

# Le journal de l'ANDRA

Édition  
Nationale

TOUT SAVOIR SUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'ÉVÉNEMENT

## Le stockage profond soumis à l'appréciation des experts

Toutes les recherches de l'Andra sur le stockage réversible profond sont soumises à des avis indépendants. Ces derniers mois, plusieurs groupes d'experts se sont ainsi prononcés sur le rapport d'étape remis fin 2009.

Les lois qui organisent la gestion des déchets radioactifs en France ont institué des dispositifs indépendants d'évaluation et de contrôle.

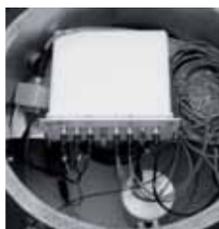
Le rapport sur le stockage profond Cigéo remis fin 2009 par l'Andra au Gouvernement a été disséqué, analysé et critiqué par différents experts. Leurs avis ont été publiés ces derniers mois.

Suite page 2 ...



Prévoir l'évolution d'un stockage sur un million d'années : une mission clé de la direction Recherche & Développement de l'Andra (lire le dossier p.10).

### Dans ce numéro



#### L'ACTUALITÉ NATIONALE

Les stockages et le risque sismique

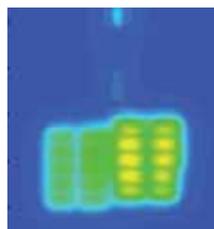
P.3



#### ZOOM SUR...

L'impact radiologique des centres de stockage de l'Andra

P.8/9



#### DOSSIER

Concevoir un stockage sûr pour un million d'années : comment faire ?

P.10/13



#### EN DIRECT DES SITES

L'Andra un modèle pour l'étranger

P.15

## 2 | INFOS NATIONALES & INTERNATIONALES

### L'ÉVÉNEMENT

Suite de la page 1

Le groupe permanent d'experts sur les déchets (GPD) et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) ont estimé que le dossier de l'Andra permet bien d'identifier les points importants pour la démonstration de la sûreté d'un futur stockage. Cinq mois plus tôt, la Commission nationale d'évaluation (CNE) reconnaissait aussi "l'excellente qualité des travaux scientifiques réalisés par l'Andra".

#### Satisfecit général, assorti de recommandations

Plusieurs recommandations sont néanmoins émises. Ainsi, des précisions sont demandées sur les dispositions prises contre le risque d'incendie pendant l'exploitation du stockage et sur les protections contre les défaillances possibles de l'enveloppe en béton ou en acier inox qui contient les déchets radioactifs.

La CNE souligne, quant à elle, qu'il est nécessaire de travailler à une plus grande standardisation des colis. Enfin, ces experts portent une attention particulière au scellement des ouvrages souterrains, notamment ceux qui relieront la surface et les galeries du stockage.

Sur la base des évaluations du GPD et de l'IRSN, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) devrait prochainement faire connaître ses conclusions.

De son côté, le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain (Clis) a demandé à l'Institut américain pour la recherche sur l'énergie et l'environnement (IEER) de lui donner un avis sur la zone proposée pour implanter les installations souterraines du stockage (*lire ci-dessous*).

#### Des études et des recherches plus robustes

À chaque étape du projet Cigéo, les avis et recommandations émis par les évaluateurs de l'Andra permettent de rendre encore plus robuste sa démarche scientifique et technique. Les rapports

qui sont remis régulièrement aux autorités sont ainsi de plus en plus précis dans la perspective de la préparation du dossier de demande d'autorisation de création du stockage qui devra être déposé en 2015.

#### En savoir plus



[www.andra.fr](http://www.andra.fr) > les solutions de gestion > concevoir un ouvrage de stockage pour les déchets HA-MAVL

### Les clés pour comprendre

#### Des évaluateurs indépendants

**La Commission nationale d'évaluation (CNE)** est composée de douze experts indépendants nommés par décret chargés d'évaluer l'avancement des recherches relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs.

**L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)** est l'expert français de l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants.

#### L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

est une autorité administrative indépendante créée par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, chargée de contrôler les activités nucléaires civiles en France.

**Le Groupe permanent déchets (GPD)** est composé de 35 experts indépendants chargés d'éclairer l'ASN sur toutes les questions relatives aux déchets radioactifs et à leur gestion.

### 2 QUESTIONS À : Arjun Makhijani, président de l'IEER

Le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire souterrain a demandé à l'Institute for Energy and Environmental Research (IEER) d'évaluer les travaux de recherche menés par l'Andra pour déterminer la zone de 30 km<sup>2</sup> dans laquelle elle doit poursuivre ses études sur l'implantation des installations souterraines du Centre de stockage Cigéo. Les consultants américains ont mené leur étude entre juillet 2010 et février 2011.

#### Le Journal de l'Andra (LJdA) : Quels sont les points positifs que souligne votre rapport ?

"Nous avons tout d'abord été impressionnés par la qualité des recherches scientifiques menées par l'Andra pour la sélection de la zone de 30 km<sup>2</sup>. Les critères, notamment en matière de sédimentologie (épaisseur et profondeur des couches géologiques) ont été respectés. Nous avons de plus particulièrement apprécié la conception modulaire du stockage qui facilitera à terme l'évaluation de la performance du stockage et la mise en œuvre de la réversibilité."

#### LJdA : Et selon vous, quels aspects mériteraient d'être améliorés ?

"Le premier concerne l'interprétation et l'utilisation des données sur la performance du stockage : si l'Andra a bien évalué séparément les paramètres identifiés dans le cadre de ses recherches, elle n'a pas combiné toute la gamme de ces paramètres

dans une même modélisation, ce qui conduit selon nous à une vision trop optimiste de la performance du stockage. Nous estimons que l'Andra doit encore mener des recherches pour s'assurer de la capacité du stockage à recevoir les différents types de déchets qui pourraient y être stockés, comme les combustibles usés, notamment le MOX\*, qui nécessiteront des alvéoles beaucoup plus larges que celles prévues pour les déchets de haute activité actuellement étudiées dans le Laboratoire souterrain. Nous avons recommandé la construction d'une zone d'expérimentation afin de démontrer la façon dont un site de stockage pourrait fonctionner dans la pratique. Enfin, nous jugeons le calendrier de mise en œuvre trop serré."



#### En savoir plus

[www.clis-bure.com](http://www.clis-bure.com)

\* Le terme MOX est la contraction de "Mélange d'Oxydes". Le combustible MOX est fabriqué à partir du plutonium et de l'uranium appauvri. C'est cette matière qui dégage de l'énergie par fission dans certains réacteurs nucléaires.

### L'Andra répond aux points soulevés par l'IEER

#### "Une vision trop optimiste des performances"

Pour évaluer la performance du stockage, l'Andra détermine tous les phénomènes qui sont susceptibles d'avoir un effet sur sa sûreté. Elle définit des scénarios d'évolution du stockage, parfois très dégradés. Des simulations numériques globales permettent de vérifier que dans tous ces scénarios la sûreté du stockage n'est jamais remise en cause.

#### "Vérifier la capacité du stockage à accueillir les combustibles usés"

La faisabilité du stockage des combustibles usés, et en particulier celle des MOX, a été démontrée dans le dossier que l'Andra a remis au Gouvernement en 2005. Cependant, la loi votée en 2006 prévoit que tous les combustibles usés issus des centrales nucléaires doivent être retraités. Les seuls combustibles usés qui sont donc envisagés aujourd'hui dans le stockage sont ceux issus des réacteurs expérimentaux et de la propulsion navale, le stockage des MOX n'est donc pas étudié.

#### "Un calendrier officiel trop tendu"

Le planning de Cigéo est fixé par la loi de 2006 et il appartiendra seulement au Parlement, s'il le juge utile, de le modifier.



## Comment l'Andra prend-elle en compte les catastrophes naturelles ?

**Les événements dramatiques survenus au Japon ont donné lieu à de nombreuses interrogations sur la prise en compte des catastrophes naturelles dans la conception des installations nucléaires françaises. Focus sur la façon dont l'Andra intègre ces risques dans la conception de ses centres de stockage.**

**D**ès la phase du choix d'un site d'implantation, l'Andra identifie toutes les sources potentielles de dangers, qu'ils soient d'origine naturelle ou non. Les centres de stockage sont construits dans des lieux où les risques sont très faibles et ne peuvent affecter la sûreté des installations (faible sismicité, zones non inondables). Ces installations sont ensuite conçues pour résister aux risques les plus forts, observés ou envisageables, dans la région où elles sont implantées.

Sont étudiés : les séismes, les inondations, les conditions climatiques extrêmes (vent, neige, pluie, foudre), les incendies, les explosions, les chutes d'avion et l'environnement industriel (routes, autres installations présentant des risques...).

Conformément à la réglementation, la performance de la sûreté des installations de l'Andra est continuellement évaluée et de nouvelles dispositions peuvent être prises à tout moment si nécessaire.



### En savoir plus

[www.andra.fr](http://www.andra.fr) > les solutions de gestion > garantir la sûreté

## Le risque d'inondation et les centres de stockage existants

**L**es Centres de stockage de l'Andra dans l'Aube sont implantés hors des zones inondables par les crues des rivières proches. Quant au Centre de stockage de la Manche, proche de la mer, il est implanté sur une colline de 190 m de hauteur lui permettant d'être également à l'abri d'une éventuelle montée du niveau de la mer ou de vagues de grande amplitude.

Le risque de montée de la nappe phréatique est également pris en compte. La base des ouvrages de stockage est construite au-dessus du plus haut niveau de la nappe historiquement observé. Au Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité (CSFMA) par exemple, elle se situe à au moins 30 cm au-dessus de ce niveau.

