisse, grâce à la mise en œuvre des mesures identifiées par le Grenelle de l'environnement.

La consommation serait inférieure de près de 20 % en 2020 à celle d'un scénario sans mesure environnementale, respectant ainsi l'objectif du paquet climat européen.

1. Les statistiques européennes donnent des émissions de CO<sub>2</sub> sur la production d'électricité et de chaleur, sans pouvoir les dissocier, certains pays utilisant fortement la cogénération (production conjointe d'électricité et de chaleur, à partir de charbon ou de gaz).

### Scénario MEEDDAT Grenelle : consommation totale d'énergie délivrée aux consommateurs et prévisions jusqu'en 2020



Source : MEEDDAT.

Dans ce scénario, issu du Grenelle de l'environnement, la consommation d'énergie devrait diminuer de 0,3 % par an entre 2006 et 2020, principalement grâce à la baisse des consommations de charbon (- 3,9 % par an), de pétrole (- 1,3 % par an) et de gaz (- 0,7 % par an), tandis que les **énergies nouvelles renouvelables** thermiques<sup>1</sup> poursuivent leur hausse (+ 4,5 % par an).

Le secteur résidentiel-tertiaire est le plus gros consommateur d'énergie en France. Ce secteur va présenter les plus importantes réductions de consommation, de l'ordre de 26 % entre 2006 et 2020, liées à la mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique issues du Grenelle de l'environnement pour le secteur du bâtiment (400 000 rénovations des bâtiments par an à partir de 2013, généralisation des bâtiments "basse consommation" à toutes les constructions neuves, incitations fiscales pour les produits les plus performants...).

Il est à noter que dans ce scénario très ambitieux, l'électricité conserve une légère croissance (+ 0,3 % par an). Celle-ci s'explique par le transfert de quelques usages utilisant du gaz, du pétrole ou du charbon vers l'électricité. Sans eux, la consommation d'électricité aurait été en baisse.

Certains de ces transferts d'usage auront pour conséquences l'amélioration de l'efficacité énergétique globale et une réduction des émissions des gaz à effet de serre.

Sans ces mesures d'économies et d'amélioration de l'efficacité énergétique, la consommation d'électricité

## EDF s'inscrit pleinement dans la politique de réduction de la consommation énergétique

EDF a produit près de 30 TWh cumac<sup>2</sup> au titre de la première période des certificats d'économies d'énergie (2006-2009).

EDF développe toute une gamme de services auprès de ses clients pour apporter des solutions de performance énergétique. Celles-ci sont portées sous la marque Bleu Ciel. EDF a également mis en place un dispositif de promotion et d'animation du marché de l'efficacité énergétique, particulièrement pour la rénovation de l'habitat. 600 000 rénovations ont été entreprises dans les secteurs industriels, tertiaire et résidentiel. Elles concernent aussi bien le bâti (isolation) que les systèmes de chauffage quelle qu'en soit l'énergie. Un réseau de partenaires a été formé aux techniques les plus performantes de l'éco-efficacité énergétique. ■

continuerait à croître de près de 2 % par an<sup>3</sup>, soit une dizaine de TWh par an (**scénario MEEDDAT tendanciel**).

1. ENR thermiques : biomasse, biogaz, solaire thermique, incinération de déchets... L'éolien et le solaire photovoltaïque sont comptés dans l'électricité.

2. Cumac : TWh cumac ou TWh cumulés actualisés sont des TWh économisés durant la durée de vie conventionnelle fixée d'un équipement, corrigé d'un coefficient d'actualisation annuel de 4%. Ainsi, un congélateur de classe A+, permettant d'économiser 50 kWh par an pendant une durée de vie de 10 ans, se verra attribuer 420 kWh cumac.

3. Pourcentage d'évolution moyen retenu sur les années antérieures à la crise économique observée depuis 2008.

### 3.3 Vers une croissance modérée de la consommation électrique nationale

La prise en compte du Grenelle de l'environnement conduirait donc à une évolution qui reste positive mais beaucoup plus modérée que lors de la décennie précédente.

Cependant, les incertitudes restent importantes, tant sur la croissance économique que sur les effets attendus des mesures d'économie d'énergie. Par ailleurs, le développement des nouveaux usages de l'électricité (véhicules électriques, transports en commun, pompes à chaleur...) constitue un potentiel important.

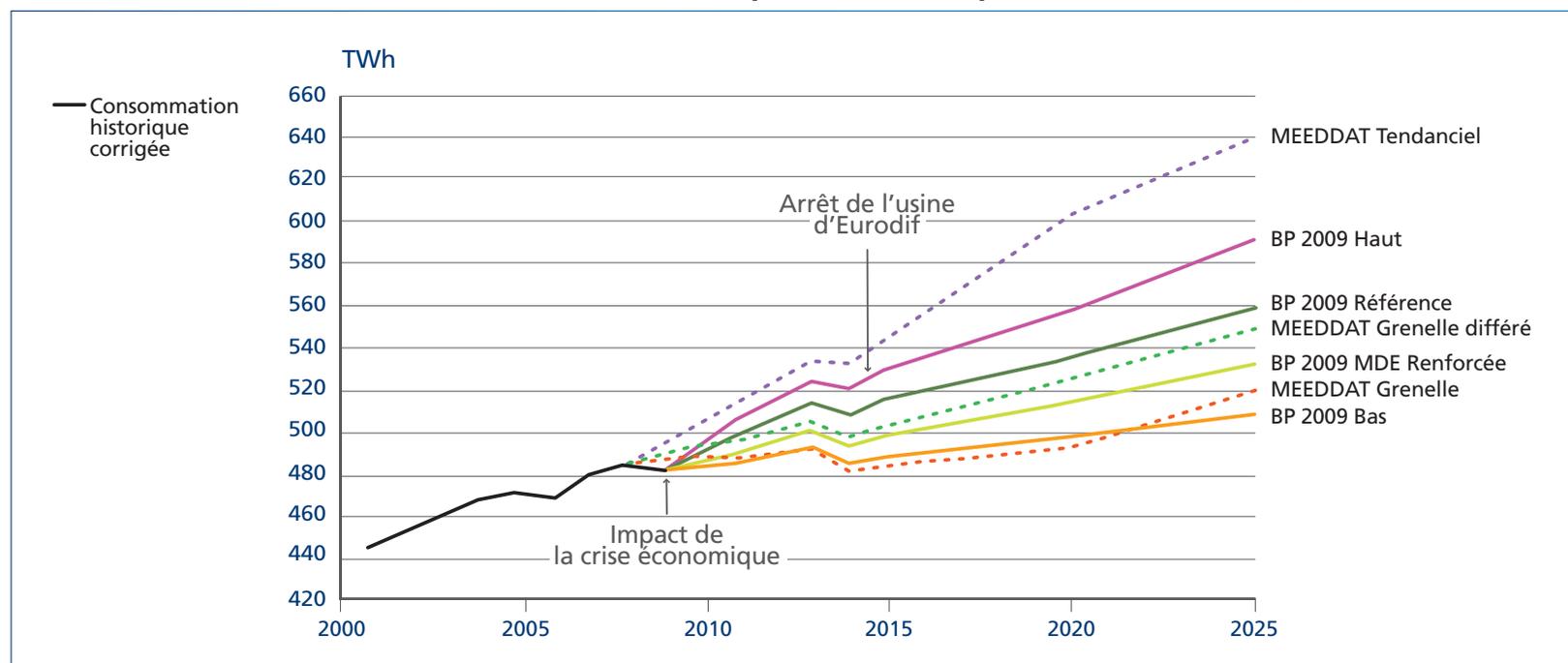
RTE établit tous les deux ans, un bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France, avec plusieurs scénarios de consommation reflétant ces incertitudes.

### Un exemple de réduction de la consommation d'électricité

Les consommations annuelles d'électricité dues à l'éclairage devraient connaître une baisse d'environ 2 à 3 TWh avec l'interdiction progressive de la vente des ampoules à incandescence classiques.

Cette réduction est particulièrement intéressante, car elle se fait principalement aux heures de pointe, là où les émissions de gaz à effet de serre par kWh sont les plus importantes. ■

Prévisions de consommation d'électricité, comparaison Bilan prévisionnel de RTE (BP) et MEEDDAT



Source: bilan prévisionnel 2009 de RTE.

Dans le graphique ci-dessus issu du bilan prévisionnel 2009 de RTE, le scénario issu du Grenelle de l'environnement "MEEDDAT Grenelle" est la limite basse (en pointillé orange), le scénario "MEEDDAT tendanciel" est le plus élevé, il représente ce que serait la consommation d'électricité sans aucune mesure d'économie d'énergie.

On voit que ces deux scénarios extrêmes présentent un écart de plus de 100TWh à l'horizon 2020. Le scénario médian, qui intègre déjà beaucoup de mesures d'économie d'énergie, présente encore un

écart de près de 50TWh par rapport au scénario "MEEDDAT Grenelle".

Les scénarios intermédiaires, établis par RTE, croissent plusieurs hypothèses :

- de croissance économique (deux hypothèses sont étudiées : 1,6 % et 2 %),
- de démographie et de part de la population active (projections de l'INSEE),
- de réalisation des objectifs du Grenelle, notamment en matière d'efficacité énergétique et de transferts entre énergies (taux de placement des

technologies les plus performantes, niveaux de prix des énergies incitant plus ou moins rapidement les transferts entre énergies fossiles et électricité, rythme de développement des énergies renouvelables pour un usage thermique, solaire thermique et chaudière à bois, ...).

### 3.4 La PPI 2009, des moyens de production adaptés au nouveau contexte énergétique

Dans ce contexte d'incertitudes de consommation d'énergie, la politique énergétique de la France doit fixer un cadre pour les investissements. Cette politique se traduit concrètement, pour ce qui concerne les investissements à venir, par la programmation pluriannuelle des investissements (PPI). En juin 2009, le gouvernement a transmis au parlement trois documents : le premier concerne la production électrique ("PPI électricité"), le deuxième concerne la chaleur ("PPI chaleur"), le troisième concerne les infrastructures de gaz naturel ("PIP gaz").

Élaborée en concertation avec les acteurs du monde de l'énergie et des organisations non gouvernementales volontaires<sup>1</sup>, la PPI-électricité 2009 a pour objectif principal d'identifier, à l'horizon des dix prochaines années, les investissements souhaitables en moyens de production d'électricité. Elle le fait en s'appuyant sur les objectifs du Grenelle de l'environnement et la loi d'orientation sur l'énergie<sup>2</sup> de 2005 qui réaffirme notamment la nécessité de la sécurité d'approvisionnement.

La PPI-électricité 2009 inscrit comme priorité un ambitieux développement des **énergies renouvelables** décentralisées, le déclassement des centrales thermiques les plus anciennes au profit de nouveaux moyens moins émetteurs de gaz à effet de serre (Cycles Combinés à Gaz). Le nucléaire et l'hydraulique demeurent des éléments stratégiques, en raison des exigences conjuguées de sécurité énergétique et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Les arrêtés PPI électricité et PPI-chaleur ont été publiés le 10 janvier 2010. Ce ne sont pas des lois,

mais des documents de cadrage qui définissent les objectifs ou les conditions de développement pour chaque type de production.

#### 3.4.1 Le développement des énergies renouvelables (ENR)

Le développement des **énergies renouvelables** est le premier axe de cette politique énergétique, après l'amélioration de l'efficacité énergétique. Il revêt une importance cruciale dans le contexte énergétique actuel : il permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et participe ainsi à la lutte contre le changement climatique, il contribue également à diminuer la dépendance aux énergies **fossiles** et à leur préservation.

Traduisant les objectifs du Grenelle de l'environnement, la PPI-électricité 2009 met fortement l'accent sur le développement des ENR, avec l'objectif d'atteindre en 2020, 25 000 MW d'éolien dont 6 000 MW en mer, 5 400 MW de **solaire photovoltaïque**, 2 300 MW supplémentaires de **biomasse** et pour l'hydraulique une augmentation de puissance installée de 3 000 MW et de 3 TWh en énergie.

##### ▣ L'éolien et le solaire photovoltaïque

Réseau de Transport d'Electricité (RTE), dans son bilan prévisionnel 2009, souligne la hausse importante de la production éolienne en 2008 (près de 13% par rapport à 2007)<sup>3</sup>. La capacité éolienne croît aujourd'hui au rythme de 1 000 MW par an. Le **solaire photovoltaïque** connaît lui aussi une très forte progression. 8 000 demandes de raccordements photovoltaïques ont été enregistrées en moyenne par mois, courant 2009, par les gestionnaires de réseau de distribution. Ces demandes ont connu une forte accélération fin 2009, en particulier liée à la perspective d'une diminution des tarifs de rachat au 1<sup>er</sup> janvier 2010.

EDF est acteur de ce développement des énergies renouvelables, de même que ses partenaires du projet Penly 3.

1. Fondation Nicolas Hulot et Réseau action climat.

2. Loi de programme du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique, dite loi POPE.

La loi fixe quatre grands objectifs pour la politique énergétique française :

- contribuer à l'indépendance énergétique nationale et garantir la sécurité d'approvisionnement ;

- assurer un prix compétitif de l'énergie ;

- préserver la santé humaine et l'environnement, en particulier en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre ;

- garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie.

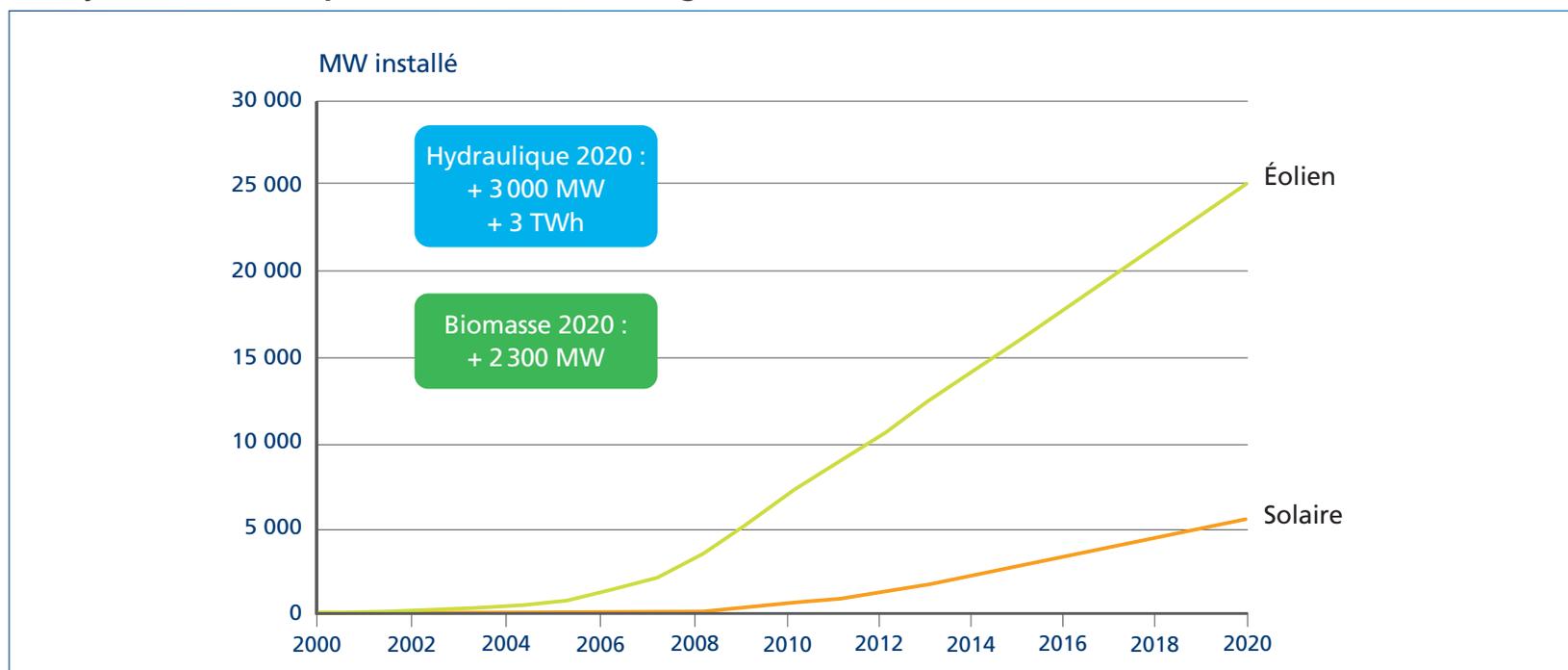
3. En 2009, la production éolienne a été de 7,8 TWh et photovoltaïque de 0,14 TWh.

