

RAPPORT

DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION DU PROJET CIGEO

« GP1 » - EVALUATION DES DONNEES DE BASE
RETENUES POUR L'EVALUATION DE SURETE
ANNEXES

PSE-ENV

Rapport IRSN N° 2024-00212

Rapport établi en support à l'avis IRSN/2024-00051 du 12 avril 2024

TABLE DES MATIÈRES

PREAMBULE	V
ANNEXES ADMINISTRATIVES.....	V
Annexe A1. Saisine de l'ASN.....	VI
Annexe A2. Engagements de l'Andra (lettre Andra DG/24-0123 du 7 mars 2024).....	XV
Annexe A3. Pièces constituant le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo (DDAC)	XX
ANNEXES TECHNIQUES	XXIII
Annexe T1. Dialogue technique organisé par l'Ancli, le Clis de Bure et l'IRSN durant l'instruction du DDAC de Cigéo	XXIII
Annexe T2. Rappel historique des instructions menées depuis 2005 en lien avec les données de base de Cigéo	XXVIII
Annexe T3. Recommandations, demandes et engagements issus des instructions précédentes	XXXII
Annexe T4. Scénarios utilisés pour établir les inventaires	XLIX
Annexe T5. Inventaire de référence	LI
Annexe T6. Inventaire de réserve.....	LX
Annexe T7. Déchets et combustibles usés liés au projet NNF	LXV
Annexe T8. Inventaire radiologique	LXVI
Annexe T9. Caractérisation géotechnique	LXVII
T9-1. Localisation des investigations géotechniques réalisées dans la zone du futur bâtiment EP1	LXVII
T9-2. Résultats des investigations.....	LXVII
T9-3. Modèles géotechniques retenus	LXX
Annexe T10. Caractéristiques radiologiques initiales	LXXI
Annexe T11. Risques d'inondation.....	LXXII
T11-1. Comparaison des pluies obtenues sur les stations étudiées.....	LXXII
T11-2. Scénario d'indisponibilité du réseau pluvial.....	LXXIII
Annexe T12. Aléas météorologiques.....	LXXIV
T12-1. Contre-calculs menés par l'IRSN pour l'évaluation des températures maximales	LXXIV
T12-2. Records de neige enregistrés à l'échelle nationale	LXXV
Annexe T13. Schéma structural du sud du site de MHM	LXXVI
Annexe T14. Ressources naturelles.....	LXXVIII
T14-1. Matériaux de carrières, substances minérales, charbon et hydrocarbures.....	LXXVIII
T14-2. Géothermie.....	LXXVIII
T14-3. Hydrocarbures « non conventionnels ».....	LXXIX
Annexe T15. Evolution géoprospective du site de MHM	LXXX

T15-1. Modèles d'évolution géodynamique.....	LXXX
T15-2. Simulations hydrogéologiques géoprospectives de l'Andra.....	LXXXII
Annexe T16. Caractérisation hydrogéochimique des aquifères profonds.....	LXXXIV
T16-1. Oxfordien calcaire.....	LXXXIV
T16-2. Aquifères plus profonds.....	LXXXVI
T16-3. Hydrogéochimie des aquifères encaissants du COX.....	LXXXVI
Annexe T17. Simulations hydrogéologiques de l'IRSN	LXXXVIII
Annexe T18. Modèles de relâchement retenus pour le SEN	XC
T18-1. Déchets MA-VL (inventaire de référence)	XC
T18-2. Déchets HA (inventaire de référence)	XCII
T18-3. Déchets FA-VL (inventaire de réserve)	XCIII
T18-4. Combustibles usés (inventaire de réserve)	XCIII
REFERENCES	XCVI

Préambule

Les références numérotées [REF TX-n°] sont listées à la fin de chaque annexe. Concernant les autres références numérotées [n°] ainsi que les acronymes, il convient de consulter le corps du présent rapport IRSN.