Enfin, les ouvrages de stockage comme la couverture qui les recouvre sont étanches afin d'éviter l'infiltration d'eau et de protéger les colis de déchets contre l'eau de pluie. Les centres de stockage sont construits légèrement en pente pour canaliser les eaux de pluie jusqu'à un bassin fermé (bassin d'orage).

## Les stockages et le risque sismique

**Les centres de stockage de l'Andra sont conçus pour résister à des séismes cinq fois plus puissants que tous les séismes observés et envisageables dans les régions où ils sont implantés.**

**P**our ce qui concerne le futur stockage profond, Cigéo, la zone étudiée en Meuse/Haute-Marne pour l'implantation de ce stockage a été choisie notamment parce qu'elle se situe dans le bassin de Paris, dont la sismicité est très faible. Lors d'un séisme, les vibrations ressenties en

surface sont amplifiées en raison de vitesses de propagation différentes entre le sol et l'air et de la création d'ondes liées à cette interface. Même si les vibrations ressenties en profondeur sont de ce fait moins importantes, les installations souterraines du futur stockage profond, situées à 500 m de profondeur, seront conçues pour résister aux mêmes niveaux de vibrations que les installations en surface. Ainsi, par précaution, pour la phase d'exploitation du futur stockage (cent ans), les installations seront conçues pour résister à des séismes cinq fois plus puissants que les plus forts connus dans la région, et que l'on suppose se produire au plus près possible du site (magnitude 6 à 25 km). Le stockage devant assurer le confinement des déchets sur un million d'années, les installations souterraines sont également conçues pour résister, après leur fermeture, aux plus forts séismes géologiquement envisageables sur d'aussi grandes échelles de temps, soit une série de séismes de magnitude 6,1 à 6 km. Les centres de stockage de l'Andra, dans l'Aube, sont également situés dans le Bassin parisien. Ils sont implantés dans une zone encore plus proche du centre de ce bassin et donc plus éloignée des régions sismiques mentionnées pour Cigéo. Comme tous les centres

de l'Andra, ils sont conçus pour résister à des séismes cinq fois plus puissants que tous les séismes jamais observés au plus proche.

### LE SAVIEZ-VOUS ?

Sur le secteur étudié par l'Andra pour le stockage profond Cigéo, il n'existe aucun épicentre de séisme et il n'y a eu dans la région aucun séisme historique. Parmi le millier de microsecousses détectées chaque année, la quasi-totalité est provoquée par des tirs à l'explosif dans les carrières de pierre de la région. Une très faible quantité est liée à des séismes naturels se produisant à plus de 30 km vers l'est et le sud de la zone étudiée. Leur magnitude, inférieure ou égale à 4, est insuffisante pour être ressentie par l'homme. Le séisme le plus proche du Centre de Meuse/Haute-Marne a été détecté en septembre 1999 ; il s'agissait d'un événement isolé de magnitude 2,2, localisé à 24 km au nord-est du Laboratoire souterrain. Le séisme le plus fort ayant été détecté date de 1682 et s'est produit à Remiremont à 96 km du site (Vosges avant le fossé d'Alsace) ; sa magnitude est estimée à 6.



Accéléromètre 3 axes utilisé pour surveiller les séismes.

## La question de la réversibilité du stockage s'internationalise

Envisagée en France dès 1991, la réversibilité du stockage profond de déchets radioactifs est désormais inscrite dans la loi française et devient peu à peu une exigence dans d'autres pays. Pour preuve, les nombreux échanges qui se sont tenus lors de la conférence internationale consacrée à ce sujet à Reims en décembre dernier.

Organisée par l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE) avec le soutien actif de l'Andra, le colloque "Reversibility & Retrievability" a permis aux 180 participants de confronter leurs points de vue. Une quinzaine de nationalités étaient représentées.

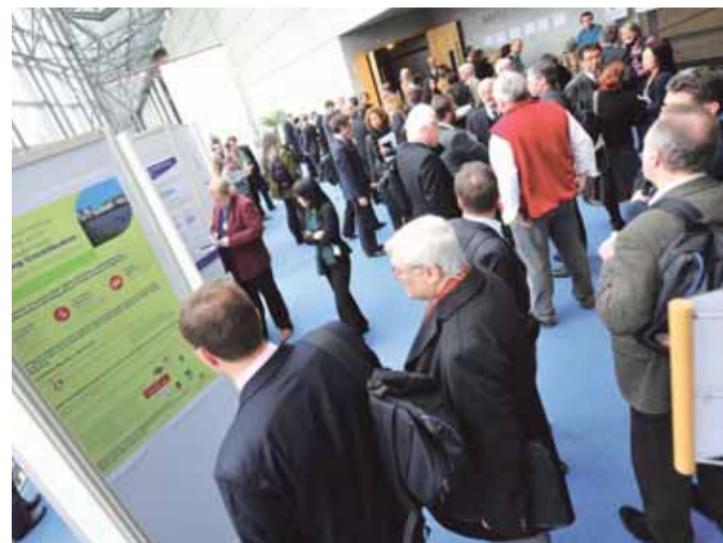
### Une préoccupation partagée

"De plus en plus de pays se sont appropriés les notions de réversibilité et de récupérabilité, explique Jean-Noël Dumont, responsable de la question à l'Andra. Pour tous, ces deux notions offrent une réelle flexibilité pour faire évoluer ou changer les modes de gestion des déchets. Mais elles présentent aussi des limites : les dispositions techniques pour permettre un éventuel retrait des colis ne doivent pas compromettre la sûreté lors de l'exploitation du stockage ou après sa fermeture ; elles nécessitent en outre de prévoir leur financement et un lieu pour entreposer les colis ; elles engagent également des risques opérationnels qu'il convient de mettre en regard de l'intérêt de ces opérations."

Ce colloque a permis d'échanger autour du retour d'expérience des États-Unis, où a eu lieu la première opération de retrait de colis dans le WIPP (Waste Isolation Pilot Plant où sont stockés les déchets américains militaires et issus de la recherche) situé à 600 m de profondeur. Les parties prenantes présentes, les politiques et les ONG ont par ailleurs souligné le lien très fort qui



existe entre ces notions et la confiance du public. Claude Birraux, président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, a conclu en incitant tous les acteurs à prendre part activement aux réflexions sur le sujet.



### Les clés pour comprendre

#### Réversibilité versus récupérabilité : deux notions à définir

- Le terme **réversibilité** définit la capacité à inverser ou modifier les décisions prises au cours du développement progressif du stockage.
- La **récupérabilité** concerne quant à elle la capacité à récupérer les déchets après qu'ils ont été stockés.

## Fermeture du stockage et réversibilité

Le fait que le stockage doive être scellé à terme est-il contradictoire avec la notion de réversibilité ?

La réponse de Jean-Michel Hoorelbeke, directeur adjoint des programmes à l'Andra.



"Ne pas laisser aux générations futures la charge de la gestion des déchets radioactifs. C'est dans cet esprit que la France a opté pour la solution du stockage. La sûreté après fermeture du stockage est dite « passive » car elle ne nécessite aucune intervention de l'homme mais repose sur la roche dans laquelle sera implanté le stockage."

#### Laisser une porte ouverte pour les générations futures

"Tout en souhaitant limiter cette charge pour nos descendants, le Parlement a aussi voulu leur laisser une liberté d'action, qui

s'appelle la réversibilité. L'Andra a engagé sur ce sujet une réflexion aux niveaux local, national et international afin d'en appréhender les dimensions à la fois sociales, politiques, scientifiques et techniques. Ce travail a conduit à distinguer deux notions : la réversibilité et la récupérabilité."

#### Réversibilité de la décision

"Il s'agit de faire en sorte que le processus de stockage soit progressif, pour qu'il soit possible de se demander à chaque décision si c'est la bonne et même requestionner les précédentes. Parmi les décisions à prendre, il y aura les différentes étapes de fermeture du stockage, en commençant par la fermeture d'une alvéole, puis d'une galerie et enfin des descenderies et puits d'accès. La période de réversibilité du stockage commence au moment où l'on y met le premier colis et s'arrête au scellement du dernier puits, elle est d'au moins un siècle."

#### La récupérabilité est la capacité à retirer les colis du stockage

"Cette contrainte est systématiquement prise en compte dans le concept de stockage (robustesse des colis et des alvéoles, espaces laissés entre les colis pour faciliter leur retrait, robot permettant d'aller retirer les colis dans les alvéoles), jusque dans les dispositifs de scellement eux-mêmes (possibilité d'enlever les « bouchons » mis en place). Le scellement n'est donc pas contraire à la récupérabilité, même si, évidemment, il la rend plus complexe. Enfin, un dernier point concerne la surveillance du stockage. Pour répondre à cette attente forte de la population, l'Andra étudie comment surveiller le stockage au fur et à mesure des étapes de fermeture et après la fermeture définitive."

## Proposer des moyens d'aller plus loin dans la transparence

C'est l'objet du groupe de travail "Transparence et secret" mis en place début 2009 par le Haut Comité à la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). Après une série d'auditions menées courant 2009 et 2010, il a remis son rapport le 10 mars dernier.

« Dès la première réunion du Haut Comité, en juin 2008, consacrée à un transport de plutonium vers l'Angleterre, nous avons été confrontés au problème du secret Défense ou industriel qui entoure les questions nucléaires, explique Michel Lallier, président du groupe de travail mis en place sur ce thème. Après avoir auditionné toutes les parties prenantes – exploitants du nucléaire, associations, représentants de la Commission d'accès aux documents administratifs (CADA) et de la Commission consultative du secret de la Défense nationale (CCSDN) – nous avons rendu nos conclusions au Haut Comité en mars dernier. »

### Quid des préconisations ?

Le rapport pointe différentes questions sur l'insuffisance réglementaire française dans le domaine du secret industriel et commercial mais aussi sur les rapports préliminaires de sûreté établis lorsqu'un exploitant projette de construire une installation, et qui contiennent des éléments jugés confidentiels.