**i**  
**1.1**

EDF a ses propres projets éoliens et solaires portés par sa filiale EDF-EN et prône auprès de ses clients l'installation d'équipements photovoltaïques. Ainsi fin 2009, First Solar et EDF Energies Nouvelles étaient en discussions avec les Pouvoirs Publics pour implanter une usine de fabrication de panneaux solaires à Blanquefort, à côté de Bordeaux. En dehors de la grande hydraulique, ces filières sont aujourd'hui subventionnées avec obligation d'achat par EDF de l'énergie produite. L'État fixe un prix

d'achat à chaque filière de production d'électricité à partir d'**énergies renouvelables**; EDF est tenue d'acheter l'électricité à ce prix aux producteurs et se fait rembourser la différence au prix du marché par l'intermédiaire de la contribution au service public de l'électricité (CSPE). Cette contribution, prélevée sur les factures est régulée par les Pouvoirs Publics et répercutée sur tous les consommateurs d'électricité. Ce soutien aux énergies renouvelables est l'un des leviers de leur développement.

### Objectifs de la PPI pour les nouvelles énergies renouvelables



Source: EDF à partir de la PPI.

#### ■ L'hydraulique

La France est l'un des premiers producteurs d'électricité d'origine renouvelable en Europe, grâce à sa production hydraulique. L'hydroélectricité est une composante essentielle du **système électrique** français en raison de ses qualités intrinsèques, particulièrement la flexibilité d'utilisation des barrages. Près de la moitié de la production hydraulique contribue à l'équilibre offre-demande national au moment des **pointes** de consommation et se substitue directement à de la production thermique classique, fortement émettrice de CO<sub>2</sub>.

La PPI-électricité 2009 souligne que ce potentiel doit être préservé tout en réduisant l'impact environnemental des ouvrages. La majeure partie des sites étant aujourd'hui équipée, la PPI vise un développement léger de l'hydraulique sur la période, de 3 000 MW et 3 TWh en France métropolitaine (Corse comprise). EDF déploie un important programme de rénovation de son parc hydraulique et compte contribuer pour près de la moitié à l'augmentation de la capacité visée en 2020 par le Grenelle de l'environnement.

**i**  
**1.1**

#### 3.4.2 La modernisation du parc thermique à flamme

La PPI-électricité 2009 affirme la nécessité de maintenir un parc de production thermique classique minimal pour les besoins spécifiques du système électrique. Ce parc doit cependant être largement modernisé pour minimiser son impact sur l'environnement et, en particulier, réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>:

- la moitié des centrales à charbon les plus anciennes et dont les performances environnementales sont les moins bonnes, près de 4 000 MW, seront déclassées avant 2016. Elles seront remplacées en partie par des cycles combinés fonctionnant au gaz (CCG). RTE prévoit la mise en service de dix CCG, trois d'entre eux sont en cours de construction par EDF et sept sont lancés par d'autres producteurs, dont les partenaires d'EDF du projet Penly 3;

- les centrales au charbon les plus récentes ont déjà été rénovées et des installations de dépollution ont été installées;
- l'avenir des centrales thermiques au fioul (5 200 MW), qui sont utilisées pendant les périodes de **pointe**, sera déterminé par l'évolution de la réglementation européenne d'ici 2015. Par ailleurs, la problématique spécifique des équipements de pointe et de la réduction de la consommation à la pointe font l'objet d'un groupe de travail animé par les parlementaires Bruno Sido et Serge Poignant.

Au total, en France continentale, les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la production d'électricité devraient être réduites de près de 30 % d'ici 2020, par rapport au niveau actuel.

### 3.4.3 Le recours à l'énergie nucléaire

Développée en quantité, comme suite aux crises pétrolières de 1973 et 1979, l'énergie nucléaire a fait de l'électricité française l'une des moins soumises aux risques géopolitiques et des plus compétitives d'Europe. C'est également un atout dans la lutte contre l'effet de serre ; les émissions de CO<sub>2</sub> relatives à la production d'électricité et de chaleur en 2008 sont ainsi globalement de 90 g de CO<sub>2</sub> par

kWh produit en France (et d'environ 60 g pour la seule production électrique, source RTE), contre 358 g de CO<sub>2</sub>/kWh en moyenne européenne.

Ces dernières années, les centrales nucléaires françaises ont assuré entre 75 et 80% de la production électrique nationale.

La loi d'orientation sur l'énergie (POPE) a réaffirmé en 2005 que le recours à l'énergie nucléaire est nécessaire, si la France veut conserver pour sa production d'électricité un approvisionnement énergétique sécurisé, avec très peu d'émissions de CO<sub>2</sub> et compétitif.

La PPI-électricité 2009 privilégie :

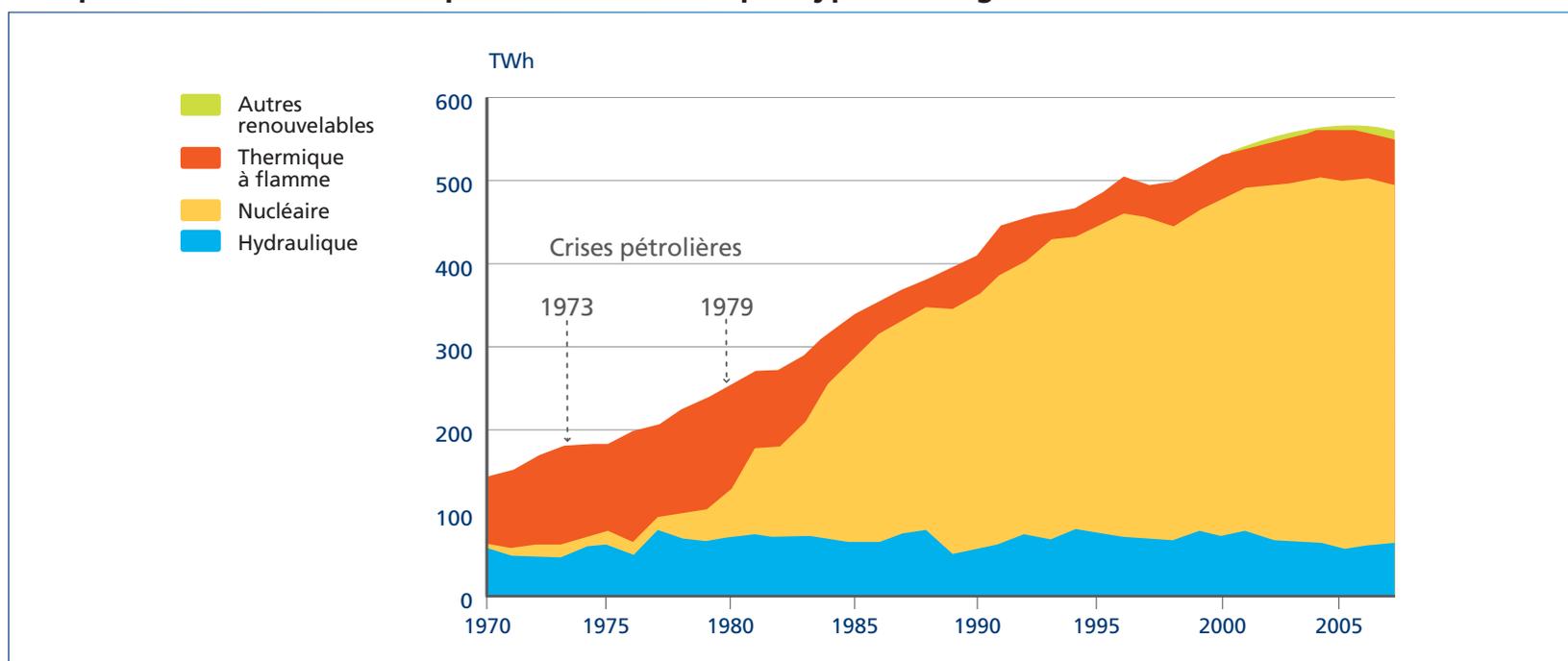
- la prolongation de la durée de fonctionnement des centrales nucléaires existantes au-delà de 40 ans, selon les décisions que prendra l'Autorité de sûreté nucléaire ;
- le développement d'unités de production électronucléaire de type EPR. Le gouvernement a autorisé la réalisation d'une première unité de ce type sur le site de Flamanville. Actuellement en construction, l'unité a un objectif de démarrage en 2012 et de production commercialisée d'électricité en 2013. En 2009, le projet d'une seconde unité de type EPR sur le site de Penly a été inscrit dans la PPI.

i  
4.2

i  
9.2

i  
1.1

Répartition de l'électricité produite en France par type d'énergie



Source : RTE.

## 3.5 La proposition d'EDF : le projet Penly 3

Dès 2008, EDF et d'autres acteurs énergétiques ont manifesté leur intérêt pour construire une nouvelle unité de production électronucléaire EPR.

Le 30 janvier 2009, un communiqué de la Présidence de la République précise :

*"L'État valide le projet d'EDF de réaliser cette centrale sur le site de Penly, en Seine-Maritime. EDF réalisera cet équipement dans le cadre d'une société de projet dont il aura la majorité. GDF SUEZ sera associé à ce projet. D'autres partenaires désireux de partager l'investissement et l'approvisionnement électrique seront invités à y participer. EDF déposera dans les prochaines semaines un dossier sur ce grand projet à la commission nationale du débat public, en vue de commencer la construction en 2012 et de raccorder la centrale au réseau en 2017 [...]".*

Pour l'État, Penly 3 permettrait de disposer d'une plus grande sécurité d'approvisionnement de la France en électricité, face aux aléas et incertitudes qui pèsent à moyen et long terme sur le **système électrique** français.

Pour EDF et ses partenaires, le projet Penly 3 permettrait d'alimenter leurs clients avec une électricité compétitive et très peu émettrice en gaz à effet de serre.

### 3.5.1 Renforcer la sécurité énergétique

Avec le projet Penly 3, EDF et ses partenaires garantissent la fourniture d'électricité à leurs clients et donnent des marges de sécurité au **système électrique**. L'ajout de cette nouvelle unité de production électronucléaire représente une production annuelle de 13 TWh qui donnera une marge de sécurité en termes de capacité de production, compte tenu des incertitudes qui existent à l'horizon de la prochaine décennie.

Ces incertitudes, que ce soit pour le système électrique français ou les clients d'EDF et de ses partenaires, concernent l'offre de production comme la demande. Elles dépendent du rythme de concrétisation des scénarios retenus dans le Grenelle de l'environnement, notamment en terme de développement des **énergies renouvelables** ou des économies d'énergie.



La consommation d'électricité dépend des aléas climatiques.

### La consommation d'électricité est influencée par :

**L'activité économique :** par exemple, la crise économique a des effets sur la consommation électrique, en recul de 2,6 % sur les 9 premiers mois de 2009, en raison de la baisse de l'activité industrielle. A l'inverse, un point de croissance supplémentaire se traduit par une augmentation de la consommation d'électricité de 3 à 4 TWh.

**Les conditions météorologiques :** Température, humidité, nébulosité, pluviométrie et vent conditionnent les besoins en chauffage, climatisation et éclairage. Un hiver froid peut faire augmenter la consommation de plusieurs TWh. ■

Pour ce qui concerne la demande, le Grenelle de l'environnement prévoit d'importantes actions d'économie d'énergie. À l'horizon 2020, RTE estime qu'elles devraient permettre de réduire la consommation électrique entre 46 et 72 TWh (ampleur observée par rapport à un **scénario tendanciel**, sans mesures d'économie d'énergie). Un rythme d'intégration de ces mesures moins soutenu que prévu pourrait conduire à une augmentation de la demande de plusieurs dizaines de TWh.

Pour ce qui concerne l'offre, le Grenelle de l'environnement prévoit des volumes très ambitieux de développement de l'éolien, 25 000 MW en 2020 contre 4 200 MW fin 2009. Bien que très encouragée par les Pouvoirs Publics et les régions, cette filière rencontre aujourd'hui des difficultés d'acceptabilité locale. Une réalisation inférieure de 5 000 MW à l'objectif aurait un impact d'une dizaine de TWh en moins sur la production attendue en 2020. Des incertitudes peuvent également apparaître sur le renouvellement du parc thermique classique, notamment certains projets d'investissement en cycle combiné actuellement prévus par différents opérateurs pourraient être retardés ou ne pas se faire, compte tenu d'évolutions du contexte (taxe carbone, évolutions tarifaires, etc.). Le nouveau contexte institutionnel (concurrence à la production) fait que ces incertitudes sont plus fortes que par le passé puisque l'offre dépend désormais de multiples acteurs.

▣ **Avec le projet Penly 3, EDF et ses partenaires anticipent le développement de nouveaux usages consommateurs d'électricité.**

Le changement d'énergie, au profit de l'électricité pour certains usages, peut conduire à l'amélioration de l'efficacité énergétique et/ou à la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Par exemple, on peut remplacer des équipements de chauffage et de transport fonctionnant au gaz ou au pétrole par des matériels fonctionnant à l'électricité, pour autant que la consommation globale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre soient plus faibles. Les **pompes à chaleur** en remplacement de chaudières à fioul ou à gaz, les véhicules électriques, le développement du fret ferroviaire, du tramway, du train à grande vitesse en sont des illustrations.

## Les véhicules électriques

On distingue deux types de véhicules électriques :

→ **les véhicules hybrides-rechargeables** associant un moteur à combustion interne classique et une assistance électrique pour de faibles distances ;

→ **les véhicules électriques purs**. L'électricité est stockée dans des batteries embarquées, l'autonomie est actuellement de 100 à 200 km.

La consommation d'un véhicule électrique est de l'ordre de 20 kWh aux 100 km.

La filière de la voiture électrique s'approche peu à peu de sa maturité industrielle. Son déploiement est principalement lié à l'amélioration de l'efficacité et du coût des batteries, ainsi qu'à l'installation d'infrastructures de recharge et d'échanges de batteries, notamment en milieu urbain. ■



Prototype de véhicule électrique.

Ces transferts d'usage conduisent à des hausses potentielles de consommation annuelle de plusieurs dizaines de TWh en 2020-2030 :

- la consommation électrique des transports ferrés (fret et passagers) pourrait augmenter de l'ordre de 6 TWh à 12,5 TWh<sup>1</sup>, en raison principalement du développement des transports urbains et des lignes à grande vitesse ;
- le plan national de développement des véhicules électriques vise un objectif volontariste de 2 millions de véhicules à l'horizon 2020 qui se concrétisera par un accroissement de la consommation d'électricité annuelle de l'ordre de 2 à 5 TWh. De plus, le déploiement des véhicules électriques devrait nettement s'accélérer au-delà de cet horizon, avec un objectif de 4,5 millions en 2025.

Ces hypothèses conduisent à une fourchette d'augmentation de la demande d'électricité liée au transport de l'ordre de 10 à 20 TWh en 2020.

Enfin, le renchérissement prévisible du pétrole, du gaz et du charbon renforcera les transferts d'énergie vers l'électricité. Le projet Penly 3 permettrait de répondre aussi à ces nouveaux usages. Penly 3 s'inscrit donc dans une perspective de développement à moyen terme, indépendamment du renouvellement du parc nucléaire actuel qui interviendra ultérieurement.

### 3.5.2 Disposer d'une énergie peu émettrice de CO<sub>2</sub>

Penly 3 permettrait de disposer d'une énergie peu émettrice de gaz à effet de serre. Le graphique ci-contre illustre ce propos en présentant les résultats des études d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) pour différents moyens de production, les plus modernes.

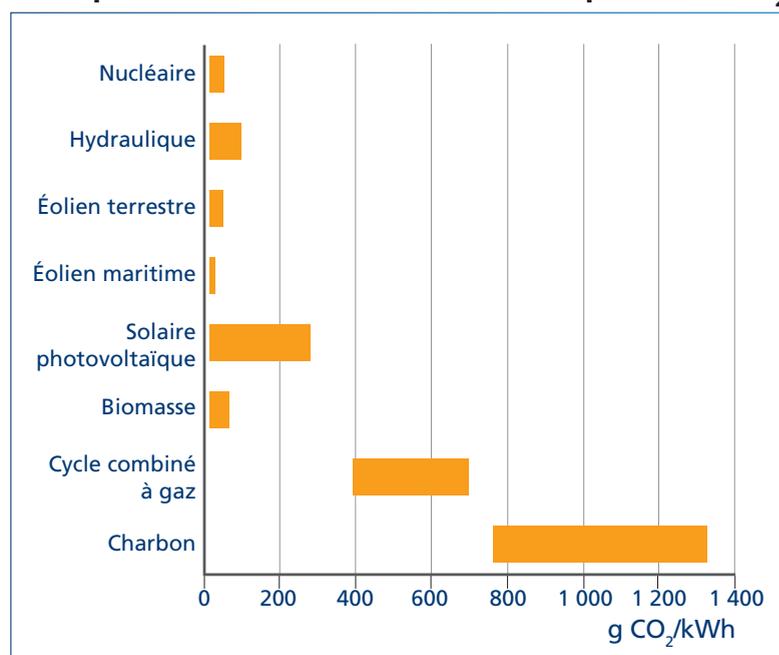
Ces chiffres prennent en compte les émissions directes de gaz à effet de serre, exprimées en équivalent CO<sub>2</sub>, pendant l'exploitation des centrales (combustion du charbon par exemple), mais aussi celles entraînées par les autres étapes du cycle de vie (construction et déconstruction des installations industrielles, fabrication et transport des combustibles, élimination des déchets, etc.).