ANNEXES ADMINISTRATIVES

Annexe A1. Saisine de l'ASN



AUTORITÉ
DE SÛRETÉ
NUCLÉAIRE

Direction
des déchets, des installations
de recherche et du cycle

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Référence courrier :
CODEP-DRC-2023-030596
Affaire suivie par : Viviane NGUYEN
Tél. : 01 46 16 42 45
Courriel : viviane.nguyen@asn.fr

Monsieur le directeur général
Institut de radioprotection et de sûreté
nucléaire
BP 17
92 262 FONTENAY AUX ROSES Cedex

Montrouge, le 7 juin 2023

DEMANDE D'EXPERTISE

OBJET : Examen du dossier de demande d'autorisation de création du projet Cigéo
Saisine n° SAISI-DRC-2023-0093

RÉFÉRENCES :

- [1] Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs
- [2] Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1^{er} février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV
- [3] Avis n° 2011-AV-129 du 26 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le dossier relatif au stockage réversible profond des déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008
- [4] Avis n° 2013-AV-179 du 16 mai 2013 de l'ASN sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
- [5] Lettre ASN CODEP-DRC-2013-033414 du 18 novembre 2013
- [6] Lettre ASN CODEP-DRC-2014-039040 du 9 octobre 2014
- [7] Lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015
- [8] Avis n° 2015-AV-0227 de l'ASN du 10 février 2015 relatif à l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde
- [9] Lettre ASN CODEP-DRC-2016-005220 du 20 juin 2016
- [10] Lettre ASN CODEP-DRC-2018- 001635 du 12 janvier 2018
- [11] Lettre Andra DG/23.008 du 16 janvier 2023
- [12] Lettre ASN CODEP-DRC-2022-002107 du 12 avril 2022
- [13] Avis ASN n° 2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1^{er} décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs
- [14] Revue externe sur la gestion des déchets bitumés - Rapport final - 28 juin 2019

Référence du dossier saisine	SAISI-DRC-2023-0093	
Date de la réunion de concertation avec l'IRSN	17 avril 2023	
Echéance de remise de l'avis ou du rapport	31 mars 2024	
Codification du degré d'urgence	<input checked="" type="checkbox"/>	1- Priorité haute - enjeu majeur de sûreté, de radioprotection, de sécurité ou industriel important, contrainte ou délai réglementaire.
	<input type="checkbox"/>	2- Priorité moyenne - enjeu de sûreté, de radioprotection, de sécurité ou industriel normal.
	<input type="checkbox"/>	3- Priorité faible - faible enjeu de sûreté, de radioprotection, de sécurité ou industriel, prise de position ASN non urgente.

Monsieur le directeur général,

Au terme de 15 années de recherches sur la gestion des déchets de haute activité et moyenne activité à vie longue, la loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs [1] a fixé une feuille de route pour la gestion des déchets radioactifs et a notamment précisé que « *les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde* ». Cette loi confie à l'Andra la mission de concevoir un centre de stockage réversible de déchets radioactifs en couche géologique profonde.

L'ASN a, jusqu'à présent, rendu des avis au Gouvernement sur les études relatives à la faisabilité du concept de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde et leur avancement (dossiers « Argile 2005 » et « Jalon 2009 ») [2, 3]. Elle a pris position sur les documents produits entre 2009 et le débat public qui s'est tenu en 2013 [4], sur le jalon intermédiaire de conception au stade de l'esquisse présenté par l'Andra en 2012 [5], sur les ouvrages de fermeture en 2014 [6], sur les risques en exploitation en 2015 [7], sur le coût du projet en 2015 [8], sur le plan de développement des composants du projet en 2016 [9] et enfin sur le dossier d'options de sûreté (DOS) en 2018 [10]. Ce dernier dossier se positionnait entre la fin des études d'avant-projet sommaire (APS) et le début de celles de l'avant-projet détaillé (APD). Son dépôt marquait l'entrée du projet dans un processus encadré par la réglementation relative aux installations nucléaires de base (INB), notamment au travers de l'article R. 593-14 du code de l'environnement.