« Sur le premier point, nous suggérons notamment que le Haut Comité soit habilité à saisir la commission consultative pour avis sur la levée du secret Défense, une habilitation



jusqu'à présent réservée aux seuls juges », explique Michel Lallier. Concernant le second point, il s'agit de savoir comment faire en sorte que le public ait connaissance de toute l'information nécessaire tout en préservant le secret industriel.

« Nous proposons l'introduction d'un tiers garant, mandaté par le public et reconnu par l'exploitant, à qui ce dernier communiquerait l'intégralité des informations et qui témoignerait de la cohérence de celle-ci et apporterait un regard extérieur, ajoute Michel Lallier. Nous préconisons également la réalisation d'un document unique remis au public et aux instances de contrôle chargées d'évaluer le projet. La version destinée au public devra faire apparaître les endroits occultés du document, afin que ce dernier puisse identifier les points concernés, et s'appuyer sur la procédure du tiers garant pour y avoir accès. »

Enfin, nous conseillons la mise en place de commissions d'information du public autour des sites ou installation d'expérimentation nucléaire intéressant la Défense (SIENID), sur le modèle des Commissions locales d'informations. »

## Les participants au groupe de travail

Tous les collègues du Haut Comité étaient représentés : parlementaires, associations, organisations syndicales et exploitants.

Le groupe de travail a aussi été ouvert à des personnes extérieures telles que des hauts fonctionnaires de la Défense, des représentants de Greenpeace ou d'autres associations créées autour de sites militaires.



## REGARDS CROISÉS

### Quel est selon vous l'intérêt de ces groupes de travail ?

#### « Être pour ou contre n'a pas de sens »

**Monique Sené, vice-présidente de l'ANCLI, physicienne, présidente du Groupement de scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire (GSIEN).**

« Le risque zéro n'existant pas, il faut savoir le prendre en compte et apprendre à en parler en toute transparence. Il est important que la société civile s'engage dans ces groupes de travail car elle apporte un regard extérieur, un œil neuf sur ces questions qui sont complexes. C'est en questionnant les professionnels sur leurs pratiques que des citoyens peuvent les amener à admettre que l'on ne



peut transiger avec la sûreté et que se cacher derrière le secret pour se justifier n'est pas admissible. Je suis convaincue que seul le dialogue permet de faire appel à la raison et de trouver des solutions, même lorsque l'on parle de sujets qui font peur et pour lesquels certaines personnes pensent que cacher la vérité ou minimiser les risques est nécessaire. En ce qui me concerne, je pense que cette attitude conduit toujours à une impasse. »

#### « Rester chacun de son côté avec ses certitudes ne fait pas avancer le débat »

**Jean Riou, inspecteur général à la direction Sûreté, santé, sécurité, environnement chez Areva NC.**

« Ce type de groupe de travail participe à l'acceptation sociale et sociétale des activités à

risques comme le nucléaire. C'est important qu'il existe un lieu de discussion où tous les questionnements liés à ces activités puissent être mis à plat et débattus librement. »

Cela permet à toutes les parties prenantes, exploitants, associations, autorité de sûreté, citoyens, journalistes, d'exprimer leur point de vue et donne aux uns et aux autres l'occasion d'entendre ce qui justifie telle ou telle position. Un impératif dans un domaine où la transparence et la confiance sont essentielles ! »



## L'Andra acteur du développement économique local

**Cette année, 291 entreprises locales, de toutes tailles et de tous secteurs d'activité ont travaillé avec l'Andra pour répondre aux besoins d'exploitation de ses centres. Un chiffre qui vient d'être publié dans le bilan de l'année et qui illustre la politique conduite par le service Achats de l'Agence.**

**D**ix-sept personnes, réparties dans les principaux sites de l'Andra, travaillent dans la fonction achat. En 2010, l'Agence a géré quelque 106 millions d'euros d'achats, un montant qui mérite que l'on suive une politique d'achats exigeante et responsable.

### Trois principes fondamentaux

L'Agence fonde sa politique sur les principes fondamentaux de la commande publique : la liberté d'accès à la commande pour toutes les entreprises, la transparence des procédures et l'égalité de traitement entre tous les candidats. En fonction de ses besoins et des montants engagés, l'Andra peut utiliser des procédures différentes. Des entreprises de toutes tailles travaillent aujourd'hui avec l'Andra.

### Inciter les entreprises locales à se porter candidates

Le montant des achats réalisés par l'Andra auprès des entreprises situées dans les départements où elle est implantée (Aube, Meuse/Haute-Marne et Manche) s'élève à 18,7 M€ HT. Afin d'accroître leur participation, l'Andra veille à inclure systématiquement des acteurs locaux dans son panel d'entreprises à consulter. L'Agence organise également des journées d'échange afin d'informer les entreprises locales de ses besoins à venir pour qu'elles puissent anticiper les ressources à mobiliser pour pouvoir y répondre lorsque ces marchés les intéressent.

## Washington s'intéresse à Bure

**Le 22 février dernier, le Centre de Meuse / Haute-Marne de l'Andra a accueilli les membres de la commission "Blue Ribbon".**

**C**rée le 29 janvier 2010, cette commission est chargée d'examiner toutes les alternatives permettant de gérer le combustible usé et les déchets radioactifs aux États-Unis.

Elle consulte des représentants d'organismes étrangers et visite les différents types d'installations existantes. Lors de sa visite du Laboratoire souterrain et de l'Espace technologique, la délégation américaine a échangé avec la directrice générale de l'Andra au sujet du futur Centre industriel de stockage géologique (Cigéo).



## Développer des mesures et les fiabiliser sur de grandes échelles de temps

**Le 4 janvier 2011, l'Andra et le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) ont conclu un accord de partenariat portant sur la fiabilité et la traçabilité des mesures qui seront réalisées dans le stockage profond de déchets radioactifs.**

**Q**uelle heure est-il au moment où vous lisez cet article ? Vous regardez votre montre, elle indique 12h 15. Vous venez de faire une mesure ! Qu'est-ce qui vous dit qu'il est vraiment 12h 15 ? Quel crédit accordez-vous à votre montre ? Vous commencez à douter. Vous entrez dans le monde de la métrologie.

### La métrologie est la science de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude

Pour ce qui concerne le stockage, il s'agit de s'assurer que les données mesurées (température de la roche, humidité, déformations...) n'ont pas été biaisées par des

paramètres extérieurs ou par les capteurs eux-mêmes, devenus moins performants au fil du temps. Dès lors, comment garantir que les différents instruments de mesure resteront fiables sur de très longues échelles de temps ? Et comment pérenniser les méthodes utilisées pour effectuer ces mesures ? "L'accord de partenariat conclu en janvier avec le LNE est venu couronner une collaboration engagée depuis plusieurs années sur différentes méthodes d'étalonnage", indique Johan Bertrand, ingénieur en instrumentation au sein de la direction Recherche & Développement de l'Andra.

## L'Inventaire national : un travail de longue haleine

**Depuis le 1<sup>er</sup> mars, les détenteurs de matières et déchets radioactifs peuvent déclarer en ligne les stocks au 31 décembre 2010 ainsi que les prévisions de production en 2020 et 2030 de ces déchets et de ces matières. Cette déclaration est la première étape de l'élaboration de l'édition 2012 de l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.**

**L**es différents détenteurs de déchets radioactifs ont jusqu'en juin 2011 pour procéder à leur déclaration de matières et déchets radioactifs auprès de l'Andra.

Ils disposent pour cela d'une nouvelle interface sur le site Internet de l'Andra, plus ergonomique, mieux sécurisée, visant à simplifier et fiabiliser la saisie de l'ensemble des données. Nouveautés de cette année : un effort accru sur les déchets à radioactivité naturelle renforcée, les sources scellées usagées et la demande de précisions supplémentaires sur les prévisions, notamment en termes de flux annuels.

### Analyse et synthèse

S'ensuit une phase d'analyse minutieuse et de vérification par les ingénieurs de l'Andra qui s'assurent de la cohérence des différentes informations déclarées : nature des déchets, volumes, activité, contenu radiologique, type de conteneur utilisé, mode de gestion prévu, famille de rattachement, flux prévisionnel. Les dernières étapes consistent à réaliser différents bilans, à restituer l'ensemble des données dans des documents de lecture aisée, à rédiger le rapport de synthèse et à concevoir les éditions papier et numérique. Au total, il faudra environ un an pour analyser, vérifier, rédiger et publier l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs.



*D'autres études nous amèneront à vérifier que les valeurs mesurées restent non seulement identiques quels que soient les instruments utilisés, mais aussi significatives sur de longues durées.* Le partenariat vise également à mettre en œuvre des dispositifs de mesure novateurs et fiables en particulier dans le domaine de l'observation de l'environnement. Ainsi, l'Andra et le LNE ont déjà travaillé sur une station de mesure originale, regroupant plusieurs capteurs, destinée aux milieux aquatiques et à la surveillance de la qualité des cours d'eau.



## ÉPISODE 2

# 1992 - 1999 :

## LES FONDEMENTS

En 2011, l'Andra fête ses 20 ans, en tant qu'établissement public indépendant des producteurs de déchets. Deuxième épisode de cette rétrospective illustrée des événements majeurs qui ont marqué la vie de l'Agence : la période 1992 - 1999.

En devenant indépendante des producteurs de déchets, l'Andra a dû apprendre à relever seule les défis de la gestion des déchets radioactifs. C'est durant ces années qu'ont été posées les bases fondatrices du développement futur de l'Andra, tant pour l'exploitation, la sûreté que la recherche (ouverture du CSFMA, recherches d'un site pour un laboratoire de recherche souterrain...).