**i**  
**4.2**



Le tramway de Nantes.

#### Comparaison des émissions de gaz à effet de serre des différentes filières de production d'électricité sans capture de CO<sub>2</sub>



(valeurs min = meilleures technologies en cours de développement). Sources: Conseil mondial de l'énergie et Agence internationale de l'énergie nucléaire.

1. 12,5 TWh est l'hypothèse de développement présentée dans la loi Grenelle 1 (Source: ADEME)

### 3.5.3 Garantir une électricité compétitive, rentable et au coût de production stable

#### Penly 3 produira une électricité peu sensible aux fluctuations des marchés des matières premières

L'uranium, le gaz ou le charbon sont des combustibles importés et leur prix deviendra de plus en plus élevé à long terme. L'avantage du nucléaire par rapport aux autres moyens de production centralisée est une faible dépendance aux fluctuations des prix des combustibles. En effet, l'uranium ne représente aujourd'hui que 5 % du coût de production de l'électricité nucléaire.

#### Penly 3 produira une électricité compétitive par rapport aux filières thermiques classiques, pour une utilisation comparable

Le diagramme ci-après présente la vision d'EDF des coûts de production pour les Cycles combinés à gaz et les unités au charbon de nouvelle génération (supercritique), fonctionnant en base et mis en service vers 2020. Ceux-ci sont estimés pour différentes hypothèses de coût des combustibles et pour deux prix, 20 et 40 €, de la tonne de CO<sub>2</sub>.

Les émissions de CO<sub>2</sub> font l'objet d'un marché. Actuellement, le prix de la tonne émise est d'environ 15 €. Le durcissement des contraintes environnementales devrait conduire à des prix plus élevés.

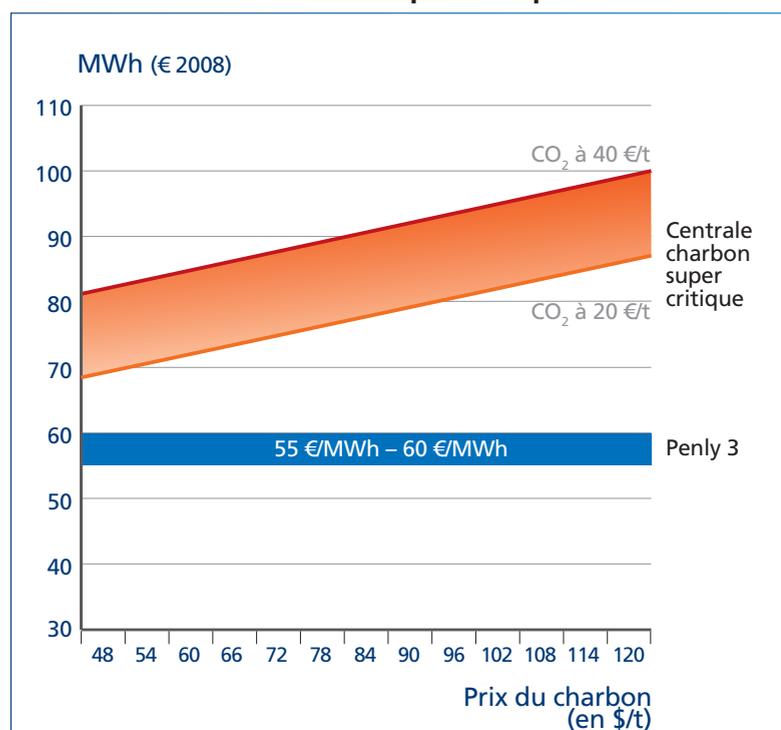
Le coût complet de production de Penly 3 est moins élevé que celui :

- d'une centrale au charbon ;
- d'un cycle combiné à gaz, pour un pétrole supérieur à 50 \$ le baril et un coût du CO<sub>2</sub> supérieur à 20 € la tonne ;

ce qui assure sa rentabilité pour EDF et ses partenaires.

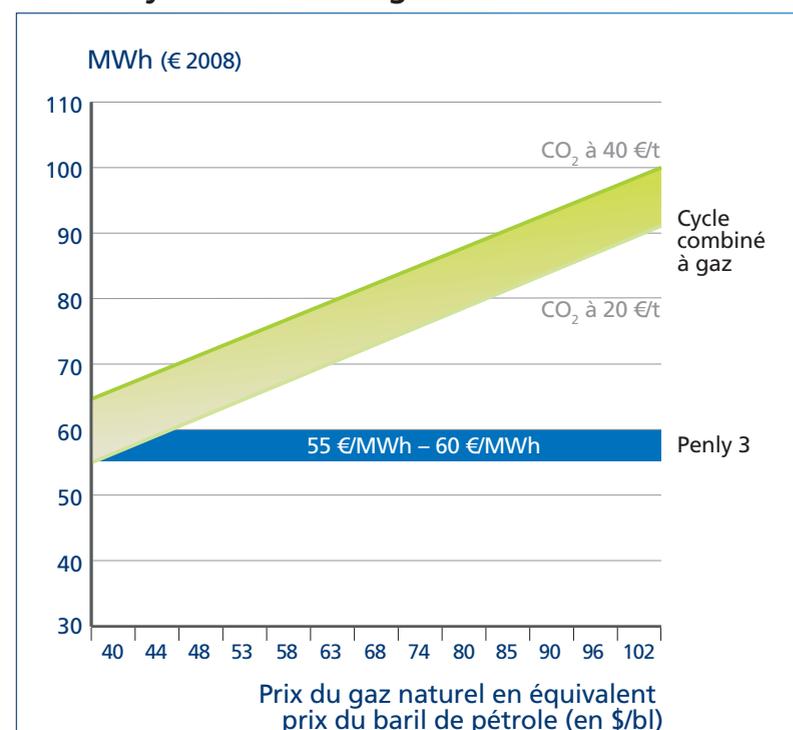
i  
4.3

Comparaison avec les coûts de production d'une centrale charbon super-critique en France



Pour un taux de change long terme de 1 euro = 1,22 dollars.  
Source: EDF.

Comparaison avec les coûts de production d'un cycle combiné à gaz en France



Pour un taux de change long terme de 1 euro = 1,22 dollars.  
Source: EDF.

## 3.6 Les alternatives au projet

Le projet Penly 3 proposé par EDF et ses partenaires s'inscrit dans une démarche globale qui utilise tous les leviers définis par la politique énergétique française : maîtrise de la demande d'énergie, développement des **énergies renouvelables**, modernisation du thermique à flamme, recours pérenne à l'énergie nucléaire. Ces leviers sont complémentaires. La robustesse de cette stratégie est examinée ci-après en envisageant la possibilité d'autres combinaisons sans Penly 3.

### 3.6.1 Remplacer le projet par des nouveaux moyens de production utilisant des énergies renouvelables

*Si le projet est réalisé, Penly 3 produira en moyenne de l'ordre de 13 TWh par an. Serait-il possible de remplacer cette unité de production par des énergies renouvelables ?*

Penly 3 pourra fonctionner à sa pleine puissance pendant plus de 90 % du temps ; c'est-à-dire

qu'avec sa puissance de 1 650 MW, sa production sera de l'ordre de 13 TWh par an, avec une période d'arrêt pour maintenance prédéterminée.

À puissance installée équivalente, les moyens de production d'origine éolienne et solaire ne fournissent pas le même service car leur production est intermittente et dépend des conditions météorologiques (par exemple, absence de vent en anticyclone d'été pour l'éolien ou absence de production solaire entre le coucher et le lever du soleil).

Les objectifs du Grenelle de l'environnement pour le développement de l'éolien et du solaire sont déjà considérés comme très ambitieux<sup>1</sup>, le développement de nouvelles capacités au-delà de cet objectif serait très difficile.

Par ailleurs, le coût de production de l'électricité éolienne est sensiblement plus élevé que celui annoncé pour Penly 3, celui du **solaire photovoltaïque** est plusieurs fois supérieur. Cette énergie a besoin de très fortes subventions pour se développer.

Les énergies renouvelables et Penly 3 sont donc plutôt des choix complémentaires que des alternatives.

### Quelques ordres de grandeur pour la production d'une même quantité d'électricité

Une production moyenne de 13 TWh sur une année peut être obtenue avec l'un des moyens de production suivants :

- **Nucléaire** : 1 unité EPR
- **Éolien** : 3 000 éoliennes terrestres d'une puissance de 2 MW<sup>2</sup> ou 1 000 éoliennes en mer de 5 MW
- **Solaire photovoltaïque** : 13 millions d'installations de 10 m<sup>2</sup> d'une puissance unitaire de 1 kW
- **Thermique à flamme** :
  - Biomasse** : 21 millions de tonnes de bois
  - Charbon** : 4,6 millions de tonnes
  - Pétrole** : 2,9 millions de tonnes
  - Gaz naturel** : 2,1 milliards de m<sup>3</sup> ■

Source : "L'énergie en France", MEEDDM.



Ferme solaire à Manosque (Alpes de Haute-Provence).

1. Source : dossier de presse MEEDDAT du 3 juin 2009 pour la présentation de la feuille de route PPI (3/6/09).

2. Hypothèse : 2 200 heures équivalent pleine puissance par an pour les éoliennes terrestres et 2 500 heures pour les éoliennes en mer.

## Les coûts de production des énergies nouvelles renouvelables

Ces données ne sont pas communiquées par les producteurs. En revanche, les tarifs de rachat de l'électricité produite par les ENR sont publics :

- 85,6 €/MWh pour l'éolien terrestre ;
- 135,8 €/MWh pour l'éolien maritime ;
- 314 €/MWh pour les fermes solaires photovoltaïques ;
- 420 €/MWh pour les panneaux solaires avec intégration simplifiée au bâti ;
- 580 €/MWh pour les panneaux solaires intégrés au bâti chez les particuliers. ■

**i**  
4.3

### 3.6.2 Remplacer le projet par des actions de maîtrise de la demande d'énergie

*Si le projet est réalisé, Penly 3 produira en moyenne de l'ordre de 13 TWh par an. Serait-il possible de remplacer cette unité de production par une réduction de la demande d'énergie ?*

Penly 3 ne peut pas être remplacée par des actions de maîtrise de la demande en énergie permettant d'économiser de l'ordre de 13 TWh supplémentaires par an, car les gisements sont déjà identifiés et reportés dans les prévisions de consommation. Le scénario "MEEDDAT Grenelle" repose en effet sur les travaux qui ont été menés pendant le Grenelle de l'environnement, notamment sur toutes les pistes de maîtrise de la demande d'énergie qui ont été identifiées par les participants et retranscrites dans les lois Grenelle 1 et 2.

Le succès des actions de maîtrise de la demande d'énergie nécessite des innovations techniques, et surtout, plus délicate à obtenir, la modification des comportements et la mobilisation conjointe de quatre catégories de parties prenantes :

- principalement les consommateurs d'énergie qui doivent décider d'investir et faire réaliser les tra-

vaux permettant de diminuer leur consommation. Pour le propriétaire-habitant, la décision est souvent difficile à prendre car l'investissement initial est coûteux et se trouve en concurrence avec d'autres postes de dépenses du ménage. Pour le propriétaire-bailleur qui ne supporte pas la facture d'énergie, le retour d'investissement, via le loyer est plus incertain ;

- l'État et les collectivités, au travers des subventions qu'ils accordent ; à titre d'exemple la mise en place d'un "éco-prêt à taux zéro" pour encourager la rénovation lourde des logements, une amélioration du crédit d'impôt "développement durable" afin d'accélérer les rénovations thermiques légères et un soutien spécifique aux ménages acquérant des logements dont la performance énergétique est meilleure que celle prévue par la réglementation ;
- les filières professionnelles qui doivent augmenter leur capacité d'intervention, en mettant en œuvre de nouvelles technologies, en recrutant/formant leur personnel. À ce titre, la Fédération Française du Bâtiment, consciente de la nécessité d'aider les entreprises, a signé fin 2009 une convention de partenariat avec le gouvernement et l'ADEME visant à accompagner les entreprises de la Fédération vers les objectifs du Grenelle en matière de performance énergétique (qualification des entreprises, garantie de performance énergétique après travaux, objectifs de formation...);
- les énergéticiens comme EDF, qui mobilisent des ressources pour animer le dispositif<sup>1</sup>.

**i**  
1.1

La maîtrise de la demande d'énergie et Penly 3 sont donc plutôt des choix complémentaires que des alternatives.

### 3.6.3 Faire le projet plus tard

*Ne pourrait-on pas attendre quelques années, au lieu de lancer ce projet dès maintenant ? Les réacteurs nucléaires du futur ne seraient-ils pas une meilleure réponse ?*

La PPI 2009 relève que, grâce à Penly 3, la France disposera "des marges nécessaires pour gérer les incertitudes sur l'équilibre offre-demande à l'horizon 2020".

1. EDF anime et forme tout un réseau de partenaire dans l'isolation des bâtiments et le développement de solution de chauffage performant. De même, EDF conduit de multiples actions avec les bailleurs sociaux pour inciter à la maîtrise de la demande d'énergie.

Parmi tous les scénarios d'équilibre production/consommation étudiés, la plupart justifient le besoin de Penly 3 dès 2017. Cependant, les incertitudes sont significatives pour des prévisions à un horizon de l'ordre de 10 ans, tant pour l'offre que pour la demande. Il convient de se déterminer en minimisant les inconvénients, quelque soit le cas de figure envisagé : prévision optimiste ou à l'inverse pessimiste.

Disposer de Penly 3 en 2017 représente le meilleur compromis :

- si l'offre nationale est abondante (l'offre s'accroît plus que prévu, ou la demande moins que prévu), l'électricité produite par Penly 3 pourra être vendue sur le marché européen, car son coût est compétitif, par rapport à l'électricité produite en Europe, majoritairement à partir de charbon et de gaz ;
- si l'offre nationale n'est pas suffisante (si l'offre s'accroît moins que prévu, ou la demande plus que prévu), en plus de Penly 3, il faudra recourir à des moyens de production français ou européens, plus onéreux et avec des émissions de gaz à effet de serre très supérieures.

Retarder le projet conduirait à ce que les surcoûts soient bien plus probables que les économies, que le bilan des émissions de gaz à effet de serre soit dégradé et que le risque de défaillance du **système électrique** soit plus fort.

Pour ce qui concerne les réacteurs nucléaires du futur, dits de génération 4, ils ne seront pas disponibles dans une version industrielle, au mieux, avant 2040. Il n'est pas envisageable d'attendre jusqu'à cette échéance.



6.4

### 3.6.4 Optimiser le parc de centrales nucléaires existant

*Serait-il possible de faire produire 13 TWh/an de plus aux centrales existantes ?*

13 TWh correspond à une augmentation de production annuelle des centrales existantes d'environ 3 % en moyenne. L'augmentation de production peut être réalisée de deux manières : par l'amélioration de la disponibilité (le pourcentage de temps où l'unité est apte à produire) ou par une augmentation de la puissance.

Depuis plusieurs années, ces deux voies font l'objet d'investigations et de réalisations. Les objectifs cor-

respondants sont déjà pris en compte dans les scénarios utilisés pour les travaux de la Programmation pluriannuelle des investissements.

Par exemple, l'objectif de disponibilité du parc en exploitation est fixé à 85 % pour des valeurs qui sont aux alentours de 80 % ces dernières années.

### 3.6.5 Utiliser un autre moyen de production non nucléaire

*Une ou plusieurs centrales thermiques non nucléaires pourraient-elles répondre à la demande ?*

Penly 3 pourrait être remplacée par des unités utilisant du charbon ou du gaz utilisés de manière quasi permanente. Ces moyens de production présentent deux inconvénients par rapport aux centrales nucléaires : le coût du kWh et les émissions de gaz à effet de serre sont plus élevés.

#### ▣ Les gaz à effet de serre

L'avantage est au nucléaire. Si l'on produisait les 13 TWh que fournira Penly 3 avec la technologie classique la moins émettrice, le cycle combiné au gaz, on émettrait plus de 5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> de plus en France, chiffre à comparer aux 34 millions de tonnes émises en 2008 par l'ensemble du parc électrique français (évaluation RTE) et aux 29 prévus en 2015 (prévision RTE dans son scénario "probable").

Pour ce qui concerne la production à partir de charbon avec **capture et séquestration** du carbone, cette technologie sera dans tous les cas coûteuse et ne sera pas disponible industriellement à l'horizon 2020.