Ainsi, dans l'avis et la lettre faisant suite à l'instruction du DOS [10], l'ASN soulignait les options de sûreté qu'elle considérait propres à prévenir ou limiter les risques pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, compte tenu des conditions techniques et économiques du moment.

Depuis, le développement du projet a atteint le stade de fin d'études APD, jugé suffisant par l'Andra pour déposer, le 16 janvier 2023 [11], un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) pour une installation de stockage réversible en couche géologique profonde, dénommée Cigéo. Le dossier soumis à l'appui de cette demande est composé des pièces suivantes :

- Pièces appelées par l'article R. 593-16 du code de l'environnement :
 - identification de l'exploitant ;
 - nature de l'installation ;
 - cartes et plans ;
 - étude d'impact ;
 - études de maîtrise des risques ;
 - capacités techniques de l'exploitant ;
 - capacités financières de l'exploitant ;
 - justification de la maîtrise foncière des terrains ;
 - servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ;
 - plan de démantèlement de fermeture et de surveillance ;
 - bilan du débat public et de la concertation ;
 - émission de gaz à effet de serre ;
 - plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L. 123-6 et R. 123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique :
 - présentation non technique ;
 - informations juridiques et administratives ;
 - avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
- Pièces appelées par d'autres textes ou demandes des autorités :
 - version préliminaire des spécifications d'acceptations des colis (D. 542-88 du code de l'environnement) ;
 - plan de développement de l'INB de stockage (PDIS) (lettre ASN [10]) ;
- Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier :
 - guide de lecture, glossaires et acronymes ;
- Pièces non soumises à enquête publique (application des articles L. 593-9 et R. 593-22 du code de l'environnement) :
 - version préliminaire du rapport de sûreté.

De plus, l'Andra s'est engagée à transmettre, durant la phase d'instruction, des éléments en réponse au courrier de l'ASN du 12 avril 2022 relatif à la définition de l'aléa sismique en phase d'exploitation [12]. Ces éléments de réponse sont considérés comme un complément nécessaire au dossier qui devra être intégré à l'instruction de la demande d'autorisation de création.

Périmètre de la saisine

En vue d'élaborer l'avis de l'ASN requis par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement sur le dossier de demande d'autorisation [11], j'ai l'honneur de vous demander de bien vouloir me faire part de votre avis sur ce dossier, ainsi que sur les documents que l'Andra transmettra au cours de l'instruction technique.

Je vous demande ainsi de bien vouloir expertiser le dossier en appui à la demande d'autorisation de création, ainsi que les documents complémentaires transmis au cours de l'instruction, notamment en tenant compte des conclusions de l'ASN formalisées à l'issue de l'instruction du DOS, des réponses aux demandes et engagements formulés lors des instructions mentionnées au paragraphe précédent, et au regard du cadre réglementaire applicable aux INB.

Par ailleurs, l'ASN ayant rendu un avis [13] sur les études relatives à la gestion des déchets de haute et moyenne à vie longue remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2016-2018, en vue de l'élaboration du plan 2022-2027, je souhaite que vous examiniez, dans le cadre de l'instruction de la demande [11], la prise en compte par l'Andra des positions exposées dans cet avis.

Je souhaite que votre expertise soit organisée selon les trois groupements de thématiques indiqués ci-dessous et précisées de façon détaillée en annexe. Ceux-ci devront être examinés dans la mesure du possible dans l'ordre chronologique, tout en considérant certaines thématiques transverses comme celle de la phase industrielle pilote.

J'ajoute enfin que la présente saisine a fait l'objet d'une concertation¹ avec les parties prenantes, à laquelle vos services ont été associés. Celle-ci tient compte des observations et préoccupations exprimées à cette occasion.