**13 janvier 1992 :**

le Centre de stockage pour les déchets de faible et moyenne activité entre en exploitation dans l'Aube et reçoit sa première livraison de colis.



**Avril 1993 :**

l'Observatoire national des déchets radioactifs de l'Andra publie le premier Inventaire national des déchets radioactifs.

L'Observatoire National  
des Déchets Radioactifs



ANDRA

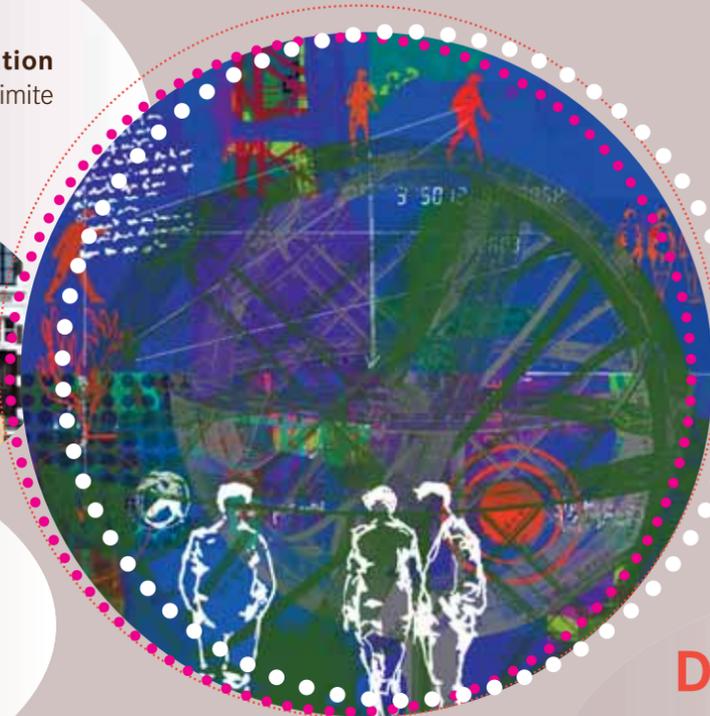
**6 août 1999 :**

le décret autorisant la création et l'exploitation d'un laboratoire de recherche souterrain à Bure, à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, est signé.



**août 1998 :**

tandis que des militants antinucléaires venus de différents pays d'Europe se rassemblent à Bure, les maires d'une quinzaine de communes voisines installent des panneaux "Oui au Laboratoire" au fronton de leur mairie.



**30 juin 1994 :**

le Centre de stockage de la Manche accueille son dernier colis de déchets.



**Décembre 1994 :**

les travaux préliminaires d'investigations géologiques, permettant de caractériser un site qui serait favorable à l'implantation d'un laboratoire de recherche souterrain débutent dans le Gard, la Vienne, la Haute-Marne et la Meuse.

**Décembre 1997 :**

les travaux de couverture définitive du Centre de stockage de la Manche étant terminés, le CSM s'apprête à entrer en phase de surveillance.



# L'impact radiologique des centres de stockage de l'Andra

La nature même de ses activités industrielles de conditionnement et de stockage conduit l'Andra à ajouter de la radioactivité à celle naturellement présente dans les alentours. Elle veille non seulement à vérifier que ses rejets radioactifs dans l'environnement sont inférieurs aux seuils réglementaires et aux limites qu'elle s'est fixées. Leur impact est négligeable par rapport à celui de la radioactivité naturelle.

Présentation des mesures prises par l'Andra au Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité.

## LIMITER LES REJETS À LA SOURCE

Les rejets de chaque installation industrielle, nucléaire ou non, font l'objet d'autorisations spécifiques. Ces rejets, dont la quantité dépend des activités de chaque installation, sont réglementairement limités afin de ne pas présenter de risque pour la santé.

Un centre de stockage rejette peu de radioactivité, les limites fixées sont donc basses comparées à celles d'autres installations nucléaires. En outre, l'Andra s'impose d'avoir des rejets toujours bien en dessous des limites autorisées et les plus faibles possibles.

En 2010, par exemple, le CSFMA a rejeté moins de 1% de sa limite autorisée en tritium dans les rejets liquides et moins de 1,5% de celle autorisée en carbone 14 dans les rejets gazeux.

### REJETS GAZEUX DE L'ATELIER DE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS

Il s'agit d'effluents gazeux rejetés lors de la phase de compactage des colis et d'injection des caissons. L'ensemble de ces rejets est canalisé et passe au travers de filtres à très haute efficacité, qui arrêtent les particules solides en suspension. Certains éléments très mobiles, tels que le tritium, ne sont pas retenus par les filtres. Tous ces effluents sont contrôlés ou prélevés en sortie de cheminée.

### REJETS LIQUIDES

Les effluents liquides issus du centre de stockage sont collectés dans des cuves afin de vérifier leur quantité et leur concentration en radioactivité, et de les traiter si besoin. Ils sont ensuite orientés vers le bassin d'orage, avant d'être rejetés à l'extérieur du centre. Des prélèvements et des contrôles sont effectués sur les eaux du bassin d'orage.

### Sous le centre

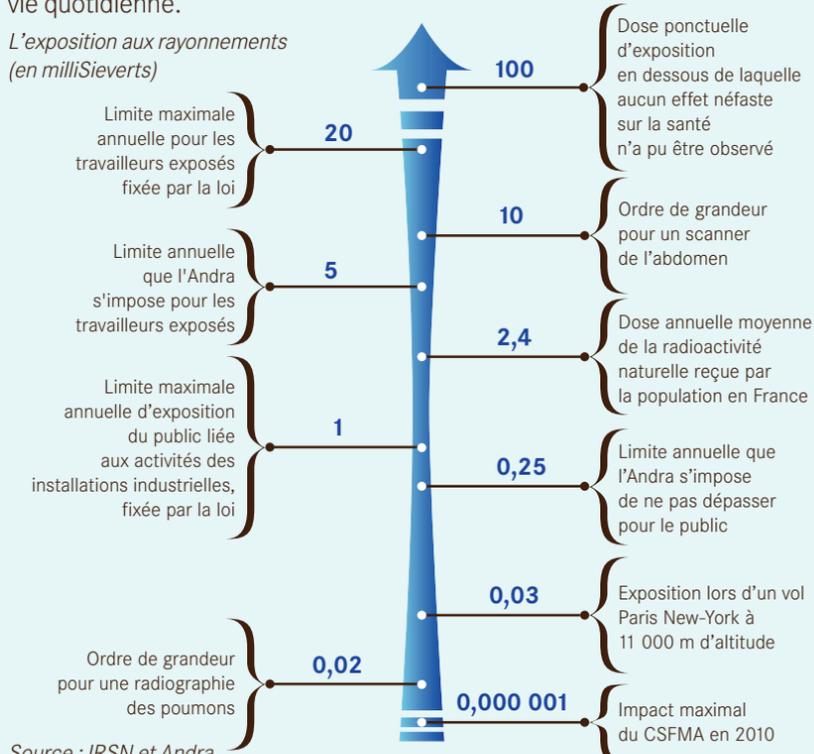
#### RELÂCHEMENT DE RADIONUCLÉIDES PAR LES OUVRAGES DE STOCKAGE

La conception même des ouvrages prévoit un relâchement normal et progressif d'une petite quantité de radionucléides susceptible de migrer, à travers les colis, sous forme gazeuse ou liquide. Un réseau de galeries situé sous les ouvrages permet ainsi de collecter, d'analyser et de traiter la très faible quantité d'eau qui pourrait passer à travers les ouvrages et être contaminée. Les ouvrages sont en outre placés sur une couche de sable, elle-même située sur une couche d'argile imperméable, qui empêcherait la dispersion accidentelle d'éléments radioactifs vers les eaux souterraines.

## Quelques repères

La radioactivité est un phénomène naturel et utilisé dans de nombreux domaines. Quelle que soit son origine nous y sommes tous exposés dans notre vie quotidienne.

L'exposition aux rayonnements  
(en milliSieverts)



Source : IRSN et Andra

## Les clés pour comprendre

### Ce que dit la loi

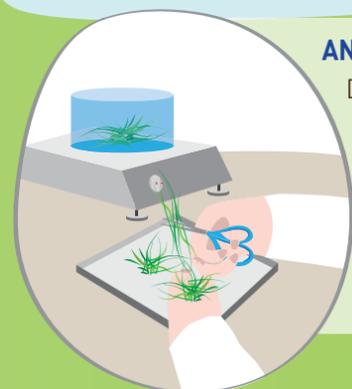
Depuis la découverte de la radioactivité, de nombreuses études ont été menées pour évaluer ses effets sur la santé. Elles établissent un seuil d'exposition de 100 milliSieverts, en une fois, en dessous duquel aucun effet sur la santé n'a pu être observé jusque-là. L'absence d'effets décelables ne permet cependant pas d'exclure l'existence de risques pour la santé. De plus amples recherches sont indispensables. Par principe de précaution on considère que ce risque existe et qu'il est proportionnel à la dose reçue même pour de faibles doses.

La loi française stipule que les rejets radioactifs des installations industrielles ne doivent pas entraîner d'exposition du public supérieure à 1 milliSievert par an, et ce quelle que soit leur nature. C'est moins que l'impact de la radioactivité naturelle, qui est de l'ordre de 2,4 milliSieverts en France.