#### ▣ Le coût de production

L'avantage de Penly 3 est également clair. Pour des prix des hydrocarbures correspondant à 60 \$ le baril de pétrole, niveau dépassé aujourd'hui bien que nous ne soyons pas sortis de la crise économique, le coût de production de Penly 3 serait moins élevé que celui d'une unité de production au gaz, même si le CO<sub>2</sub> était gratuit (ce qui reviendrait à abandonner la lutte contre le changement climatique).

Les coûts de production de Penly 3 sont moins élevés que ceux d'une unité au charbon avec un prix du CO<sub>2</sub> de 10€ la tonne, plus bas qu'au creux de la crise, et un charbon à 50 \$ la tonne, soit 40 % de moins qu'aujourd'hui.

# 4

## LE PROJET PENLY 3



## UNE UNITÉ DE PRODUCTION ÉLECTRONUCLÉAIRE COMPREND :

- UNE PARTIE DITE "NUCLÉAIRE" QUI PRODUIT DE LA CHALEUR DANS UN RÉACTEUR, À PARTIR DES RÉACTIONS DE FISSION D'ATOMES. CETTE CHALEUR EST TRANSFÉRÉE À LA PARTIE NON NUCLÉAIRE SOUS FORME DE VAPEUR À HAUTE PRESSION ;
- UNE PARTIE NON NUCLÉAIRE QUI EST PRINCIPALEMENT CONSTITUÉE D'UN GROUPE TURBOALTERNATEUR QUI TRANSFORME LA VAPEUR EN ÉLECTRICITÉ.



6.1

6.2

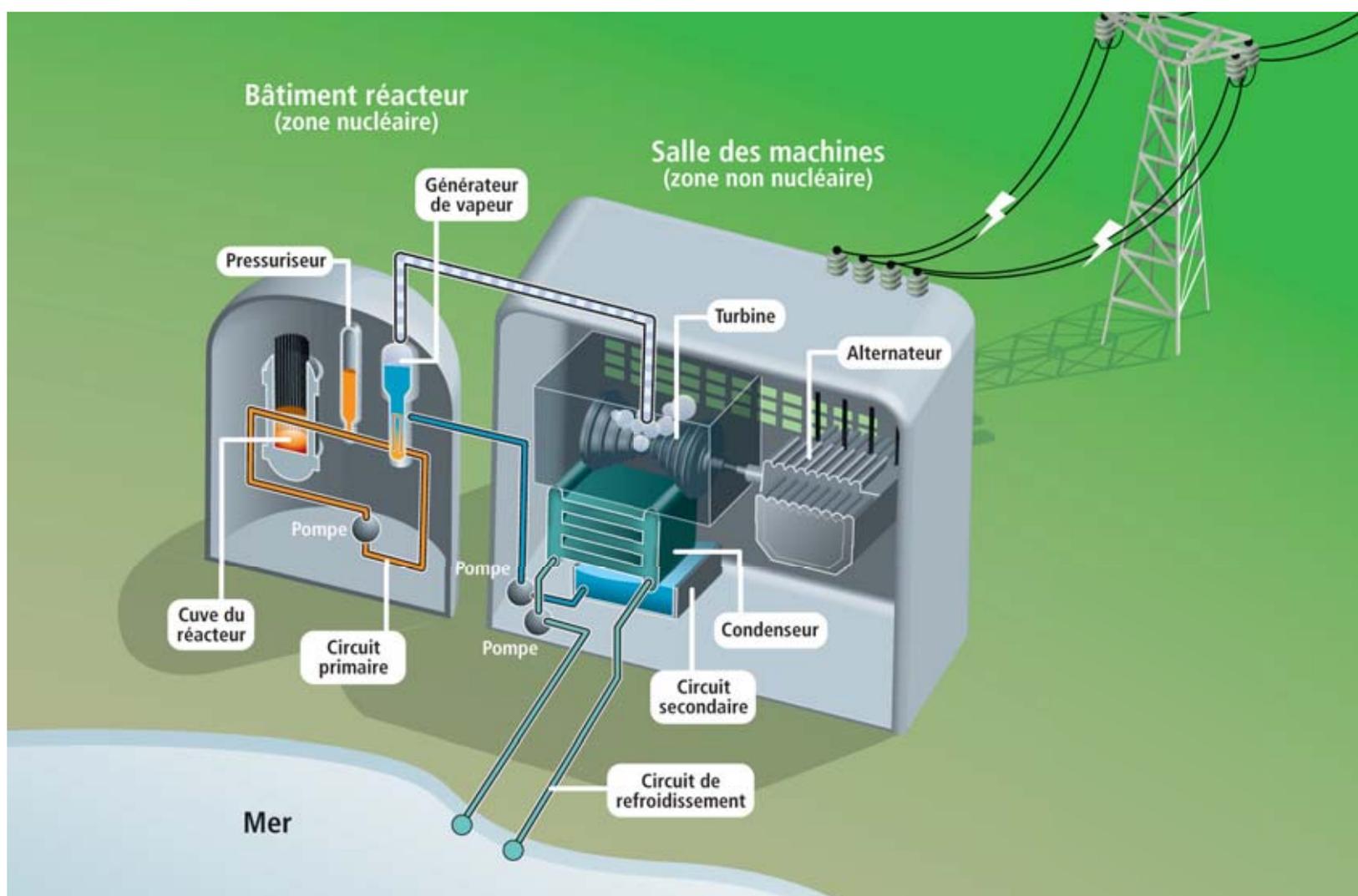
LA SÛRETÉ DE L'INSTALLATION, NOTAMMENT CELLE DE LA PARTIE NUCLÉAIRE, EST PRIMORDIALE ET A GUIDÉ LES CHOIX DE CONCEPTION DE PENLY 3. L'INSTALLATION INTERAGIT AVEC SON ENVIRONNEMENT, LA MINIMISATION DE SON IMPACT EST ÉGALEMENT UN DES FILS DIRECTEURS DE LA CONCEPTION.

FRUIT DE L'EXPÉRIENCE ACCUMULÉE PAR LES CONCEPTEURS<sup>1</sup> ET LES EXPLOITANTS DE CENTRALES NUCLÉAIRES FRANÇAISES ET ALLEMANDES<sup>2</sup>, LE RÉACTEUR EPR EN COURS DE CONSTRUCTION À FLAMANVILLE DANS LA MANCHE ET QUI SERA UTILISÉ À PENLY 3, PRÉSENTE ÉGALEMENT DES ÉVOLUTIONS TECHNIQUES PAR RAPPORT AUX CENTRALES NUCLÉAIRES ACTUELLES.



3

10



Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire REP.

1. AREVA et SIEMENS qui construisent actuellement une unité de production électronucléaire avec un réacteur EPR en Finlande à Olkiluoto.  
2. EDF et ses homologues allemands dont EON.

## 4.1 Les objectifs de sûreté

L'Autorité de sûreté nucléaire juge globalement satisfaisante, tant sur le plan de la conception que de l'exploitation, la **sûreté** des réacteurs aujourd'hui en exploitation en France. Toutefois, elle considère que tout projet de nouvelle génération de réacteur électronucléaire doit atteindre un niveau de sûreté supérieur<sup>1</sup>. C'est ainsi qu'en 1993, les Autorités de sûreté nucléaire allemande et française ont fixé conjointement, pour le projet de réacteur EPR, des objectifs de sûreté renforcés<sup>2</sup>, dans le cadre d'une conception évolutionnaire tirant bénéfice de l'expérience des réacteurs en exploitation :

- le nombre des **incidents** doit diminuer ;
- le risque de fusion du cœur doit être encore réduit ;
- les rejets radioactifs pouvant résulter de tous les **accidents** concevables doivent être minimisés, en particulier ceux qui conduiraient à des rejets précoces doivent être éliminés.

### ▣ Diminuer le nombre d'incidents

La sûreté est une démarche d'amélioration permanente et l'EPR intègre de nouvelles dispositions qui réduisent encore le risque d'accident. Cette recherche concerne aussi la diminution du nombre d'incidents, notamment par l'amélioration de la fiabilité des systèmes et par une meilleure prise en compte des aspects liés aux facteurs humains.

Concernant la prise en compte du facteur humain dans la gestion des incidents et des accidents, des délais plus importants sont laissés aux opérateurs avant que leur intervention ne devienne nécessaire. Ces délais plus importants sont obtenus en agissant sur la conception, par exemple en augmentant le volume de certains gros composants.

### ▣ Diminuer le risque de fusion du cœur

L'objectif est de diminuer la probabilité d'avoir un accident grave ; pour l'EPR la "fréquence globale de fusion du cœur [doit être] inférieure à  $10^{-5}$  par année-réacteur<sup>3</sup>, en tenant compte des incertitudes et de tous les types de défaillances et d'agressions".

La mise en place, par exemple, de **systèmes de sauvegarde** quadruplés et de moyens diversifiés pour assurer les fonctions de sûreté permet d'atteindre cet objectif (cf. §4.2).

### ▣ Réduire les conséquences des accidents

Même si la probabilité d'un accident grave est infime, des dispositions sont prises pour le gérer et en réduire l'impact. L'objectif est de réduire le plus possible les conséquences sur l'environnement de l'accident hypothétique le plus grave (c'est-à-dire la fusion du cœur avec percement de la cuve qui le contient), en particulier de n'avoir pas besoin d'évacuer les populations au-delà du voisinage immédiat de la centrale et de limiter les mesures sanitaires préventives relatives à la commercialisation des produits destinés à la consommation.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs dispositions sont prises (cf. §4.2) ; à titre d'exemple :

- un récupérateur, installé sous la cuve du réacteur, permet de le recueillir le combustible fondu et de le refroidir ;
- l'enceinte de confinement est doublée et elle est munie d'une peau métallique d'étanchéité.

Enfin, du fait de l'expérience d'exploitation acquise sur les réacteurs en service, l'Autorité de sûreté a également demandé que les contraintes d'exploitation soient prises en compte dès la conception pour contribuer à l'amélioration de la radioprotection : réduction de l'exposition des travailleurs, limitation des rejets radioactifs et diminution de l'activité des déchets produits.

### ▣ Réduire l'exposition des travailleurs à la radioactivité

À la conception, des dispositions sont prises pour réduire l'exposition du personnel à la radioactivité. Les moyens utilisés sont les suivants :

- choix de matériaux ayant une propension minimale à devenir radioactifs par **activation** ;
- interposition de boucliers entre les sources de radioactivité et les équipements pour minimiser l'activation et la **contamination** ;

i  
9.1

i  
6.5

i  
6.5

i  
6.6

1. Source : revue Contrôle N° 105 de l'Autorité de sûreté nucléaire, "Projet EPR : rôle et point de vue de l'Autorité de sûreté nucléaire".

2. Pour en savoir plus sur les objectifs de sûreté assignés au projet EPR, on pourra se reporter au site Internet de l'ASN et notamment le dossier de la revue Contrôle N° 164 de mai 2005 (<http://www.asn.fr/index.php/S-informer/Publications/La-revue-Contrôle/Dossiers-de-Contrôle-2005/Contrôle-n-164-le-reacteur-EPR>).

3. Soit 1 pour 100 000 pour une année de fonctionnement. Cet objectif correspond à une réduction d'un facteur 10 de la valeur, déjà extrêmement faible, pour le parc nucléaire en fonctionnement.

- choix de matériaux, conception des circuits et des locaux dans le but de minimiser le transport et le dépôt de la **contamination** ;
- conception des accès en zones nucléaires, des équipements de manutention et des chemine-ments pour réduire le temps prévisionnel d'exposition des intervenants à des matériaux radioactifs lors des opérations de démontage-remontage en exploitation ou pour maintenance ;
- utilisation d'équipements faciles à démonter et de protections faciles à nettoyer.

## Activation et contamination

Un matériel est activé quand une partie des atomes qui le composent a été rendue radioactive par le rayonnement auquel il a été exposé.

Un matériel est contaminé quand des produits radioactifs ont été déposés sur sa surface.

Un matériel peut être simultanément activé et contaminé.

Tous les travailleurs sur une centrale, salariés d'EDF ou non, sont soumis à un suivi médical et l'exploitant veille à ce qu'ils ne soient jamais exposés à la radioactivité au-delà des limites autorisées. De plus, toutes les mesures sont prises pour que la somme des expositions de toutes les personnes rentrant en zone nucléaire soit la plus faible possible (principe ALARA). Chaque intervention, chaque chantier fait l'objet d'une étude préalable pour trouver le moyen de réduire cette exposition globale, ou "dosimétrie".

Pour Penly 3, l'objectif visé pour la dosimétrie collective de l'ensemble des intervenants pour les opérations d'exploitation et de maintenance est de 350 H.mSv par an<sup>1</sup>.

### ▣ Limiter les rejets et les quantités de déchets

Comme la baisse de la **dosimétrie**, la diminution des rejets et des déchets est un des objectifs permanents d'EDF. Des dispositions de conception

concourent à cette réduction, telles que le choix des matériaux, l'adjonction de filtres supplémentaires, l'amélioration des procédés de conditionnement...

Une meilleure utilisation du combustible permet aussi de moins produire de déchets pour la même quantité d'électricité produite.

### ▣ L'avis de l'Autorité de sûreté sur la prise en compte des objectifs de sûreté

Le 28 septembre 2004, le directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (Direction remplacée par l'Autorité de sûreté nucléaire, ASN, par la loi du 13 juin 2006) a, au nom des ministres en charge de la **sûreté** nucléaire, adressé au président d'EDF une lettre présentant la position des Pouvoirs Publics sur les options de sûreté du projet de réacteur EPR.

Sur la base de l'examen réalisé par l'ASN et le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires placé auprès d'elle, les Pouvoirs Publics considèrent que les options de sûreté retenues satisfont globalement à l'objectif d'amélioration de la **sûreté** par rapport aux réacteurs actuels.

Le 10 avril 2007, le gouvernement a délivré par décret, après avis de l'ASN, l'autorisation de création du réacteur n° 3 du site de Flamanville, réacteur de type EPR (European Pressurized water Reactor).

La prochaine étape sera la transmission du rapport de sûreté de l'installation. La mise en service sera ensuite autorisée par l'Autorité de sûreté, après vérification de la prise en compte de ses demandes.

## 4.2 Les choix de conception de Penly 3

Comme Flamanville 3, Penly 3 présente plusieurs évolutions par rapport aux centrales existantes.

### ▣ Quatre ensembles de systèmes de sauvegarde

La fonction principale des **systèmes de sauvegarde** est de ramener le réacteur dans un état sûr quelle que soit la situation d'exploitation. Les systèmes de sauvegarde ont un triple rôle :

- garantir en toute situation le contrôle de la réaction nucléaire ;



7.1

7.2



8



11.2

1. C'est-à-dire le cumul de toutes les doses individuelles de toutes les personnes qui interviennent pendant l'année, qu'elles soient employées par EDF ou par des entreprises prestataires, ne devrait pas dépasser 350 mSv. En 2008, la valeur moyenne pour les centrales EDF était de 660 H.mSv par an et par unité.