¹ Réunions des 8 mars et 6 avril 2023

1. Evaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo

Je souhaite que vous examiniez les connaissances réunies et les hypothèses retenues par l'Andra pour établir la démonstration de sûreté de Cigéo relatives :

- au site retenu pour accueillir Cigéo ainsi qu'à son évolution incluant l'après-fermeture ;
- aux propriétés des composants du système de stockage et à leurs évolutions (colis de déchets, composants ouvrages et roche hôte) ;
- aux inventaires de colis de déchets dits « de référence » et « de réserve », incluant leurs caractéristiques radiologiques, physiques et chimiques.

La méthodologie d'acquisition des données, leur caractère suffisant au regard des modèles retenus ainsi que l'estimation des incertitudes prises en compte à ce stade seront plus particulièrement examinés.

2. Evaluation de sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraines

Je souhaite que vous vous prononciez sur la pertinence des dispositions de conception ayant conduit à la configuration de référence de l'installation de stockage, ainsi que celle des dispositions de construction et d'exploitation retenues, en examinant :

- la démarche de sûreté en fonctionnement jusqu'à la fermeture du stockage, comprenant la stratégie de surveillance de l'installation souterraine ;
- l'évaluation des risques d'origine interne et externe ;
- l'évaluation des impacts radiologiques et chimiques sur l'homme et l'environnement associés aux différentes situations étudiées pour la phase d'exploitation.

Vous examinerez également les dispositions prévues pour la gestion de la mémoire durant la phase d'exploitation (sélection des informations, modalités de constitution des dossier de mémoire et de conservation des données après-fermeture).

En ce qui concerne la gestion des colis de déchets bitumés, plusieurs positions ont été prises depuis 2018 [10], notamment sur la base des conclusions de la revue externe sur les déchets bitumés [14], qui se sont traduites par des demandes de l'ASN et l'ASND relatives aux études remises dans le cadre du PNGMDR 2016-2018 et l'avis de l'ASN [13]. Ainsi, **je vous demande également d'examiner la démonstration de sûreté présentée par l'Andra relative au stockage des déchets bitumés dans Cigéo**, notamment au regard des positions de l'ASN sur les études remises au titre du PNGMDR à ce

sujet, et de considérer les résultats du programme quadripartite en tant que complément au dossier dans votre examen, ceux-ci devant être transmis au cours de l'instruction technique.

3. Evaluation de sûreté en phase d'après fermeture

Je souhaite que vous vous prononciez sur la pertinence des dispositions de conception, de construction et d'exploitation retenues en examinant :

- la démarche de sûreté en après-fermeture au regard de la définition des scénarios prenant en compte les situations d'évolutions du système de stockage normales et altérées à long terme ;
- l'évaluation des performances du système de stockage au regard des risques internes et externes ;
- l'estimation des conséquences radiologiques et chimiques associées à chaque scénario.

Thèmes transverses

Je souhaite en outre, tout au long de l'examen des trois groupements de thématiques, connaître votre avis sur les éléments de définition de la **phase industrielle pilote**, notamment concernant les objectifs et le programme d'essais envisagés afin de conforter la démonstration de sûreté pour toutes les phases de vie de l'installation de stockage.

Une attention particulière sera apportée aux **optimisations présentées dans le dossier instruit**, dont le développement est suffisamment avancé et dont l'impact sur la sûreté a été évalué par l'Andra.

Vous examinerez la pertinence de la méthodologie et le choix des paramètres retenus pour définir les **spécifications préliminaires d'acceptation** des colis de déchets dans Cigéo au regard de la sûreté en exploitation et la sûreté après-fermeture.

Vous vous attacherez à examiner les dispositions prévues pour la mise en œuvre de la **réversibilité** durant la phase d'exploitation, notamment les dispositions pour mettre en œuvre le principe d'adaptabilité du stockage et de récupérabilité des colis de déchets radioactifs en vérifiant l'absence d'incidences négatives sur la sûreté après la fermeture.