## ÉVALUER L'IMPACT RADIOLOGIQUE DU CENTRE SUR LA POPULATION

## SURVEILLER L'ENVIRONNEMENT DANS ET AUTOUR DU CENTRE

L'Andra met en place un plan de surveillance pour chacun de ses centres, dès leur mise en service. Cela permet notamment de détecter toute situation ou évolution anormale. L'air, l'eau, la faune et la flore autour des centres font ainsi l'objet d'un suivi rigoureux. En 2010, environ 11 000 mesures radiologiques et environ 2 000 analyses physico-chimiques ont été effectuées au CSFMA, sur plus de 2 000 échantillons prélevés.



### ANALYSE DE LA FAUNE ET DE LA FLORE

Des végétaux cultivés et non cultivés (céréales, champignons) sont régulièrement prélevés aux abords du centre, pour analyse radiologique. Des analyses sont également effectuées sur la chaîne alimentaire, comme par exemple le lait des vaches qui paissent aux alentours du centre.

### MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR

L'Andra surveille également la qualité de l'air autour du centre, afin de détecter la présence éventuelle de poussières radioactives dans l'air ambiant.



### ANALYSE DE L'EAU

Des prélèvements d'eau sont aussi effectués dans le ruisseau qui coule en contrebas du centre, les Noues d'Amance, ou encore dans les eaux de pluie et les eaux souterraines.



Pour vérifier l'impact de ses centres, l'Andra évalue chaque année la dose maximale de radioactivité à laquelle la population pourrait être exposée (par inhalation, par ingestion...) du fait de la radioactivité rejetée. Elle se base pour cela sur les hypothèses les plus défavorables : une famille fictive habitant très près des centres, située sous les vents dominants et en bordure de ruisseau, qui ne boirait que l'eau où sont rejetés les effluents des centres, et ne consommerait que des aliments produits ou cultivés près des centres. Dans le cas du CSFMA, en 2010, ces calculs ont montré que l'impact radiologique maximal serait de 0,000 001 milliSievert, ce qui est plus de 100 000 fois inférieur à la limite réglementaire et donc à l'impact moyen de la radioactivité naturelle en France.

### EN PRATIQUE

Depuis 2010, tous les résultats des mesures de radioactivité réalisées sur le territoire français sont disponibles sur [www.mesure-radioactivite.fr](http://www.mesure-radioactivite.fr), le site Internet du Réseau national de mesures de radioactivité dans l'environnement, développé sous l'égide de l'ASN en collaboration avec l'IRSN. De plus, les centres de l'Andra publient, au sein de leur rapport annuel, le bilan annuel de la surveillance de leur environnement. Ces documents sont disponibles sur [www.andra.fr](http://www.andra.fr), rubrique éditions.

# Concevoir un stockage sûr pour un comment faire ?



**Pour concevoir ses centres de stockage, l'Andra doit faire la preuve que les solutions qu'elle mettra en œuvre seront sûres sur le long et le très long terme. Comment évaluer le comportement et démontrer la sûreté d'un stockage sur une échelle de temps allant du siècle au million d'années ? Grâce à la simulation numérique, un programme important de la direction Recherche & Développement de l'Andra.**

**R**encontre avec Patrick Landais, son directeur.

## La simulation numérique, c'est quoi ?

La simulation numérique, c'est un moyen de décrire, expliquer ou prévoir des phénomènes qui existent ou existeront. Elle utilise des modèles physiques et mathématiques qui sont alimentés par des données acquises sur le terrain, en laboratoire et dans la littérature scientifique. C'est souvent le seul moyen d'obtenir des résultats auxquels l'expérience seule ne permet pas d'accéder du fait de la complexité et de l'interaction des phénomènes à étudier ou des grandes échelles de temps et d'espace sur lesquelles ces phénomènes se déroulent. "Ces modèles sont une représentation des phénomènes que nous souhaitons étudier. Ils nous permettent de mener des expé-

riences virtuelles qui, en temps réel, se dérouleraient sur des milliers voire des millions d'années, ou d'analyser des processus qui intéressent de très grands volumes de roche ou des territoires très étendus. La simulation numérique nous permet de prendre en compte les différents éléments qui entrent dans la conception du stockage : les déchets, les matériaux de construction et de conditionnement mais aussi le milieu naturel. Grâce à nos outils, nous pouvons étudier toutes sortes de phénomènes liés, par exemple, à la chaleur, au déplacement de l'eau ou aux échanges chimiques et analyser comment ces composants se comportent aujourd'hui et comment ils évolueront dans le futur. Tout ceci alimente et enrichit notre réflexion et nous permet de bâtir nos projets de stockage en prenant en compte les évolutions futures", explique Patrick Landais.

## Simuler, à partir de quoi ?

"C'est uniquement lorsque l'on a de bonnes données et une compréhension de la physique des processus que l'on peut faire de la bonne simulation numérique !" résume Patrick Landais. Par exemple, dans le Laboratoire souterrain implanté en Meuse / Haute-Marne,

l'Andra regroupe des équipes de scientifiques qui conduisent quotidiennement des expérimentations et des campagnes de mesures sur différentes thématiques comme le contexte géologique et hydrologique, les interactions entre ouvrages et milieu géologique, les matériaux et le transfert des radionucléides. "Nos géologues, géomécanciens, hydrogéologues, physiciens, chimistes, biologistes, mathématiciens, informaticiens travaillent en collaboration avec plus de 80 laboratoires pour acquérir des données de qualité. Pour mettre en œuvre les calculs numériques, nous nous appuyons sur des mesures et des expérimentations et également sur la littérature scientifique et sur l'observation et l'analyse de milieux naturels ayant les mêmes caractéristiques que celles de nos sites. Par ailleurs, nous ne sommes pas les seuls à plancher sur ces sujets via la simulation. L'Andra est notamment partenaire du groupement national de recherche MOMAS\* aux côtés d'EDF, du CEA, du BRGM, du CNRS et de l'IRSN. Ces travaux en collaboration favorisent le partage et le retour d'expérience qui sont garants de l'amélioration des performances", conclut Patrick Landais.

\* Modélisations mathématiques et simulations numériques liées aux problèmes de gestion des déchets nucléaires.

# million d'années :



## La simulation numérique, comment ça marche ?

L'Andra développe des outils et investit dans des matériels qui lui permettent de réaliser des simulations numériques sur ses problématiques spécifiques. La preuve par l'exemple !

### Le maillage le plus fin possible

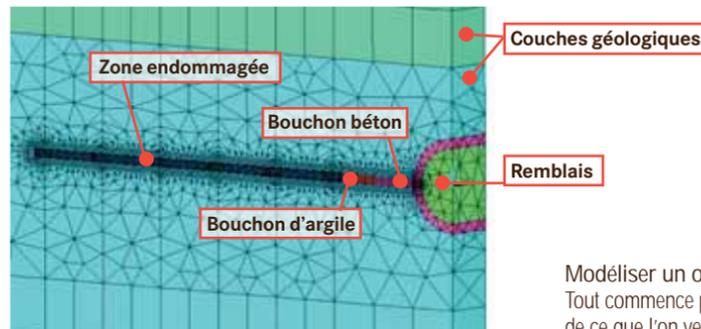
“Pour effectuer une simulation, on a recours à ce que l'on appelle le maillage. Cela consiste à découper en petits morceaux ce que l'on veut observer pour en avoir la vision la plus détaillée possible. Dans chaque maille, le code de calcul permet de savoir ce qui se passe. Avec les outils dont dispose l'Andra aujourd'hui, on peut faire 10 millions de mailles là où, il y a cinq ans, on ne pouvait en faire qu'un million.”

**Marc Leconte**, docteur en dynamique des fluides et des transferts.

### Un bouquet d'outils pour faire les calculs

“S'appuyer sur des outils de simulation numérique pour mener des études de performance ou de sûreté implique qu'on soit absolument sûr de leur pertinence et de leur performance. Nous travaillons donc à partir de logiciels existants qui ont fait leurs preuves et nous les enrichissons. Nous avons besoin de disposer d'un panel d'outils afin de choisir celui qui répond avec précision à nos exigences et à nos impératifs de qualité.”

**Guillaume Pépin**, adjoint au chef de service Évaluation et Analyse de la Performance.



Modéliser un objet :  
Tout commence par une représentation en trois dimensions de ce que l'on veut observer.

### Des calculateurs puissants pour gagner du temps et de la précision

“Tous les propriétaires de smartphone peuvent attester des progrès qui ont été accomplis pour produire des ordinateurs plus petits et plus performants.

Aujourd'hui, l'Andra bénéficie de ces avancées. Grâce à la miniaturisation, on peut utiliser plus de processeurs pour un même logiciel. On sait aussi

rassembler et exploiter les données issues de plusieurs machines qui effectuent chacune un bout de calcul.

Cela nous fait gagner du temps mais surtout, cela nous permet de procéder à des calculs bien plus complexes, et, là où l'on ne pouvait faire interagir que deux données entre elles, on peut maintenant en mouliner vingt !”

**Bernard Vialay**, ingénieur calculs scientifiques.

## Les clés pour comprendre

### Qu'est-ce qu'un code de calcul ?

C'est un programme informatique qui résout des équations mathématiques permettant de simuler des phénomènes physiques.

## TÉMOIGNAGE

**Michel Kern**, chargé de recherche à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria) et directeur adjoint de la Maison de la simulation (un partenariat Inria, CEA, CNRS, universités de Paris Sud et de Versailles Saint-Quentin). L'Inria et l'Andra ont signé un accord de partenariat sur la simulation numérique.



## “Traiter les incertitudes permet d'améliorer la sûreté des résultats”

“Sous les termes « Analyse d'incertitudes et de sensibilité » se cache une idée assez simple. Pour faire de la simulation numérique, on part de données relevées sur le terrain ou qui sont le fruit d'expérimentations en laboratoire et qui ont des limites dans la précision.