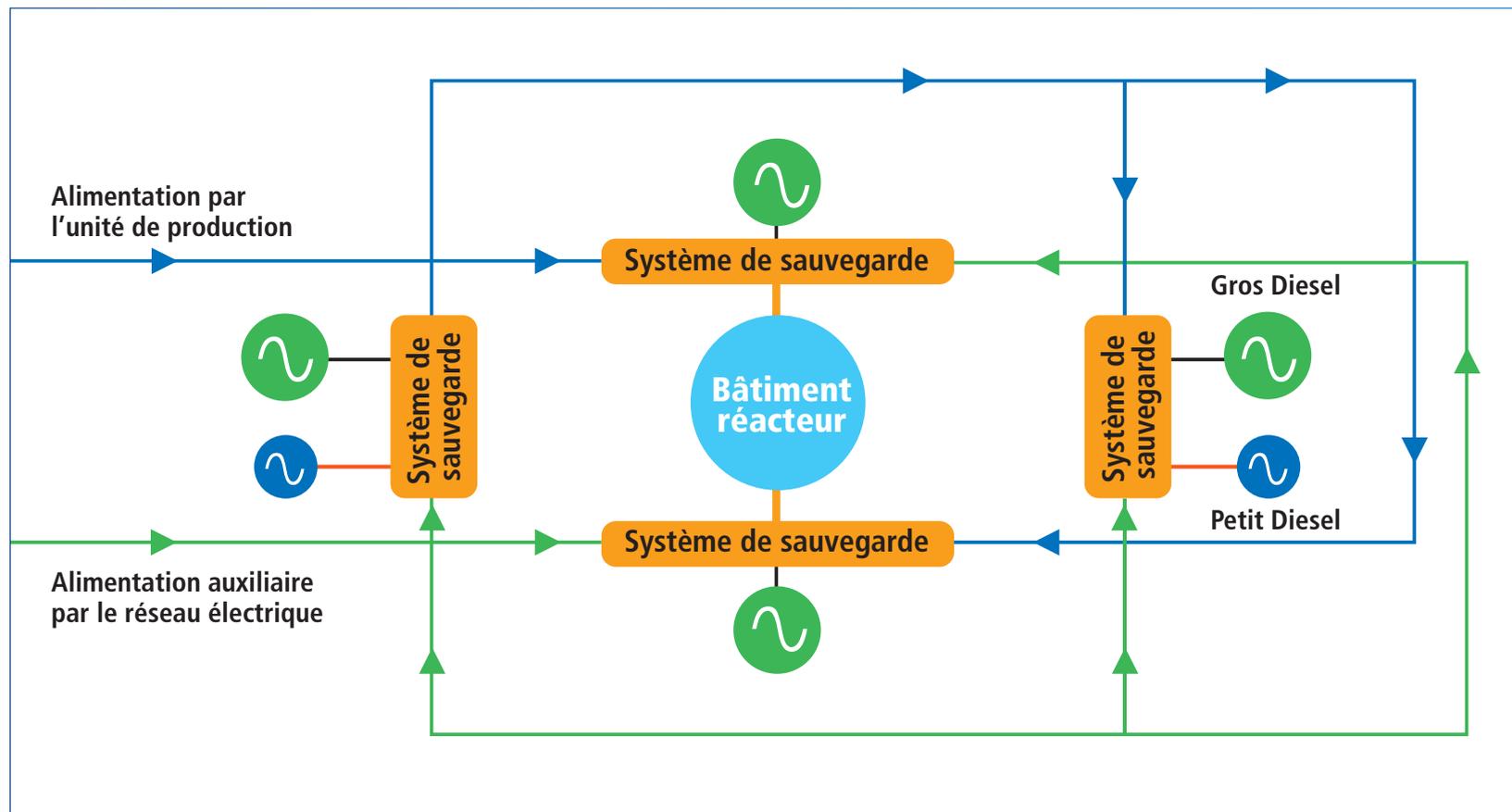
- maintenir le refroidissement du réacteur en toutes circonstances ;
- limiter l'augmentation de pression et de température dans le bâtiment réacteur en cas d'**accident**.

Sur les centrales en exploitation, ces systèmes sont doublés. Sur l'EPR, ils seront quadruplés, ce qui augmente encore la fiabilité de leurs fonctions. La séparation complète des quatre systèmes, chacun

dans un bâtiment distinct, permet par exemple de faire face à un **incident** sur un système, sans que les trois autres ne soient affectés et de procéder à des opérations de maintenance lorsque le réacteur est en marche : un seul système est nécessaire pour assurer la fonction de **sauvegarde**, mais le principe de **sûreté** impose d'avoir au moins deux systèmes opérationnels simultanément pour pouvoir remplacer le système éventuellement défaillant.

**i**  
6.5

### Principe de l'alimentation électrique des systèmes de sauvegarde



### ▣ Diversification accrue des alimentations électriques de sauvegarde

Pour assurer le fonctionnement des **systèmes de sauvegarde**, il faut garantir leurs alimentations électriques. Plusieurs sources, différentes et indépendantes les unes des autres sont utilisées :

- d'abord une alimentation par l'unité de production elle-même ;
- puis, en cas de défaillance de celle-ci, une alimentation par une ligne auxiliaire ;
- si cette ligne auxiliaire est elle-même défaillante, quatre groupes électrogènes diesels viennent alimenter chacun un système de sauvegarde (deux sur les centrales actuelles) ;
- enfin, deux groupes diesels complémentaires, de plus petite puissance et de technologies différentes, renforcent le dispositif.



Les quatre ensembles de systèmes de sauvegarde.

Certaines fonctions sont donc alimentées par quatre sources électriques diversifiées.

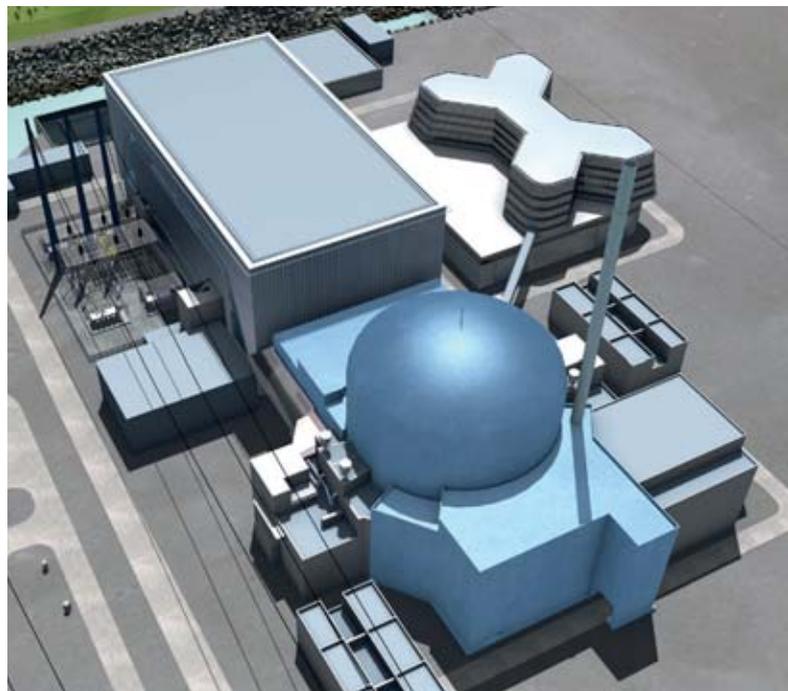
### Protection renforcée contre les agressions externes y compris les chutes d'avion

Une coque de béton armé est prévue pour recouvrir les bâtiments les plus sensibles de Penly 3 : bâtiment réacteur, bâtiment du combustible, salle de commande et deux des quatre bâtiments de sauvegarde. Cette coque constitue une protection particulièrement résistante contre les agressions externes, notamment en cas de chute d'avion. Dès l'origine, l'EPR a été conçu pour supporter des cas de chutes d'avions militaires. Moyennant quelques dispositions complémentaires décidées après 2001, il est en mesure de résister à des chutes d'avions commerciaux.

En cas d'accident de fusion du cœur, un dispositif spécialement conçu pour récupérer, contenir et refroidir le cœur en fusion, a été mis en place sous la cuve du réacteur.

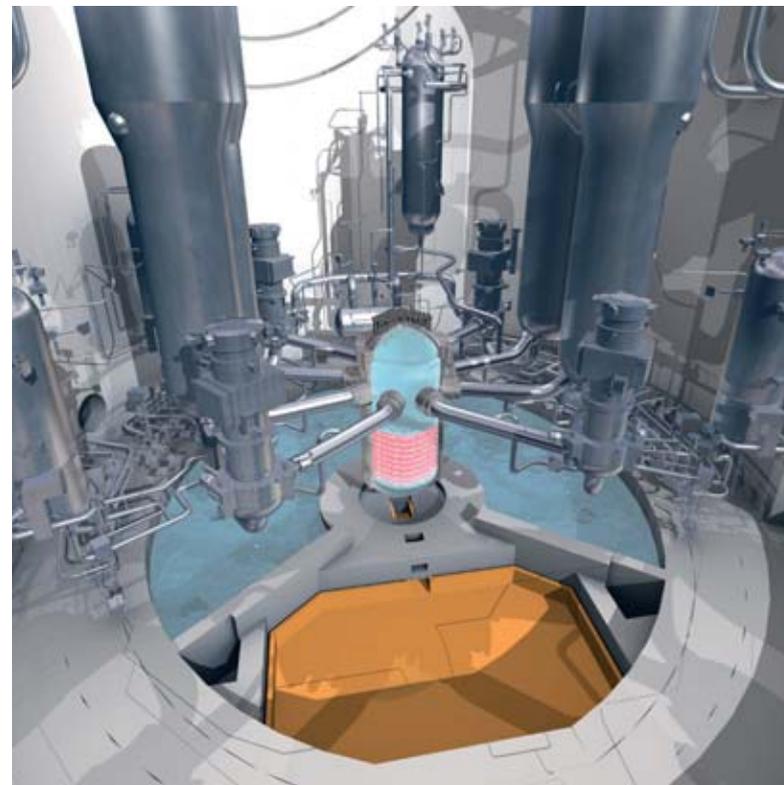


La coque de béton armée.



La coque mise en place.

Le récupérateur de combustible se trouve à l'avant de l'image ci-dessous. C'est un bac en matériau très résistant sous lequel circule de l'eau pour en assurer le refroidissement.



Récupération de combustible fondu

On remarque également à l'arrière de l'image une très importante réserve d'eau (2 000 m<sup>3</sup>) destinée, entre autres, à assurer l'alimentation en eau des systèmes de sauvegarde.

### Réflecteur lourd dans le réacteur

Le réflecteur lourd est un ensemble métallique très massif disposé dans la cuve du réacteur à sa périphérie. Il réfléchit les neutrons qui ont été produits par la réaction nucléaire et qui n'ont pas été absorbés à leur traversée du réacteur. Cela permet d'une part d'améliorer la combustion et d'autre part de réduire le nombre de neutrons venant frapper le matériau constitutif de la cuve du réacteur, ce qui réduit le vieillissement de la cuve et allonge ainsi sa durée de vie.

### Une salle de commande informatisée

EDF a engagé un travail en profondeur sur les facteurs humains dans la conduite des centrales nucléaires depuis la fin des années 70. C'est un élément essentiel de la sûreté nucléaire. Les dernières centrales construites (centrales 1 500 MW de Chooz dans les Ardennes et de Civaux dans la Vienne) ont bénéficié des possibilités offertes par l'informatique, particulièrement dans leurs salles de commande. Les techniciens qui pilotent les unités de production n'utilisent plus que des claviers et des écrans. Le pilotage informatisé ne signifie pas automatisation

i  
6.1

i  
6.5

**i**  
**6.5**

des tâches: il permet de disposer de la totalité des informations et des commandes sur écrans et surtout d'en améliorer la pertinence.

Les principes qui avaient été retenus ont été améliorés pour l'EPR, notamment l'interaction entre le système et les opérateurs (interface homme-machine). C'est un des exemples de l'utilisation de l'expérience des unités de production existantes pour améliorer la conception de l'EPR.

De même, le contrôle-commande qui assure le traitement des automatismes et transmet les ordres aux appareils (vannes, pompes, moteurs, etc.) et les informations (niveau, température, pression, etc.) vers

la salle de commande est informatisé. Une partie de ce contrôle-commande est spécifiquement dédiée aux fonctions et aux appareils ayant un lien avec la sûreté. Elle utilise un matériel aux spécifications renforcées qui permet de garantir son fonctionnement en toutes circonstances.

**■ Une salle des machines plus performante**

La technologie progresse aussi dans les installations non nucléaires, notamment l'amélioration de l'efficacité de la turbine. Le constructeur de la salle des machines n'est pas encore retenu, cependant les équipes d'ingénierie d'EDF ont fixé les principales caractéristiques dans les spécifications de l'appel d'offres.

**i**  
**6.2**

## Caractéristiques du projet

### Caractéristiques générales

- Puissance électrique sur le réseau: environ 1 650 MW
- Puissance thermique du réacteur: 4 500 MW
- Objectif de démarrage: 2017
- Durée de vie prévisionnelle: 60 ans

### Partie nucléaire

- Type de réacteur: EPR (European Pressurised water Reactor)
- Fournisseur: AREVA
- Combustible: Uranium enrichi jusqu'à 5 %, possibilité d'utiliser du combustible MOX (uranium-plutonium), 241 assemblages
- Modérateur: eau

- Caloporteur: eau
- Température de l'eau: 330 °C (sortie cœur)
- Pression de l'eau: 155 fois la pression atmosphérique

### Partie non nucléaire

- Type de turbine: à vapeur, 4 corps dont 3 à basse pression
- Fournisseur: il sera retenu après appel d'offres
- Condenseur: refroidi à l'eau de mer
- Pression vapeur: de 78 (pleine puissance) à 90 fois la pression atmosphérique (puissance nulle) ■



Penly 3 à découvert.

## 4.3 Les progrès en matière d'environnement

Les objectifs en termes d'environnement sont identiques à ceux de Flamanville 3 et en progrès par rapport aux centrales nucléaires existantes.

### 4.3.1 Une démarche de progrès continu

Pour Penly 3, EDF et ses partenaires s'engagent à poursuivre la démarche de progrès continu mise en œuvre dans les centrales nucléaires françaises qui sont aujourd'hui toutes certifiées ISO 14001, ce qui témoigne des actions volontaires menées pour respecter l'environnement.

Dès la mise en service des premières centrales nucléaires à la fin des années 1970, d'importantes actions ont été entreprises pour réduire les rejets radioactifs dans l'environnement comme :

- l'amélioration des circuits de collecte et de traitement ;
- la formation continue et une meilleure responsabilisation du personnel dans le domaine de l'environnement ;

- la généralisation des meilleures pratiques d'exploitation.

Ces actions ont entraîné une importante réduction des rejets radioactifs liquides entre 1985 et 1999, à l'exception du **tritium** et du **carbone 14** dont la production est fonction de l'électricité produite.

### Des améliorations prévues à la conception

La conception de Penly 3 vise à améliorer encore les meilleures performances environnementales obtenues sur les centrales nucléaires actuelles.

Penly 3 intègre, à la conception, le recyclage et le tri sélectif poussé des effluents liquides permettant l'optimisation de leur traitement ainsi qu'un traitement plus performant des effluents gazeux.

Ces dispositions de conception permettent d'envisager des niveaux de rejet pour Penly 3 inférieurs à ceux des autres unités du parc rapportés à l'énergie produite et similaires pour les rejets de tritium et de carbone 14.

En effet, les techniques actuellement disponibles ne permettent pas de diminuer les rejets de tritium et de carbone 14 qui sont fonction de l'énergie

i  
7.1

## Limites réglementaires et limites sanitaires

**Limite sanitaire :** pour toute substance potentiellement nocive, qu'elle soit radioactive ou non, des limites sanitaires d'exposition et/ou d'ingestion sont définies par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et d'autres organismes internationaux.

**Limites réglementaires :** comme pour toute installation industrielle, les rejets des centrales nucléaires sont réglementés par des limites (débit maximum instantané, quantité annuelle...). Ces limites sont fixées par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire. Elles sont définies au plus près des capacités techniques des installations, de manière à motiver les industriels pour rejeter le moins possible. Ces limites sont très inférieures aux limites sanitaires.

**Un exemple :** le tritium liquide rejeté par Penly 1 et 2.

La limite réglementaire de concentration est de 900 Bq/l au rejet. Au bord de la plage, on considère que la concentration maximale due au rejet pourrait atteindre 27 Bq/l (coefficient de dilution de 0,03), dans les conditions les plus défavorables. Si un baigneur était amené à boire de l'eau de mer, il n'en consommerait que très peu, 10 cl par exemple, soit 3 Bq. L'OMS considère qu'un adulte ne devrait pas consommer plus de 15 600 Bq/jour de tritium liquide. On voit que la limite réglementaire pour le baigneur est très inférieure à la limite sanitaire définie par l'OMS. De plus, la limite sanitaire est calculée pour une ingestion quotidienne alors que la centrale ne rejette que ponctuellement, après contrôle.

*Nota : cet exemple a pour but de donner un ordre de grandeur. ■*

i  
8

produite et qui resteront équivalents par kWh produit à ceux du parc actuel, déjà très inférieurs en termes d'impact à ceux de la radioactivité naturelle et aux limites sanitaires.

### La limitation des rejets

Les limites réglementaires de rejet du site de Penly seront établies par l'Autorité de sûreté nucléaire suivant la réglementation en vigueur sur la base du dossier de demande d'autorisation de création de Penly 3.