Les **conséquences liées au changement climatique** sont une donnée à considérer dans l'examen des risques et évolutions de l'environnement de l'INB de stockage.

Enfin, je vous demande de vérifier, pour tous les sujets examinés dans le cadre de ces trois groupements thématiques, que **les données présentées et les incertitudes qui y sont associées sont d'un niveau suffisant pour établir** la démonstration de sûreté à ce stade de développement de Cigéo.

**Je souhaite disposer de votre avis sur le premier groupement de thématiques avant le 31 mars 2024.
Je vous préciserai ultérieurement les échéances de remise des autres avis.**

Je vous demande de me tenir informé d'une part de vos échanges écrits avec l'exploitant (sites, services centraux ou centres d'ingénierie), en veillant à ce que l'ASN reçoive les documents échangés au cours de votre expertise, d'autre part de la tenue des réunions techniques.

Vous me fournirez un point d'avancement de votre analyse tous les 3 mois, à l'occasion d'une réunion entre nos services et pour laquelle vous rédigerez un compte-rendu.

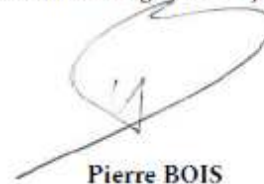
De plus, je solliciterai votre appui dans le cadre de réunions des groupes permanents d'experts pour les usines et les déchets (GP « Usines », GP « Déchets » et GP « radioprotection et environnement ») lors desquelles sera analysée la demande d'autorisation de création sur la base des trois thématiques mentionnées ci-dessus.

Vous distinguerez, dans votre avis, les recommandations qui remettent en cause la délivrance de l'autorisation de création de celles dont la réalisation peut intervenir à une échéance ultérieure.

En fonction de l'évolution du déroulement de l'instruction technique et des résultats des actions de concertation menées par l'Andra, notamment sur les sujets de la phase industrielle pilote, et par l'ASN, je pourrais être amené à compléter cette saisine.

Je vous prie d'agréer, monsieur le directeur général, l'expression de ma considération distinguée.

Le directeur général adjoint,



Pierre BOIS

ANNEXE

PLAN DE LA STRUCTURATION DE L'INSTRUCTION DE LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION EN TROIS AXES : DETAIL DES THEMATIQUES

1. Evaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo

1.1. L'examen de la connaissance du site au regard de l'évaluation de sûreté portera en particulier sur :

- ✓ l'environnement de surface, comprenant son état initial, ses caractéristiques météorologiques, géotechniques, son hydrologie et les activités anthropiques connexes;
- ✓ le contexte géologique, y compris ses ressources naturelles potentielles (en particulier la géothermie);
- ✓ l'hydrogéologie : modèles conceptuel et hydrogéologique des aquifères ;
- ✓ l'évolution du site, notamment sur le plan climatique et géodynamique, et ses conséquences sur l'hydrogéologie ;
- ✓ les propriétés de la roche hôte.

1.2. L'examen des composants du stockage et de leur évolution inclura notamment :

- ✓ les transitoires thermo-hydro-mécaniques et hydraulique-gaz tout au long des phases de vie du système de stockage et les propriétés chimiques de la roche hôte liés aux perturbations dues à la construction et à l'exploitation de Cigéo ainsi qu'à l'interaction entre les composants avec la roche hôte ;
- ✓ le comportement des colis et les modèles de relâchement ;
- ✓ l'évolution des matériaux (aciers, bétons, matériaux argileux) ;
- ✓ le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques dans ces différents milieux.

1.3. L'examen des inventaires de colis de déchets dits « de référence » et « de réserve » et leurs caractéristiques radiologiques et chimiques inclura notamment :

- ✓ la démarche d'élaboration de ces inventaires ;
- ✓ les caractéristiques des colis de déchets, notamment radiologiques, chimiques et thermiques, et la pertinence des incertitudes associées retenues pour l'évaluation de sûreté ;
- ✓ les chroniques de mise en stockage des colis.