Par exemple, lorsque l'on place des capteurs dans une couche géologique, on s'attache à les mettre en des points stratégiques pour avoir la

mesure la plus représentative possible de tous les composants de la roche. Entre deux points de relevés, on fait une approximation en considérant que les valeurs ne changent pas entre ces deux points. Ceci constitue une incertitude.

L'enjeu de notre démarche est de savoir quelle est l'incidence qu'a cette incertitude sur les résultats. Aujourd'hui, on est capable de constater cette incertitude, de la quantifier, d'identifier sur quels

paramètres elle est significative, c'est-à-dire ceux pour lesquels elle va modifier le résultat. On est alors à même de corriger ces imperfections avant de lancer une nouvelle simulation.

Cela peut consister à préciser une donnée ou à recommander de conduire d'autres expérimentations sur des paramètres sensibles pour affiner notre connaissance.”

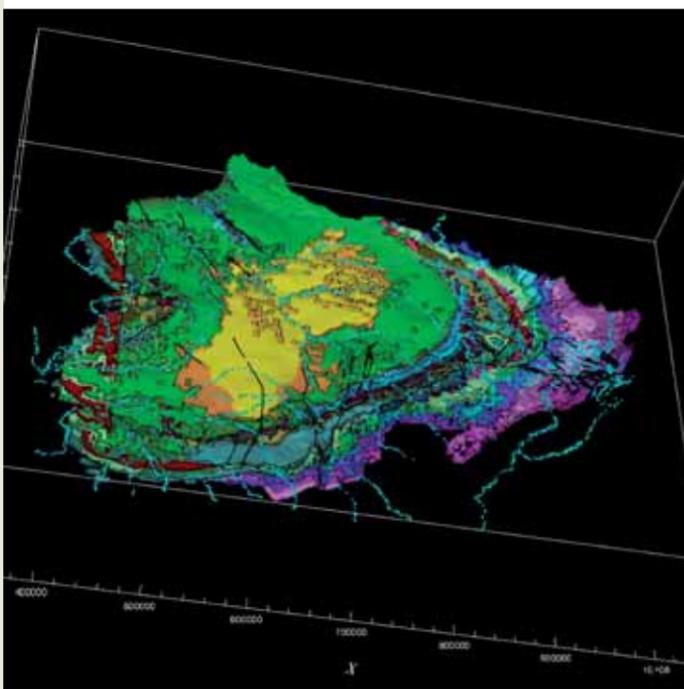
## Changer d'échelles d'espace et de temps

La simulation numérique est le seul moyen d'obtenir des résultats sur des durées allant de l'instantané au million d'années et de l'infiniment grand à l'infiniment petit.

**F**ocus sur deux exemples concernant l'eau et la chaleur étudiés par l'Andra.

### Observer un bassin hydrogéologique de 140 000 km<sup>2</sup>

Quel que soit le milieu dans lequel elle se trouve, l'eau transporte des éléments chimiques. Afin de comprendre le fonctionnement des écoulements de l'eau dans la zone prévue pour implanter le futur stockage en Meuse / Haute-Marne, l'Andra a reconstitué un modèle en 3D du bassin de Paris qui s'étend sur près de 140 000 km<sup>2</sup>. En effet, cette vision d'ensemble est nécessaire pour comprendre ce qui se passe sur le secteur du bassin intéressant plus particulièrement l'Andra, mais dont la surface n'est que de 18 000 km<sup>2</sup>.



Vue d'une coupe significative du bassin de Paris.

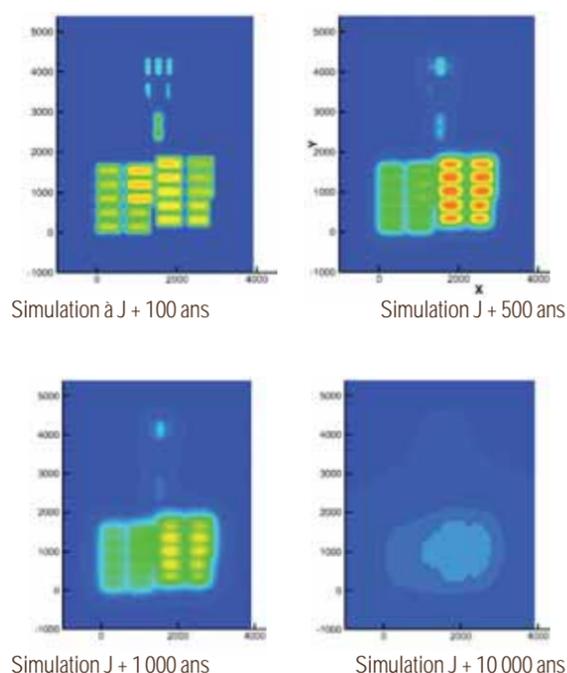
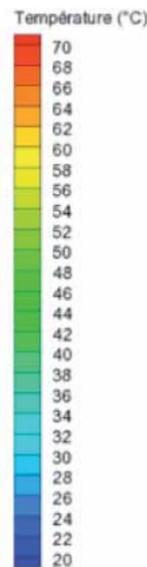
“Seul un modèle numérique pouvait nous permettre d'avoir une idée réaliste, fiable et précise, sur un si grand espace, des écoulements et du transport des solutés, c'est-à-dire de tous les composants chimiques qui se trouvent dans l'eau”, précise Hakim Benabderrahmane, docteur en hydrogéologie et pilote de simulation hydrogéologique à l'Andra. “À partir de données acquises sur le terrain, nous avons d'abord utilisé la simulation numérique pour concevoir un modèle en 3D afin de reconstituer le passé et le comprendre. À la suite de cette analyse, nous avons à nouveau eu recours à la simulation pour savoir ce qui se passera dans le futur en prenant en compte trois principaux phénomènes : l'érosion, la surrection (les mouvements verticaux subis par les formations géologiques) et l'évolution du climat”, conclut-il.

### Prévoir l'évolution, sur un million d'années, de la température émise par les déchets

Certains déchets radioactifs destinés au stockage profond dégagent de la chaleur. Lorsqu'ils seront mis en place dans les ouvrages, cette chaleur diffusera dans le milieu géologique.

“Elle affecte les écoulements, les échanges chimiques et le comportement mécanique des ouvrages de stockage”, explique Laurent Calsyn, ingénieur scientifique chargé de l'évaluation et de l'analyse de performance de ces phénomènes à l'Andra.

“Avec la simulation, nous pouvons étudier l'évolution de cette température et sa propagation à l'échelle de tout le stockage, soit environ 15 km<sup>2</sup>, et sur le très long terme, de la période d'exploitation à celle de la fermeture du stockage, et au-delà. Nous pouvons aussi simuler des phénomènes instantanés, comme ce qui se passe à l'instant où les colis de déchets sont installés. On élabore différents scénarios thermiques (architecture, temps d'entreposage préalable...) pour trouver les solutions techniques qui seront les meilleures en termes de sûreté et d'exploitation du stockage”, ajoute Laurent Calsyn.



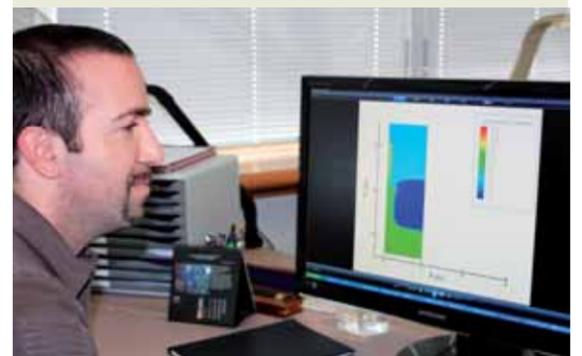
Grâce à la simulation numérique faite sur la chaleur qui serait diffusée par des déchets hautement radioactifs, on vérifie que la limite admissible de 100 °C pour la roche est respectée.

## Étudier des phénomènes complexes

La simulation numérique permet d'analyser et de prévoir les phénomènes chimiques qui se déroulent dans un stockage, difficiles à expérimenter en laboratoire du fait de leur complexité.

**L'**introduction de matériaux étrangers au milieu géologique engendrera différents phénomènes chimiques au sein du stockage. “Pour étudier les échanges chimiques entre des matériaux, comme le béton et l'argile, on doit prendre en compte environ trente minéraux différents et une centaine d'espèces chimiques en solution. De plus, pour compliquer le jeu, on travaille sur des éléments statiques, comme le sont les minéraux, mais aussi sur des éléments dynamiques comme l'eau qui s'écoule et à l'intérieur de laquelle les espèces chimiques sont entraînées ou diffusent. Avec la simulation numérique nous pouvons combiner tous ces phénomènes complexes entre eux, ce que l'expérimentation ne permet pas toujours de contrôler”, précise Benoît Cochevin, docteur en sciences des matériaux à l'Andra.

Dans le monde, il existe environ une dizaine d'outils capables d'effectuer des simulations de ce type. Le temps de calcul nécessaire pour simuler ces échanges chimiques sur une centaine de milliers d'années pour 3 m de béton et 50 m d'argilite est aujourd'hui de dix jours.



## Ils se servent aussi de la simulation numérique...



**Les laboratoires cosmétiques...** Pour fabriquer de belles bulles et produire de la mousse onctueuse !

### 3 QUESTIONS À : Frédéric Plas, chef du service Évaluation et Analyse de la Performance

Comment et pourquoi l'Andra se sert-elle des résultats obtenus par la simulation numérique pour concevoir son projet Cigéo, centre de stockage à 500 m de profondeur.