Ces limites de rejet seront déterminées de manière à être compatibles avec le respect de l'environnement et de la santé. Elles intégreront les améliorations industrielles du parc nucléaire en exploitation. Elles prendront en compte le niveau de rejet lié au fonctionnement normal des trois unités de production, avec une marge pour les éventuels aléas d'exploitation. Elles seront fixées après analyse de l'étude d'impact environnemental et sanitaire soumise à enquête publique.

i  
7.2

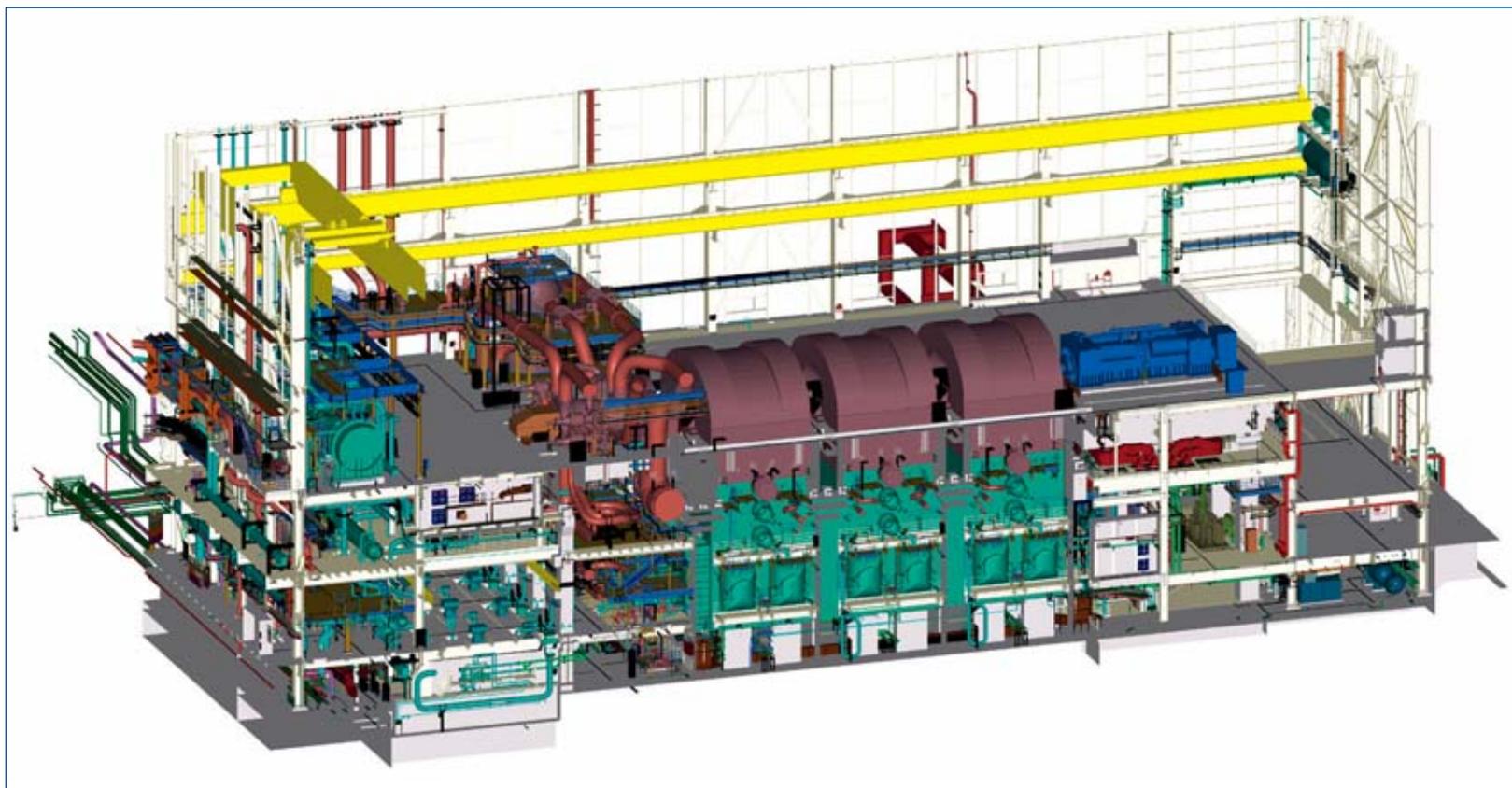
i  
11.2

#### Gain de Penly 3 par rapport à Penly 1 ou 2, ramené à l'énergie produite

Paramètre	Gain	Commentaire
Rejets thermiques	Réduction de 7 % des rejets thermiques et de l'échauffement.	
Rejets chimiques liquides	Réduction d'un facteur deux pour les rejets provenant des circuits du réacteur et équivalents pour les autres.	
Rejets radioactifs liquides	Équivalents pour le tritium et le carbone 14 et inférieurs d'au moins 25 % pour les autres radioéléments.	Comparaison entre les limites autorisées pour PY 1 ou 2 et les rejets maximum envisagés pour PY3.
Rejets radioactifs gazeux	Équivalents pour le carbone 14 et inférieurs d'au moins 25 % pour les autres radioéléments.	

Source : EDF.

#### Le groupe turboalternateur, source des rejets thermiques



Source : EDF, salle des machines de Flamanville 3.

## ▣ Le contrôle permanent des rejets et la surveillance régulière de l'environnement

Les contrôles réalisés par EDF permettent de vérifier le respect des décisions autorisant les quantités d'eau prélevée, les rejets radioactifs, chimiques et thermiques ainsi que le niveau de radioactivité de l'environnement.

Ces contrôles sont permanents pendant toute la durée des rejets radioactifs ou chimiques, ils permettent de déceler en temps réel toute anomalie et de prendre les mesures nécessaires pour y remédier. Par exemple, en cas d'anomalie lors d'un rejet liquide radioactif, celui-ci est immédiatement interrompu.

L'Autorité de sûreté nucléaire peut à tout moment venir s'assurer du respect de ses décisions. Elle fait également réaliser ses propres mesures de suivi de l'environnement.

**i**  
9.1

Les programmes de surveillance annuels et décennaux de l'environnement sont mis en œuvre par EDF et confiés à des organismes extérieurs spécialisés (IRSN, Ifremer, laboratoires...). Ils permettent de détecter l'évolution éventuelle des caractéristiques radio-écologiques, physico-chimiques ou biologiques du milieu aquatique par rapport à l'état initial du site, et d'établir dans quelle mesure les évolutions constatées peuvent être attribuées, ou non, au fonctionnement de la centrale.

**i**  
8

Compte tenu de l'expérience acquise sur le suivi environnemental d'autres sites de forte capacité de production comme Paluel (4 unités de 1 300 MW) ou Gravelines (6 unités de 900 MW), mais également des résultats de l'étude d'impact menée dans le cadre de la demande d'autorisation de création de Flamanville 3, il est d'ores et déjà possible d'affirmer que l'adjonction de Penly 3 n'entraînera pas de modifications substantielles de l'impact des unités actuelles, déjà très faible (plusieurs dizaines de fois inférieur à celui de la radioactivité naturelle). Toutefois, l'impact détaillé du site de Penly sera déterminé dans le cadre de l'étude d'impact environnemental et sanitaire soumise à l'enquête publique (procédure en vue de l'obtention du décret d'autorisation de création, DAC).

## 4.3.2 Les prélèvements d'eau

### ▣ Les prélèvements d'eau de mer

Les centrales nucléaires ont besoin d'eau pour assurer le refroidissement de leur condenseur. L'eau prélevée en mer est simplement filtrée et traitée pour lutter contre la présence d'éléments biologiques (mollusques...) dans le circuit de refroidissement. L'eau de mer de refroidissement n'est jamais en contact avec les circuits contenant de la radioactivité.

Le fonctionnement conjoint de Penly 3 et des unités 1 et 2 du site nécessite de prélever environ 157 m<sup>3</sup>/s (dont environ 67 m<sup>3</sup>/s pour Penly 3) d'eau de mer qui sont ensuite rejetés en totalité.

Pour l'ouvrage de prélèvement d'eau de mer, les études menées au Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) des services de recherche et développement (R&D) d'EDF ont conduit à adopter, dès Penly 1 et 2, une prise d'eau de refroidissement en canal, protégée par une digue qui assure également une bonne protection du plan d'eau en face des stations de pompage.

### ▣ Les prélèvements d'eau douce

L'alimentation en eau industrielle, effectuée à partir d'eau douce, est nécessaire pour :

- les circuits de l'unité de production : l'eau est déminéralisée, des produits de conditionnement lui sont ajoutés pour limiter la corrosion des circuits, ou assurer le contrôle de la réaction nucléaire ;
- les circuits d'eau de lutte contre l'incendie.

Pour les deux unités de Penly 1 et 2, les prélèvements d'eau douce dans l'Yères sont de 500 000 m<sup>3</sup> par an (moyenne sur la période 2005-2008), soit moins de 1 % du débit moyen annuel de l'Yères. Les prélèvements sont limités à 12,8 % du débit d'étiage (régime exceptionnel).

Les besoins maximum en eau de Penly 3, en phase d'exploitation, sont estimés en première analyse, à 400 000 m<sup>3</sup> par an.

Les installations de prélèvement d'eau actuelles ont été prévues pour quatre unités, il ne devrait donc pas être nécessaire de les modifier.

Les installations de déminéralisation du site seront adaptées pour couvrir les besoins en eau douce des trois unités.

### 4.3.3 Les rejets thermiques

Les rejets thermiques des centrales nucléaires sont dus à l'échauffement de l'eau, utilisée pour le refroidissement des installations, lors de son passage dans le condenseur de la centrale. L'échauffement est fonction du débit de refroidissement et de la puissance de l'unité de production.

Pour Penly 1 et 2, la limite maximale de température de rejet ne doit pas dépasser 30°C à 50 m du point de rejet et l'écart de température de l'eau entre la prise et le rejet (échauffement) ne doit pas dépasser 15°C.

Pour Penly 3, les ouvrages et les matériels seront dimensionnés pour que l'échauffement de l'eau de mer entre la prise et le rejet soit inférieur à 14°C. Penly 3 aura une meilleure efficacité que les unités 1 et 2 : à puissance thermique produite par le réacteur identique, la puissance électrique fournie est plus grande et par conséquent, la puissance thermique dissipée dans l'environnement sera un peu plus faible.

Des dispositifs assurant une dilution optimisée des rejets de chaleur et limitant ainsi l'impact thermique des installations ont été mis au point.

Pour Penly 3, il est prévu un rejet d'eau en galerie débouchant à environ 1 000 m au large, dans un diffuseur.

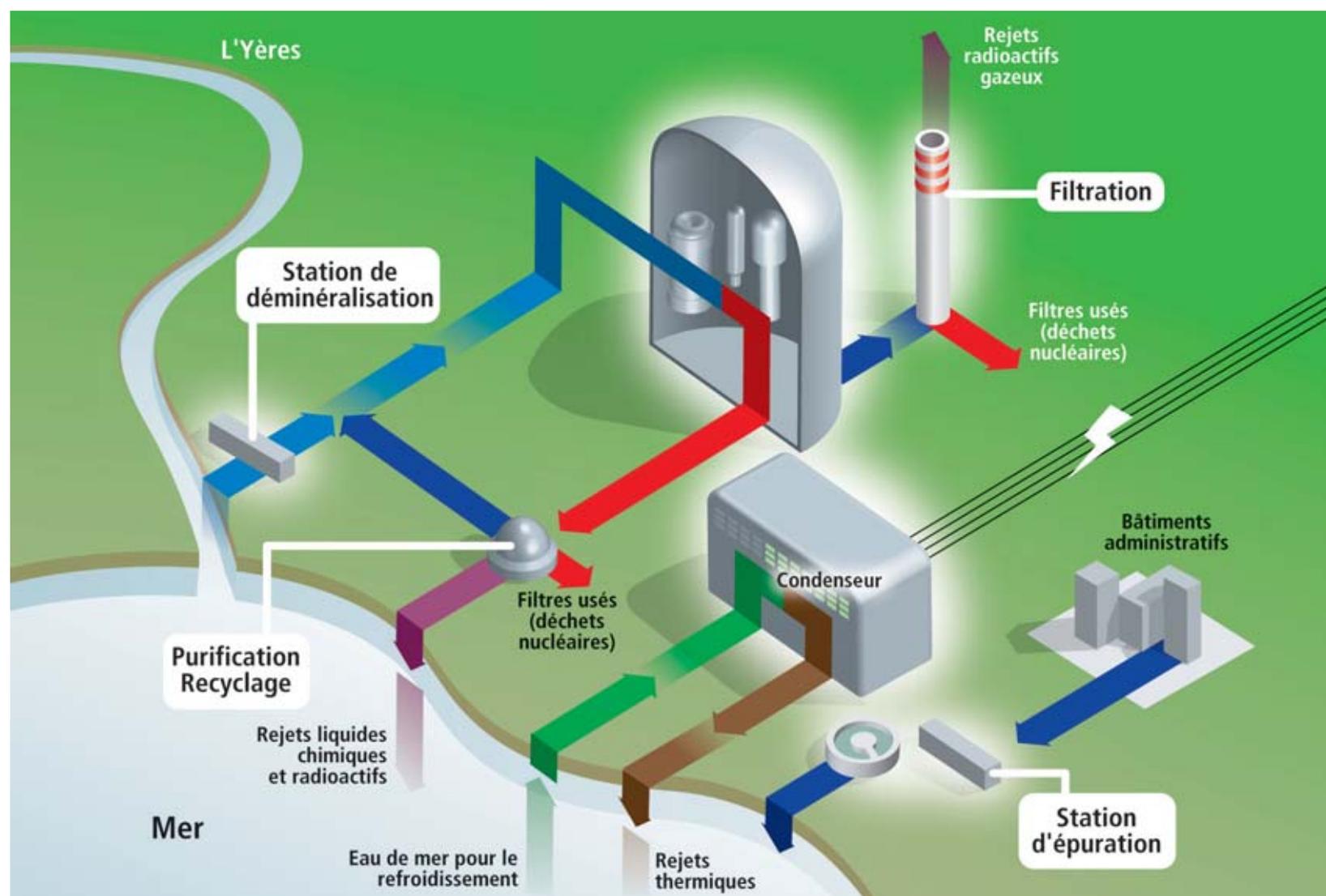
La position du point de rejet de Penly 3 sera choisie de manière à réduire les interactions avec ceux des unités 1 et 2, donc à limiter le cumul des échauffements.

Les calculs montrent que l'échauffement sera divisé par deux à environ 50 mètres du point de rejet : il s'estompe en effet très rapidement du fait des très grandes quantités d'eau de mer et de la très forte dilution sous l'effet des courants marins.

Le suivi hydrobiologique, réalisé par l'IFREMER depuis la construction de la centrale sur la zone proche des rejets de Penly 1 et 2, ne montre pas d'impact particulier relatif aux rejets thermiques sur la faune et la flore marines.

L'ajout de Penly 3 n'aurait donc qu'un impact limité sur l'écosystème marin. L'ensemble du site fera, comme aujourd'hui, l'objet d'un suivi pour s'en assurer.

La navigation et la pêche sont interdites aux alentours de la centrale afin de protéger les équipements de prise et de rejets d'eau.



Principe des rejets et des prélèvements d'eau.

#### 4.3.4 Les rejets chimiques

##### La nature des rejets chimiques

Les rejets chimiques de Penly 3 résulteront des traitements physiques et chimiques de l'eau prélevée dans le milieu naturel avant son utilisation dans les circuits de la centrale.

**i**  
7.1

Ces produits servent à :

- conditionner l'eau des circuits du réacteur nucléaire qui ont besoin d'une eau la plus pure possible. Les centrales nucléaires sont équipées d'une station de production d'eau déminéralisée. La corrosion des matériaux est limitée par l'adjonction de produits spécifiques comme la lithine, l'**hydrazine**, la **morpholine**, le phosphate ou l'ammoniaque ;
- contrôler la réaction nucléaire, par injection de **bore** dans le circuit du réacteur ;
- protéger les circuits de refroidissement contre les éléments biologiques (mollusques...) : pour cela, on injecte de l'eau de Javel à très faible concentration, produite par électrolyse d'eau de mer (chloration).

**i**  
6.1

Les circuits du réacteur nucléaire sont traités en permanence (filtration, déminéralisation, etc.). Les chimistes du site analysent tous les effluents issus des circuits qui sont soit recyclés, soit traités avant rejet. La fraction qui ne peut pas être recyclée est rejetée après contrôle. Ces rejets chimiques réglementés font l'objet d'une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant les modalités et les limites.



Prélèvements de fourrage pour analyse près de Penly.

Par ailleurs, les eaux sanitaires et usées sont traitées en station d'épuration ou en bassin décanteur-déshuileur pour celles qui contiennent éventuellement des traces d'hydrocarbures.

##### L'impact environnemental des rejets chimiques

Les substances étudiées sont, soit liées aux conditionnements des circuits (**bore**, lithine, amines, **hydrazine**...), soit liées à la production d'eau déminéralisée (fer, chlorures...), soit issues du traitement par chloration du circuit de refroidissement, soit issues de l'usure des circuits (métaux).

Les concentrations maximales susceptibles d'être rejetées n'occasionneront pas d'impact significatif sur l'écosystème marin : en effet, soit les quantités rejetées ne représentent qu'un faible pourcentage de la concentration naturellement présente dans le milieu, soit dans le cas contraire une analyse fine est réalisée et l'impact environnemental est déterminé par comparaison avec celui de valeurs de référence. Le rejet n'est envisagé que si l'impact est acceptable.

Pour Penly 3, les rejets chimiques sont de même nature et globalement en moindre quantité que ceux de Penly 1 ou 2.

Les rejets chimiques des 3 unités induiront des concentrations dans le milieu naturel qui resteront du même ordre de grandeur et qui ne devraient pas engendrer d'évolution du milieu naturel.

Le suivi hydrobiologique réalisé jusqu'à ce jour pour les deux unités déjà en exploitation n'a pas mis en évidence d'altération du milieu.

Une synthèse des données de suivi des différentes populations (phytoplancton, zooplancton, poissons...) dans l'environnement du site a été réalisée en 2005 sur la période 1975-2003. Celle-ci montre qu'aucune évolution spécifique liée au fonctionnement de la centrale de Penly n'est visible. Les mesures effectuées depuis 2003, dans le cadre du programme de surveillance annuel du site, confirment chaque année cette analyse.

Les études d'impact des rejets chimiques seront actualisées dans le cadre de la constitution du dossier de demande d'autorisation de création (DAC), si le projet est confirmé à l'issue du débat public.

**i**  
11.2

### Zones protégées

Le site est proche de deux zones Natura 2000 : la zone dite "l'Yères", située à environ 9 km au nord-est du site et la zone "littoral cauchois", située à environ 2,5 km à l'ouest et à 1 km à l'est du site de Penly. Une étude de l'incidence des prélèvements d'eau et des rejets des unités 1 et 2 a été menée en 2006, elle a montré l'absence d'effet notable sur ces zones protégées.

#### ▣ L'impact sanitaire des rejets chimiques

L'impact sanitaire est évalué selon la méthodologie de l'Évaluation Quantitative de Risque Sanitaire (EQRS) reprenant les recommandations de l'Institut de Veille sanitaire et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS). Son principe est, en partant de l'inventaire des substances émises, de caractériser les risques sanitaires associés, en prenant en compte l'exposition des populations et la toxicité des substances. Les études EQRS réalisées pour le parc nucléaire concluent que les rejets chimiques attribuables aux différents sites nucléaires ne sont pas susceptibles d'engendrer des effets sanitaires. L'étude d'impact sanitaire de Flamanville 3 aboutit aux mêmes conclusions.

### 4.3.5 Les rejets radioactifs

Le fonctionnement des centrales nucléaires produit des effluents radioactifs liquides et gazeux. Certains sont recyclés, d'autres sont rejetés dans l'environnement (rejets liquides et atmosphériques) après avoir été collectés, traités puis contrôlés pour s'assurer du respect des seuils réglementaires de rejets.

#### ▣ Les rejets radioactifs liquides

Les rejets radioactifs liquides proviennent du circuit du réacteur. L'eau du circuit est traitée et recyclée en permanence. La faible fraction non réutilisable est rejetée après contrôle.

Ces rejets liquides sont constitués d'eau contenant une faible concentration de **tritium**, de **carbone 14** et d'autres radioéléments :

- le tritium appartient à la même famille que l'hydrogène. On le retrouve sous forme d'eau tritiée (un des deux atomes d'hydrogène de la molécule d'eau,  $H_2O$ , est remplacé par un atome de tritium). Sa production dépend directement de l'énergie fournie par le réacteur. Il n'existe pas de moyen permettant de le piéger industriellement ;
- le carbone 14 est présent dans les rejets liquides principalement sous forme de gaz carbonique dissous ;
- les autres radioéléments sont traités (filtrés, déminéralisés...) et recyclés. Une très faible fraction, non recyclable est rejetée après contrôle.

Ces rejets sont réglementés et contrôlés.

#### ▣ Les rejets radioactifs gazeux

On distingue deux catégories de rejets gazeux :

- les rejets gazeux provenant du dégazage du circuit du réacteur ;
- les rejets gazeux provenant de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire qui maintient les locaux en dépression. Ils sont filtrés et contrôlés avant rejet. En volume, ils constituent l'essentiel des rejets gazeux.

Les rejets gazeux à la cheminée sont constitués d'air contenant une faible concentration de tritium, de carbone 14, d'azote, d'iode, des gaz rares et d'autres radioéléments :

- le tritium est rejeté sous forme de vapeur d'eau ;
- le carbone 14 est rejeté sous forme de méthane et de gaz carbonique ;
- les autres produits radioactifs sont traités avant rejet : les particules en suspension dans l'air sont piégées en quasi-totalité et les gaz rares sont conservés pendant une période suffisante pour permettre la décroissance de leur radioactivité.



7.1



7.2

1. Gbq = Giga Becquerel =  $10^9$  Bq.

### ▣ L'impact environnemental des rejets radioactifs liquides et gazeux

Le suivi de l'environnement réalisé depuis l'ouverture du site de Penly n'a pas mis en évidence de perturbation significative des écosystèmes terrestre et marin due au fonctionnement des unités 1 et 2. Les rejets radioactifs de Penly 3 cumulés à ceux produits par les unités 1 et 2 n'auront pas d'impact significatif sur l'environnement.

Dans le cadre du projet de Flamanville 3, l'impact cumulé des trois unités de production du site a été étudié. Compte tenu des conditions de dilution en mer et de dispersion atmosphérique des rejets du site, les rejets radioactifs ne seront pas de nature à modifier significativement l'état radioécologique de l'environnement, ni la qualité des produits issus des activités humaines (production agricole, pêche, etc.). Les suivis radioécologiques sur des centrales nucléaires à 4 ou 6 unités arrivent aux mêmes conclusions.

Pour le site de Penly, les rejets radioactifs feront l'objet d'évaluations complémentaires spécifiques au site. Selon la réglementation en vigueur, des études d'impact environnemental seront effectuées. Elles permettront d'identifier l'impact radiologique de la future installation sur les écosystèmes

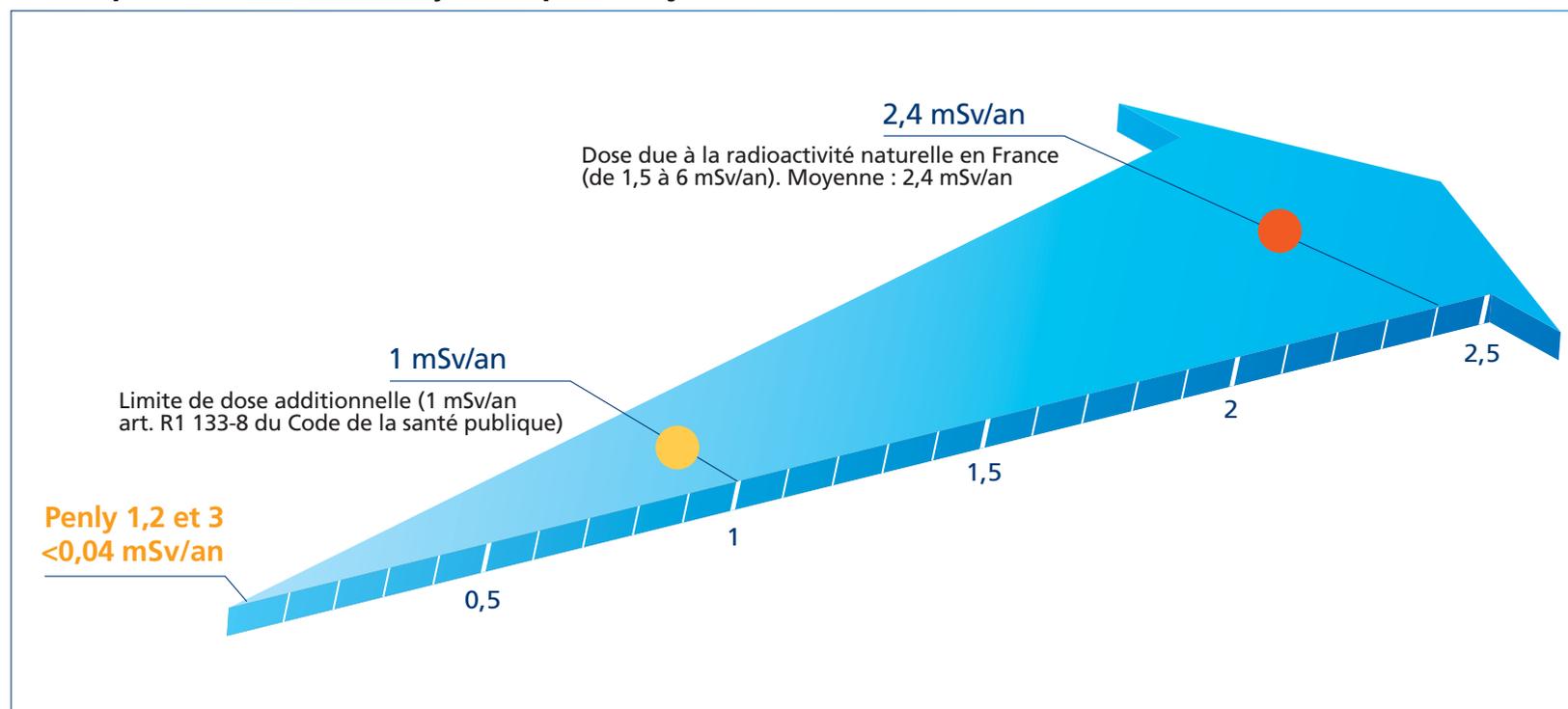
terrestre et marin par rapport à un état de référence donné. Présentées dans le dossier de demande d'autorisation de création, elles seront, le moment venu, soumises à enquête publique. En première approche, les résultats devraient être voisins de ceux des études menées pour Flamanville.

### ▣ L'impact sanitaire des rejets radioactifs liquides et gazeux

Compte tenu des rejets radioactifs liquides et gazeux estimés pour Penly 3 et ceux de Penly 1 et 2, l'impact sanitaire des rejets cumulés des trois unités du site devrait rester très inférieur à la limite réglementaire.

En effet, le calcul préliminaire pour le site de Penly avec les trois unités, mené par extrapolation des résultats obtenus pour la demande d'autorisation de création de Flamanville 3, donne une dose annuelle maximale pour les personnes les plus exposées, de l'ordre de 0,040 millisieverts (mSv). Ce résultat d'un calcul très simplifié doit être pris comme un ordre de grandeur. Les calculs détaillés seront effectués pour l'étude d'impact, qui figurera dans le dossier de demande d'autorisation de création, soumis à enquête publique.

#### Comparaison de la dose ajoutée par Penly 1,2 et 3 avec la radioactivité naturelle



La dose ajoutée par Penly 1, 2 et 3 représente moins de 5 % de la limite de 1 mSv fixée par le Code de la santé publique (article R1333.8)<sup>1</sup>.

1. Cet article stipule que la somme des doses reçues par toute personne du fait de la radioactivité ajoutée par les activités humaines (hors examens médicaux) ne doit pas dépasser 1 mSv par an.

## Comment l'impact des rejets radioactifs est-il évalué ?

### Détermination des concentrations ajoutées

À partir des rejets maximum exprimés en Bq/an, on détermine la concentration ajoutée dans l'eau pour les rejets liquides et dans l'air pour les rejets gazeux (Bq/m<sup>3</sup>). Ce calcul est réalisé à l'aide de coefficients qui prennent en compte la diffusion dans le milieu.

### Impact environnemental

L'impact environnemental des rejets radioactifs est évalué en considérant dans un premier temps les études radioécologiques réalisées depuis la mise en service de la centrale.

Ensuite, on détermine à partir des limites de rejet envisagées les concentrations ajoutées dans l'air et dans l'eau. À partir de celles-ci, on obtient une cartographie de la distribution des rejets dans le milieu. On évalue alors le transfert des produits radioactifs dans le sol, les sédiments, la flore et la faune.

Les valeurs obtenues sont exprimées pour chaque élément radioactif dans chaque composante de l'environnement en Bq/kg ou Bq/l et sont comparées aux seuils recommandés par les différents organismes nationaux et internationaux.

Certaines valeurs calculées sont comparées aux mesures réalisées sur le terrain dans le cadre du programme de surveillance de l'environnement (étude annuelle radioécologique et hydrobiolo-

gique d'impact sur les écosystèmes confiée par EDF à des laboratoires externes qualifiés : IRSN, CEMAGREF, IFREMER, ONEMA, laboratoires universitaires). Les valeurs relevées sur le terrain sont toujours très inférieures aux résultats des calculs d'impact.

### Impact sanitaire

On évalue le transfert à l'homme en considérant qu'il respire, boit et mange ce qui compose son milieu ambiant. Les animaux terrestres et marins qu'il consomme ont eux-mêmes été exposés à la radioactivité des rejets et ont consommé des produits contenant de la radioactivité ajoutée.

### Les groupes de référence

Chaque personne a un comportement et des habitudes uniques, conduisant à une exposition différente de celles des autres personnes. Pour résoudre cette difficulté, on définit des groupes de référence, représentatifs d'une population donnée dans un lieu donné, par exemple le groupe des pêcheurs ou celui des habitants d'un hameau proche de la centrale. On réalise alors les calculs en prenant systématiquement les hypothèses réalistes les plus pénalisantes de manière à obtenir un résultat dont on est sûr qu'il sera supérieur à l'impact sur chacune des personnes composant le groupe. L'impact retenu est celui qui est obtenu pour le groupe le plus exposé. ■

### ■ Les rejets radioactifs en cas d'accident

Pour Penly 3, des dispositions de conception limitent les conséquences environnementales et sanitaires en cas d'accident et réduisent très significativement les rejets radioactifs en situation accidentelle. Elles permettent de respecter les

objectifs de l'Autorité de sûreté nucléaire visant à restreindre la nécessité des mesures de protection de la population en cas d'accident grave au voisinage immédiat de l'installation (à quelques centaines de mètres du réacteur).

### 4.3.6 Les déchets

On distingue deux grandes catégories de déchets dus à l'exploitation d'une centrale nucléaire :

- les déchets radioactifs issus du combustible et des matériaux et produits en contact avec le fluide radioactif ;
- les déchets conventionnels (non radioactifs) qui proviennent des parties classiques de l'installation.

#### ▣ Les déchets radioactifs

En supposant que la totalité du combustible usagé de Penly 3 est retraitée à l'usine de la Hague, les déchets issus du combustible représenteraient après conditionnement :

- près de 5 m<sup>3</sup> par an pour les déchets de haute activité à vie longue (HAVL), appelés produits de fission, qui constituent les résidus de la réaction nucléaire ; ces déchets seront vitrifiés et coulés dans des fûts en acier inoxydable ;
- environ 4 m<sup>3</sup> par an pour les déchets de structure (gaines et embouts des éléments de combustible) de moyenne activité à vie longue (MAVL) compactés en fûts métalliques.

Ces déchets seraient entreposés à La Hague en attente de la solution de stockage définitif (en application de la loi du 28 juin 2006).

i  
7.3  
6.1

#### Localisation des lieux d'entreposage et de stockage



Les autres déchets radioactifs produits par Penly 3, de faible et moyenne activité à vie courte, seraient évacués vers les centres de stockage agréés de Soulaines et Morvilliers, gérés par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA). Le volume de ces déchets solides serait d'environ 80 m<sup>3</sup> par an après traitement et conditionnement.

Ces déchets feront l'objet, comme pour les rejets, de la démarche d'optimisation mise en œuvre par EDF en matière d'environnement, basée sur une recherche systématique d'amélioration des performances obtenues sur les centrales nucléaires du parc actuel.

#### ▣ Les déchets non radioactifs

En 2008, la production de déchets conventionnels de Penly 1 et 2 a été de 2 540 tonnes, réparties de la façon suivante :

- 2 400 tonnes de déchets industriels banals (DIB) ;
- 140 tonnes de déchets industriels spéciaux (DIS).

L'année 2008 a été exceptionnelle en raison de gros chantiers. De 1998 à 2007, la production annuelle de déchets du site de Penly a varié entre 50 à 150 tonnes de DIS et de 600 à 1 400 tonnes de DIB. Le taux de valorisation de ces déchets varie entre 83 et 97 % selon les années.

Pour Penly 3, la production de ces types de déchets est estimée à environ 600 tonnes par an dans un mode d'exploitation normale (hors construction ou déconstruction).

Dans le cadre de la démarche ISO 14001, l'objectif est d'atteindre un taux de valorisation (en énergie ou en matières) calculé à partir d'une liste nationale de déchets potentiellement valorisables et d'améliorer la réduction des déchets à la source.

### 4.3.7 L'impact sonore et visuel

#### ▣ Le bruit

Les centrales nucléaires sont sources de bruits permanents (liés au fonctionnement des transformateurs, groupes turboalternateurs, ventilations, pompes...) ou intermittents (lors des essais de fonctionnement des diesels de secours ou du déclenchement des soupapes de sûreté des circuits de vapeur...).

La réduction des nuisances sonores est intégrée dès la conception des installations en recourant à des matériels les moins bruyants possible, en installant des dispositifs insonorisants et des revêtements absorbants.

L'impact sonore de l'implantation de la nouvelle unité de production sur le site de Penly fera l'objet d'une étude acoustique. L'impact global du site sera analysé au regard de la réglementation en vigueur (arrêté du 31 décembre 1999 modifié).