**Le Journal de l'Andra (LJdA) :** Quels sont les enjeux de la simulation pour Cigéo ?

**Frédéric Plas (F.P.) :** "Les simulations que nous menons pour Cigéo consistent en premier lieu à savoir comment, où et quand les radionucléides qui seront contenus dans les colis de déchets vont être relâchés et vont commencer à migrer dans le milieu géologique notamment après la fermeture du stockage. Mais la simulation constitue aussi une aide à la décision pour la conception et la gestion progressive du stockage dans lequel des personnes seront amenées à travailler en toute sécurité. C'est pourquoi nous devons étudier ce qui va arriver aussi bien pendant la phase d'exploitation du stockage, c'est-à-dire tant qu'on y apportera des colis, qu'après la fermeture de celui-ci."

**LJdA :** Pouvez-vous nous donner quelques exemples concrets des questions auxquelles répond la simulation ?

**F.P. :** "Pendant la phase de conception, on fait face à des interrogations telles que : Quel est l'espa-

cement idéal entre les colis ? Entre chaque alvéole ? Quels matériaux de construction sont les plus adaptés à ce qu'ils vont subir à court, moyen et long termes, et à leurs fonctions ? Quels sont les échanges physico-chimiques, ont-ils un impact ? Sur quoi ? Concernant la phase d'exploitation, on se questionne davantage sur : Comment doit-on concevoir la ventilation des galeries pour que la température offre des conditions de travail acceptables ? Si, après X années, on doit revenir dans une alvéole qui est déjà remplie, on y trouve quoi ? Si nous devons récupérer les colis, dans quel état seront-ils ? Quels composants du stockage et quel processus faut-il observer plus particulièrement ? Pendant combien de temps ? Avec quelle précision ?

Et après fermeture, les questions à renseigner sont par exemple : quelle est la durée de vie des colis ? Quels radionucléides seront relâchés et pourront migrer dans le stockage et dans la roche ? À quelle concentration ? Quand ?

**LJdA :** La simulation numérique répond-elle aussi aux questionnements de type : et si ?

**F.P. :** "Chaque fois que l'Andra identifie une incertitude, elle est systématiquement prise en compte. Les résultats des simulations sont ensuite analysés et systématiquement inclus dans les décisions et lors des autres phases de conception. Par ailleurs, pour répondre à l'interrogation « et si ceci ou cela arrivait ? », l'Andra a simulé une dizaine de situations ou événements envisagés à tous les stades de la vie du stockage. L'Andra a ainsi simulé des accidents tels qu'un forage, un scellement ou des colis défailants..."



## L'expérimentation et la simulation numérique : deux méthodes complémentaires

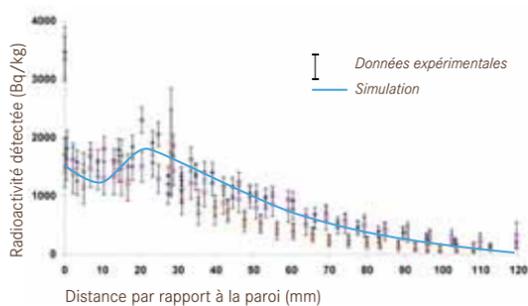
L'Andra effectue de nombreuses expériences directement dans la roche afin de recueillir des données indispensables sur les nombreux phénomènes qui se produiront dans le stockage. Ces

expériences sont également simulées afin de comparer les résultats issus de ces simulations aux données expérimentales (schéma de gauche). Si les résultats concordent, on peut alors utiliser les

données obtenues pour effectuer des simulations sur de grandes échelles de temps et d'espace (schéma de droite). L'exemple ci-dessous est celui de l'étude de la migration des radionucléides dans la roche.

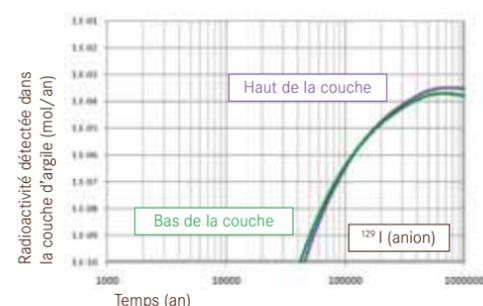
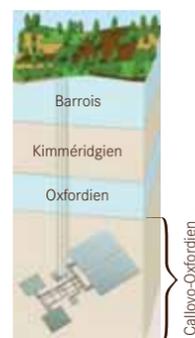
### Acquisition des données de diffusion dans l'argilite et comparaison avec le modèle théorique

Essai de diffusion d'un radionucléide (iode 125) dans le Laboratoire souterrain



### Paramètres de migration des radionucléides

### Simulation de la migration des radionucléides dans le Callovo-Oxfordien dans l'espace et dans le temps



**Les médecins qui luttent contre le paludisme...** Pour prévoir le déplacement des nuages de moustiques et anticiper la contamination des populations.



### Les sauveteurs...

Pour connaître les conditions météo et organiser les sauvetages dans des situations extrêmes, en mer comme en haute montagne.

**Les historiens...** Pour anticiper les dégradations faites sur le patrimoine et préserver des sites tels que la Grotte de Lascaux.



### Les ingénieurs...

Pour créer des automobiles ou des avions plus fiables, plus sûrs et plus performants.

## Manche

### Une surveillance toujours plus vigilante

L'eau fait l'objet d'une attention constante au Centre de stockage de la Manche. Une nouvelle canalisation a récemment été posée dans la galerie souterraine est, afin d'éviter que l'eau de pluie ne perturbe les mesures normales effectuées sur les effluents du Centre. Par ailleurs, des capteurs implantés dans la couverture depuis plus d'un an pour étudier le comportement de l'eau viennent de livrer leurs premiers résultats.

Mettre les colis de déchets à l'abri de l'eau susceptible de les corroder ou de mettre en solution les éléments radioactifs qu'ils contiennent, c'est le rôle principal de la couverture étanche qui recouvre les douze hectares du Centre de stockage de l'Andra dans la Manche. Les quelques litres d'eau qui peuvent traverser chaque année cette barrière et entrer en contact

avec les colis sont récupérés dans un réseau spécifique, dit "réseau séparatif", pour être analysés avant d'être évacués.

#### Quand l'eau de pluie perturbe les mesures

Si les analyses confirment que la quantité de radionucléides dans les rejets reste bien en dessous des seuils autorisés, elles ont aussi permis de détecter une anomalie en bordure est du Centre : de l'eau de pluie vient se mélanger à l'eau récupérée dans le réseau séparatif, et fausse les mesures. Pour remédier à ce problème, l'Andra a proposé de poser une canalisation de récupération des eaux pluviales séparée du réseau séparatif.

Après avoir obtenu l'aval de l'Autorité de sûreté nucléaire, l'Andra a débuté les travaux fin mars. Ceux-ci mobiliseront cinq personnes pendant deux mois et demi.

#### Des capteurs dans la couverture

Depuis mars 2010, dix capteurs de pression et deux sondes de température mesurent en permanence la présence et la pression de l'eau dans la couverture.

Objectif : vérifier si, lors de pluies importantes, de fortes pressions d'eau pourraient apparaître dans les couches de matériaux et les talus, et être à l'origine des glissements de terrain observés depuis quelques années. Après une année de mesures, les premiers résultats mettent en évidence l'absence de pression d'eau élevée et confirment le bon fonctionnement drainant de la couche de sable qui évacue les eaux d'infiltration. Cependant, l'hiver 2010-2011 n'ayant pas été particulièrement humide, il faut poursuivre ces mesures lors d'épisodes pluvieux plus importants.

Ces résultats seront utilisés pour une thèse sur l'amélioration de l'imperméabilité des schistes par traitement.



Relevé données des capteurs.

## Aube

### L'agrément des colis de déchets, garant de la sûreté du stockage

Avant d'autoriser les producteurs de déchets radioactifs à livrer leurs colis au Centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité, l'Andra s'assure que ces derniers respectent un certain nombre de spécifications techniques, établies par elle, pour garantir la sûreté du stockage.

Pour être accepté sur le Centre de stockage FMA de l'Andra, un colis de déchets doit se conformer à un certain nombre de caractéristiques précises (masse, intégrité physique, activité radiologique, contenu chimique...) établies par l'Agence. Un dispositif global de surveillance, qui repose sur des contrôles à plusieurs niveaux, permet de s'en assurer.

- Pour tout nouveau type de déchets, chaque producteur doit faire une demande de prise en charge à l'Andra. Après analyse des caractéristiques de ces déchets, des méthodes de conditionnement mises en œuvre par le producteur et après vérification que le producteur de déchets maîtrise la qualité des colis qu'il produit, le colis de déchets est agréé ou non par l'Andra.
- Avant la livraison, un contrôle informatique permet de vérifier que les caractéristiques individuelles de chaque colis de déchets déclaré par le producteur sont conformes et cohérentes

avec l'agrément délivré, et avec les critères techniques d'acceptation sur le Centre.

- Une fois livré sur le Centre, chaque colis subit systématiquement des contrôles documentaires et radiologiques.
- Des contrôles approfondis, destructifs ou non, sont régulièrement réalisés sur certains colis prélevés lors de leur livraison. Ils permettent de vérifier de manière plus fine leurs caractéristiques et leur conformité avec l'agrément et avec la déclaration des producteurs.
- En parallèle, l'Andra réalise chaque année une soixantaine d'audits ou inspections chez les producteurs. Toutes les étapes de l'élaboration du colis sont expertisées (conditionnement, fabrication des colis, caractérisation, déclaration...).

Si des non-conformités sont observées à quelque stade que ce soit, le stockage du colis de déchets, voire l'agrément du lot de colis correspondant, peuvent être suspendus.

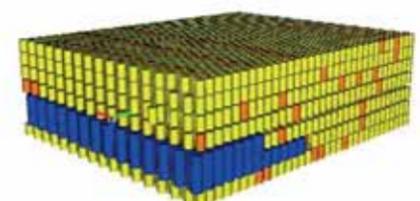
### Voir le stockage en trois dimensions

Développé par l'Andra, Stockview 3D est un outil de modélisation qui permet de visualiser le positionnement des colis de déchets à l'intérieur des ouvrages de stockage du Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité.