### ■ L'insertion paysagère

Comme pour les deux unités existantes et si le projet est confirmé à l'issue du débat public, la construction de Penly 3 fera l'objet d'une étude architecturale afin de garantir une homogénéité visuelle de l'ensemble des bâtiments, ainsi que des études d'insertion du site dans le paysage. La construction de la troisième unité constituera en effet l'extension de la centrale actuelle, en conformité avec le plan masse d'origine qui prévoyait quatre unités.

Les études architecturales spécifiques et détaillées devraient permettre de définir une image contemporaine de l'ensemble des nouveaux espaces bâtis tout en respectant les bâtiments existants et surtout l'ensemble du site naturel. Comme Penly 1 et 2, la troisième unité sera pratiquement invisible depuis le plateau. En effet, bien qu'il s'agisse de bâtiments importants, les volumes construits sont à proximité immédiate de la falaise et ne seront essentiellement visibles que depuis la mer.

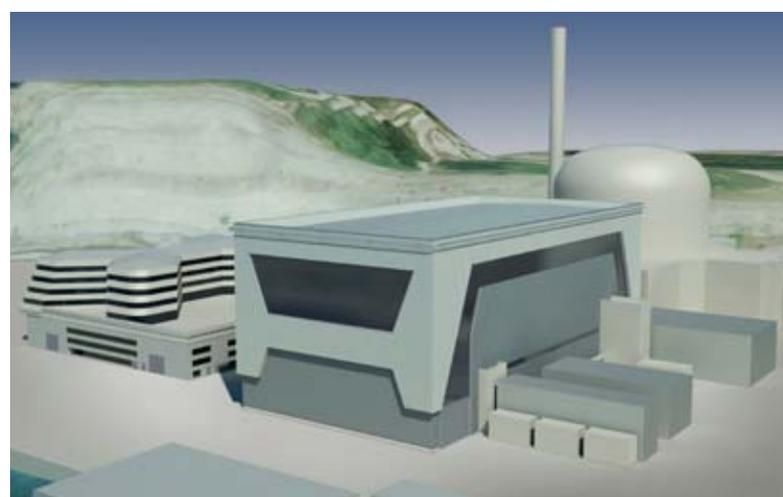
La volumétrie de la nouvelle unité de production restera sensiblement la même que celle des unités existantes. Le noyau nucléaire et ses bâtiments contigus garderont une finition en béton brut comme sur les unités précédentes. Les revêtements de la salle des machines et du bâtiment de bureaux seront harmonisés et s'inséreront en continuité des ouvrages existants.

Ce projet ne perturbe aucune surface supplémentaire de plage ou de rivage marin en dehors du site EDF.

## Le point de vue de l'architecte

La nouvelle salle des machines, vaste bâtiment de 120 mètres de long et de 45 mètres de hauteur s'inscrit dans la continuité des tranches précédentes, se distinguant par des formes arrondies évoquant le rythme des blanches falaises de calcaire. La salle des machines ainsi que le bâtiment Pôle Opérationnel Exploitation utiliseront le même langage architectural, revêtus d'aluminium de couleur argent bleuté et de béton clair ; cette dominante argentée se fondra dans la luminosité ambiante intense baignée de la couleur de l'océan. Cette géométrie de pans inclinés et de vagues sera présente également sur le bâtiment Pôle Opérationnel Exploitation donnant ainsi une unité architecturale à cet ensemble. La géométrie de ce dernier bâtiment évoquera encore une fois le thème maritime, en forme d'étoile, il déploiera chacune de ses branches ouvertes vers la mer, inondée de lumière grâce aux pans inclinés de chaque extrémité. Cette configuration permet d'obtenir un bâtiment de bureaux optimisé tout en conservant une dynamique propre qui donnera tout son caractère et son identité à l'ensemble du projet, symbole indispensable à la nouvelle technologie EPR.

**M. Taillibert, architecte du projet ■**



Esquisse de l'architecte

### 4.3.8 La déconstruction

Les dispositions intégrées à la conception de Penly 3 pour faciliter sa déconstruction permettront la minimisation de la dose radioactive reçue par les intervenants et celle des déchets radioactifs ou dangereux produits.

Sur la base de la documentation de construction et de l'historique d'exploitation, un bilan et une cartographie précise des matières radioactives et autres matériaux dangereux seront établis à la fin de l'exploitation.



#### ▣ Les matériaux utilisés

L'emploi de matériaux constituant des déchets industriels dangereux est réduit au minimum indispensable, spécialement quand ils peuvent être activés ou contaminés, car l'élimination des déchets mixtes est particulièrement difficile. Ceci s'applique notamment aux substances corrosives et toxiques, aux huiles, aux métaux inflammables et aux bétons contenant du baryum.

Dans la mesure du possible, la sélection des matériaux tient compte de leur capacité à être recyclés en vue d'une utilisation libre ou restreinte. Le recyclage ne concerne pas seulement les matériaux utilisés à l'extérieur des zones contaminées ou activées, mais aussi ceux de ces zones, sous certaines conditions.

#### ▣ La conception des circuits

Des dispositions particulières ont été prises pour éliminer les rétentions, susceptibles de se charger de dépôts radioactifs et sièges potentiels de phénomènes de corrosion, notamment après l'arrêt d'exploitation. En période de déconstruction, ces dispositions ont pour effet de réduire simultanément la **dosimétrie** et la **contamination** des intervenants, ainsi que l'activité des déchets.

#### ▣ La réduction de la dosimétrie

Les moyens utilisés sont de même nature que ceux permettant de réduire l'exposition du personnel à la radioactivité (cf. § 4.1).

La minimisation de la dosimétrie des intervenants est obtenue par la réduction du temps passé au voisinage des éléments irradiants. Parmi les principales dispositions adoptées on citera les suivantes :

- la conception de nombreux équipements en vue de faciliter leur démontage ;

- pour la majorité des équipements situés dans des zones non accessibles en raison du niveau de radioactivité, l'évacuation en une pièce a été étudiée, ce qui se traduit par la mise en place de moyens de manutention, de trémies dimensionnées en conséquence et de circulations permettant l'évacuation en un seul morceau de ces équipements puis leur traitement dans un environnement plus favorable ;
- le puits dans lequel se trouve la cuve du réacteur a été conçu pour pouvoir le remplir d'eau en phase de démantèlement permettant ainsi le démontage de la cuve sous eau, ce qui réduit très fortement l'exposition des intervenants à la radioactivité.

L'accès du personnel a été facilité dans la quasi-totalité de la zone contrôlée, avec un risque d'exposition minimal. À cette fin, les composants irradiants ont été enfermés dans des casemates ou isolés derrière des écrans.

La présence d'écrans neutroniques dans le réacteur réduit l'**activation** des parois de la cuve et facilitera donc l'assainissement des structures, tout en réduisant le volume de déchets très actifs.

La conception de ces écrans comme composants démontables permettra de les évacuer en exposant les travailleurs au minimum de dose.

## 4.4 Les objectifs de performance de Penly 3

De nombreuses dispositions constructives ont été apportées à Penly 3 et Flamanville 3 pour en améliorer les performances par rapport aux unités actuelles, par exemple :

- une meilleure utilisation du combustible ;
- une meilleure efficacité de la turbine, grâce notamment à une température et à une pression de vapeur plus élevées.

On compte ainsi produire jusqu'à 22 % de plus d'électricité en comparaison des centrales actuelles, pour une même quantité de combustible nucléaire.

Pourquoi ?	Diminution de la consommation
Le combustible est plus efficace, il restera moins d'uranium non transformé	- 7 %
Le réacteur est plus gros, la combustion sera plus homogène	- 7 %
Grâce au réflecteur en périphérie, plus de neutrons seront renvoyés vers le réacteur	- 3 %
La turbine sera plus efficace	- 5 %
<b>Total</b>	<b>- 22 %</b>

Un autre axe d'amélioration concerne la disponibilité de l'installation, définie comme la fraction du temps où Penly 3 sera apte à produire. La disponibilité moyenne des unités du parc EDF en exploitation est d'environ 80 % et devrait atteindre 85 % à terme ; celle de Penly 3 devrait se situer en moyenne à 91 %. Cette augmentation s'explique principalement par des dispositions constructives pour réduire les durées d'arrêt nécessaires au rechargement du réacteur en combustible et à sa maintenance. Ainsi, l'arrêt pour rechargement et visite partielle de l'installation, dont la durée de référence est de 36 jours environ pour les unités actuelles, sera réduit à 16 jours à Penly 3. Ces améliorations ainsi que l'augmentation de puissance permettront à Penly 3 de produire jusqu'à 34 % d'électricité de plus par an que Penly 1 ou 2.

## Pourquoi la production d'électricité sera plus élevée ?

La puissance de Penly 3 est plus élevée  
Penly 3 aura une meilleure disponibilité



**+ 34 %**  
par rapport à Penly 1 ou 2

## 4.5 Le coût prévisionnel du projet et son financement

L'ordre de grandeur du coût de construction recherché pour Penly 3 est autour de quatre milliards d'euros. Cette première évaluation, établie sur la base du retour d'expérience de Flamanville 3 et des études qui sont déjà réalisées, sera précisée à l'issue des appels d'offres pour les contrats principaux.

Le coût de revient du MWh produit est actuellement estimé entre 55 et 60 €/MWh.

Les dépenses, financées sur fonds propres d'EDF et de ses partenaires, s'étaleront sur une dizaine d'années, des premières études jusqu'à la fin de la réalisation. Les trois plus gros postes concernent la fourniture et l'installation de la chaudière nucléaire, de la salle des machines et le génie civil.

## 4.6 L'expérience acquise

### ▣ La filiation avec Flamanville 3

Si elle est réalisée, Penly 3 sera la seconde unité de production électronucléaire utilisant la technologie EPR en France, après celle de Flamanville 3. Cette dernière est actuellement en construction, avec un objectif de démarrage en 2012 et une production d'électricité commercialisée en 2013, à peu près au moment où débiterait la construction de Penly 3. Ainsi, le projet Penly 3 bénéficiera de toute l'expérience accumulée lors des études et de la construction de Flamanville 3.

L'expérience acquise est transposable par corps d'état : par exemple, les activités de génie civil de Flamanville 3 seront terminées quand débiteront celles de Penly 3. L'expérience d'exploitation de Flamanville 3 sera utilisée lors des essais de mise en service de Penly 3.

Penly 3 bénéficiera en outre de l'expérience acquise sur l'intégration locale et sur le programme d'accompagnement de Flamanville 3.

Comme toute nouvelle installation nucléaire, Flamanville 3 fait l'objet d'une instruction par l'Autorité de sûreté nucléaire en anticipation de la future demande de mise en service. Cette instruction sera très largement utilisée pour Penly 3 : la conception, les technologies, les règles de construction et d'exploitation seront en effet identiques pour ce qui concerne la partie nucléaire de l'installation.

L'instruction de Flamanville 3 a débuté en 2007, dès l'obtention du décret d'autorisation de création, et se poursuivra jusqu'à la mise en service. En 2009, L'ASN s'est notamment consacrée aux règles générales d'exploitation, aux études d'accident, au génie civil et au contrôle-commande. Ce dernier point a fait l'objet d'échanges entre les autorités de sûreté de plusieurs pays européens ; il est détaillé ci-contre.



Flamanville 3 en construction.

### Instruction particulière concernant le contrôle-commande

Pour garantir la sûreté nucléaire, le contrôle-commande de l'EPR comprend deux systèmes indépendants et complémentaires permettant d'assurer le pilotage du réacteur en toutes circonstances :

- le premier, dit "de sûreté", pour arrêter le réacteur de façon automatique en cas d'incident et le mettre sous contrôle ;
- le second, dit "standard", pour permettre depuis la salle de commande, de conduire le réacteur en toute sûreté en situation normale et dans la gestion à long terme en cas d'accident.

Ces deux systèmes sont réalisés avec un contrôle-commande informatisé.

Dans le cours normal de l'instruction, un groupe permanent d'experts, spécialistes des réacteurs, a examiné le contrôle-commande informatisé de l'EPR au cours du mois de juin 2009. À la suite de cet examen, l'Autorité de sûreté nucléaire a adressé à EDF le 15 octobre 2009 un courrier qui mentionne :

- qu'EDF a bien apporté les éléments nécessaires pour démontrer l'aptitude du système de contrôle-commande de "sûreté" à accueillir des fonctions du classement de sûreté le plus élevé (fonctions de protection du réacteur) ;
- que la diversité technologique des deux systèmes – élément important de la robustesse de l'architecture et de la fiabilité du contrôle-commande – est satisfaisante.

Ce courrier demande toutefois à EDF :

- d'approfondir l'analyse de sûreté de certains éléments du système de contrôle-commande "standard", en démontrant que les techniques proposées répondent bien à l'ensemble des normes de sûreté fixées pour l'EPR (tant pour la partie des automatismes que pour la partie interface homme-machine) et d'examiner d'éventuelles solutions différentes si cette démonstration se révélait impossible ;

## L'analyse de sûreté

D'une façon générale, l'analyse de la sûreté est un processus itératif :

- l'exploitant nucléaire et ses fournisseurs industriels proposent (des conceptions, des solutions, etc.) ;
- l'ASN fait analyser ces propositions par son appui technique et prend position sur ces propositions en donnant un avis et en posant des questions ;
- l'exploitant nucléaire répond aux questions et suit les avis, ce qui peut se traduire par de nouvelles études ou par des modifications ;
- dans certains cas, ces questions peuvent amener à des évolutions de conception.

La lettre du 15 octobre 2009 de l'ASN sur le contrôle-commande est une étape normale dans ce processus itératif. ■

- d'étudier le renforcement des dispositions existantes de l'architecture du contrôle-commande, notamment les palliatifs en cas de défaillance d'une partie des fonctions.

La réponse à ce courrier consiste en un plan d'actions qui doit aboutir au premier semestre 2010, pour lequel EDF et ses fournisseurs AREVA et SIEMENS se sont fortement mobilisés pour répondre dans les délais requis par l'ASN.

En parallèle, le 2 novembre 2009, les autorités de sûreté finlandaise, britannique et française ont publié une déclaration commune qui constate qu'elles "ont chacune soulevé des questions techniques concernant le système de contrôle-commande [...] et que bien que la conception des projets d'EPR dans chaque pays diffère légèrement, ces questions techniques [...] sont très voisines, l'objectif des Autorités de sûreté étant d'obtenir collectivement le plus haut niveau de sûreté pour l'EPR.

[...]

En conséquence, l'Autorité de sûreté nucléaire britannique (HSE/IND), l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) et l'Autorité de sûreté nucléaire finlandaise (STUK) ont demandé aux exploitants et au fabricant d'améliorer la conception initiale de l'EPR. Les exploitants et AREVA ont convenu d'entreprendre des évolutions de l'architecture de la conception initiale de l'EPR qui seront examinées par les autorités de sûreté."

### Extrait de l'intervention de Jean-Christophe Niel, DG de l'ASN du 26 janvier 2010 sur "L'évaluation par l'ASN de la sûreté du réacteur EPR"

"À la suite de la lettre du 15 octobre 2009, EDF et ses fournisseurs ont mobilisé d'importants moyens d'ingénierie pour traiter les demandes de l'ASN. EDF a indiqué être confiant sur sa capacité à répondre à l'ensemble de ces demandes.

Les premiers éléments de réponse ont été reçus par l'ASN dans les échéances prévues. D'autres éléments de réponse seront transmis dans les mois qui viennent, jusqu'en juin.

L'ensemble de ces réponses sera instruit par l'ASN et son appui technique, l'IRSN, dans le courant de l'année 2010." ■

L'objectif d'EDF reste de garantir un niveau de sûreté maximum identique pour l'ensemble de ses EPR, quel que soit le pays d'implantation. Dans cet esprit, l'établissement d'un communiqué commun aux trois autorités de sûreté britannique, finlandaise et française constitue un point positif pour EDF qui vise, en effet, à construire des réacteurs ayant des caractéristiques techniques similaires tout en respectant les différentes réglementations nationales en matière de sûreté.

### ■ Penly 3 en synergie avec les autres EPR du Groupe EDF

D'autre part, un redémarrage d'activités dans le nucléaire se manifeste dans le monde entier. Cette nouvelle situation permet au groupe EDF d'envisager le développement d'une dizaine de projets d'unités de production électronucléaire utilisant l'EPR en Chine, aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Italie. Tous ces projets, y compris Penly 3, seront basés sur la référence de Flamanville 3 et bénéficieront du partage d'expérience entre les électriciens partenaires d'EDF et les Autorités de sûreté nationales concernées. Au final, cela devrait se traduire par la mutualisation d'études et d'achats entre certains de ces projets, par une meilleure maîtrise des aléas de construction et des coûts.

Par exemple, une étude fine des méthodes de bétonnage de la base du bâtiment réacteur et de la mise en place de la peau métallique d'étanchéité sur le chantier de Flamanville 3 a permis d'en tirer les enseignements et d'améliorer tout en simplifiant les modes opératoires sur le chantier de Taishan en Chine.

i  
1.1