À partir d'une base de données intégrant les caractéristiques de chacun des colis réceptionnés et leurs coordonnées de stockage, ce logiciel permet de visualiser en trois dimensions leur positionnement dans les ouvrages. L'application permet de voir l'ensemble des colis présents dans un ouvrage mais également par couches de stockage.

"On peut également faire un focus sur un colis en particulier", précise Adrien Marin, l'informaticien qui a conçu un logiciel sur mesure pour les besoins spécifiques de l'Andra. Grâce à cet outil, il est désormais possible de suivre en temps réel l'évolution du stockage.

Un outil de traçabilité supplémentaire du stockage des colis de déchets au CSFMA.



## Meuse/Haute-Marne

### Effacer les traces du creusement

**Le fait de creuser la roche argileuse engendre des petites fissures autour des ouvrages souterrains. Pour redonner à la roche sa très faible perméabilité naturelle d'avant creusement, il faudra mettre en place, dans le futur stockage profond, des dispositifs de scellements. Trois nouveaux essais sont prévus au Centre de Meuse / Haute-Marne pour poursuivre les études déjà menées sur la façon de réparer ces fissures ou de les interrompre à l'aide de scellements et de saignées.**

“ Les fissures créées lors du creusement sont des zones de plus forte perméabilité : l'eau peut y circuler plus vite que dans la roche intacte ”, explique Aurélien Noiret, ingénieur géomécanicien à la direction Recherche & Développement de l'Andra. La roche argileuse possède une propriété naturelle qui permet le colmatage des fissures. Mais, par précaution, l'Andra souhaite fermer ou interrompre ces petites fissures. Elle prévoit pour cela la mise en place de bentonite, une argile naturelle qui absorbe l'eau et gonfle à son contact. “ En gonflant, la bentonite exerce une pression sur la roche qui ferme les fissures : l'eau circulera donc plus difficilement dans cette zone redevenue peu perméable ”, précise Aurélien Noiret.



#### Étudier la cicatrisation de la roche

Depuis le 14 mars, les scientifiques du Laboratoire souterrain s'intéressent à l'évolution de la zone fissurée suite à une pression exercée sur le pourtour de la galerie. Un vérin horizontal applique une pression sur un mètre carré de roche dans le Laboratoire souterrain. “ En un mois, le piston a appliqué une poussée en trois paliers de 200, 300 puis 400 tonnes suivie d'un relâchement brutal de la pression ”, précise Rémi de la Vaissière, ingénieur en charge de cette expérimentation. “ Maintenant, nous hydratons la roche argileuse. Après plusieurs mois d'hydratation, nous recommencerons un nouveau cycle de poussée. ”

De nombreux capteurs insérés dans la roche permettent d'étudier l'effet de cette pression sur le massif et de mesurer comment cet effet mécanique contribue à favoriser la fermeture des fissures et donc à ramener la roche vers sa très faible perméabilité d'origine.

#### Interrompre les fissures

En complément, l'Andra étudie la faisabilité de “ barrages ” en bentonite pour interrompre le réseau de fissures créées. Cet essai consiste à

remplir de bentonite des saignées creusées sur tout le pourtour d'une galerie et sur l'épaisseur des zones fissurées. Olivier Glénet, ingénieur de la direction de l'ingénierie du projet Cigéo, supervise l'essai qui sera réalisé en surface, dans l'Espace technologique : “ Depuis le 9 mai nous réalisons un test de creusement d'une saignée circulaire de 2,5 m de profondeur dans le Laboratoire souterrain. Ensuite, nous allons tester dans l'Espace technologique une méthode industrielle de remplissage d'une saignée avec des briques de bentonite : il s'agit d'observer la capacité de manutention des briques de bentonite et le taux de remplissage final de la saignée. ”

#### Test d'un scellement dans une galerie

Enfin, une expérimentation de grande ampleur va être installée en 2012 dans le Laboratoire souterrain. “ Une galerie va être complètement remplie sur 5 m de longueur avec plus de 80 m<sup>3</sup> de bentonite, explique Hervé Rebours, responsable de l'expérimentation. Un dispositif intégré dans la bentonite permettra de suivre son évolution et celle de la zone fissurée tout au long de la réhydratation et donc du gonflement de la bentonite. ”

## Aube

### L'expérience de l'Andra fait école à l'international

**Le modèle français en matière de gestion des déchets radioactifs intéresse de très nombreux pays. Les centres de stockage de l'Andra accueillent ainsi régulièrement des délégations étrangères à la recherche d'une expertise dans des domaines diversifiés (déchets radioactifs, déchets nucléaires, cadre législatif...). Focus sur trois délégations accueillies sur les sites de l'Aube en ce printemps 2011.**

#### Comprendre les principes de fonctionnement et de sûreté d'un centre de stockage

Jeudi 24 mars, une délégation mexicaine composée entre autres de représentants du secrétariat à l'énergie et de la sécurité nucléaire a visité les deux Centres de stockage de déchets radioactifs de l'Andra dans l'Aube. Vincent Carlier, responsable exploitation du CSTFA, et Patrice Torres, directeur des Centres de stockage de l'Aube, leur ont expliqué en détail le principe de gestion des Centres, les dispositions de contrôle et de surveillance associées.

#### Découvrir le cadre législatif français pour la gestion des déchets nucléaires

Jeudi 7 avril, dix parlementaires polonais (neuf députés et un sénateur, tous membres de la Commission mixte de l'énergie du Parlement polonais), ainsi que quatre experts nucléaires se sont rendus sur le site de l'Aube car leur pays doit

prochainement statuer sur le cadre législatif de l'électronucléaire de leur pays. Accompagnés par Yann Gaillard, sénateur aubois et président du groupe d'amitié franco-polonaise au Sénat, ils ont ainsi profité de quarante ans de savoir-faire en matière de gestion de déchets radioactifs avant de rencontrer leurs homologues français et le vice-président de la Commission nationale du débat public.

#### Mieux stocker les déchets radioactifs issus de l'extraction du pétrole

C'est par l'intermédiaire de Total, qui exploite les plateformes pétrolières angolaises, qu'une délégation de ce pays a visité les Centres de l'Aube en s'intéressant plus particulièrement au CSTFA car leur activité pétrolière génère des déchets très faiblement radioactifs. Dominique Mer, responsable de la communication des Centres de l'Aube et Bernard Faucher, chargé de mission à la direction

internationale de l'Andra, ont expliqué aux huit visiteurs représentant la société pétrolière angolaise Sonangol EP, le ministère du Pétrole d'Angola et l'Autorité angolaise de régulation, la construction et l'exploitation du Centre de stockage avant de leur faire découvrir la zone de stockage sur laquelle se côtoient alvéoles en remplissage et alvéoles en cours de préparation.



# Un Français produit en moyenne 2 kg de déchets radioactifs par an. On en fait quoi ?

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) met en œuvre des solutions sûres pour la gestion à long terme de tous les déchets radioactifs produits en France. Une mission non seulement scientifique et industrielle, mais aussi citoyenne, exercée dans un souci constant de transparence et de dialogue. Car protéger l'homme et son environnement est, plus qu'un défi, une responsabilité envers les générations présentes et futures.

[www.andra.fr](http://www.andra.fr)



ABONNEMENT GRATUIT



Pour être sûr de ne rien manquer, abonnez-vous

Si vous souhaitez recevoir régulièrement notre journal, merci de retourner ce coupon dûment rempli à :  
**Le Journal de l'Andra**  
1-7, rue Jean-Monnet - 92298 Châtenay-Malabry cedex

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Vous pouvez également vous abonner à la version électronique en envoyant vos coordonnées à : [journal-andra@andra.fr](mailto:journal-andra@andra.fr), en précisant la ou les édition(s) souhaitée(s).

Autre(s) édition(s) souhaitée(s) :

- Aube
- Manche
- Meuse/Haute-Marne

**Le Journal de l'Andra**  
**Édition nationale**

1-7, rue Jean-Monnet  
92298 Châtenay-Malabry Cedex

Tél. : 01 46 11 83 18 - [journal-andra@andra.fr](mailto:journal-andra@andra.fr)

**Directrice de la publication :** Marie-Claude Dupuis • **Directrice de la rédaction :** Valérie Renauld • **Rédactrice en chef :** Carole Sanz • **Comité éditorial :** Guilain Beauplé, Anne Brodu, Patrick Charton, Michel Dutzer, Bernard Faucher, Julien Guilluy, Guy Langlois, Fabrice Leboine, Alain Trouiller • **Ont participé à la rédaction, pour l'Andra :** Annabelle Comte, Sophie Dubois, Sébastien Farin, Marie-Pierre Germain, Élodie Langlois, Marc-Antoine Martin ; **pour Rouge Vif :** Sandrine Canavaggio, Élodie Seghers • **Responsable iconographie :** Sophie Muzerelle • **Crédits photos :** Andra, L. Calmes, P. Demail, Films Roger Leenhardt, Fotosearch Illustration, Getty Images, H. Larsson, P. Maurein, F. Mercenier, E. Poirot, C. Sanz, Tecplot, R. de la Vaissière, J. Wiatt • **Dessin :** Aster • **Création-réalisation :** Agence Rouge Vif - [www.rougevif.fr](http://www.rougevif.fr) • **Impression :** Abelia - Siret 350 900 866 00038 • **Papier :** papier Vertapure 100% recyclé dans une imprimerie certifiée imprim'vert • © Andra - 368-6 • DCOM/11-0083 • **ISSN :** 2106-8283 • **Tirage :** 5 000 ex.