2. Evaluation de sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraines

2.1. La démarche de sûreté sera examinée, et notamment :

- ✓ les objectifs de sûreté ;
- ✓ les activités et éléments importants pour la protection (AIP et EIP) ainsi que la qualification des EIP ;
- ✓ les principes pour la mise en œuvre de la flexibilité ;
- ✓ les principes de contrôle des colis ;
- ✓ l'identification et le classement des scénarios incidentels et accidentels ;
- ✓ la définition des domaines de fonctionnement ;
- ✓ la stratégie de fermeture de l'installation ;
- ✓ la stratégie de surveillance après la fermeture de l'installation ;
- ✓ les principes organisationnels pour le passage de la phase de conception à celle de réalisation.

2.2. L'évaluation de sûreté sera examinée, et notamment :

- ✓ les risques internes d'origine nucléaire (exposition des travailleurs, criticité, dissémination de substances radioactives) ;
- ✓ les agressions internes (incendie, explosion, manutention, inondation d'origine interne, perte d'auxiliaires de puissance, risques liés à la co-activité) ;
- ✓ les agressions externes (séisme, aléas météorologiques, chute d'avion, impact des activités industrielles, inondation externe...).

2.3. L'évaluation de l'impact sanitaire et environnemental inclura notamment :

- ✓ la méthodologie d'évaluation des impacts radiologiques et chimiques sur l'homme et l'environnement ;
- ✓ les résultats des évaluations pour les différentes situations et phases successives de fonctionnement.

3. Evaluation de la sûreté en phase d'après-fermeture

3.1. La démarche de sûreté après fermeture du stockage sera examinée, notamment :

- ✓ la sélection des scénarios pour les situations d'évolution normale et altérées ;
- ✓ la démarche de sélection des biosphères tenant compte du changement climatique.

Annexe A2. Engagements de l'Andra (lettre Andra DG/24-0123 du 7 mars 2024)



Châtenay-Malabry, le 07/03/2024

Monsieur Olivier GUPTA
Directeur général de l'Autorité de
Sûreté Nucléaire

15-21, rue Louis Lejeune
CS 70013
92541 MONTROUGE CEDEX

Le directeur général

Tél. : 01 46 11 80 00

Affaire suivie

par : Marine LEVIEUX
01 46 11 63 77 / 06 44 36 04 90

V/réf : DG/23-0008

N/réf : DG/24-0123

Objet : Examen par l'IRSN du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB CIGEO - GP1 -
Evaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté

Monsieur le Directeur général,

Par le présent courrier, vous trouverez les engagements de l'Andra dans le cadre de l'instruction du GP1 du dossier en support à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo cité en référence.

Ces engagements constituent de nouveaux engagements et ne reprennent pas ceux des instructions précédentes.

Vous en souhaitant bonne réception, je vous prie de croire, Monsieur le Directeur général, à l'assurance de ma considération distinguée.

Pierre-Marie Abadie
Directeur général
Parc de la Croix Blanche
1-7, rue Jean Monnet
92296 Châtenay-Malabry Cedex
Tél. : 01 46 11 80 06

www.andra.fr

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS
Siège social : 1-7 rue Jean-Monnet 92296 Châtenay-Malabry Cedex - RCS Nanterre n° 330 399 659

MONTREUIL P I C A T I O N D E B
15671981000-CM6-NAAS-151002870449

Engagements de l'Andra dans le cadre du GP1

- 2024-E1 - En complément des études d'adaptabilité basées sur l'inventaire de réserve dont le contenu a été validé dans le cadre de la 4^{ème} édition du PNCMDR, l'Andra établira, en amont de l'enquête publique, une feuille de route pour la réalisation d'étude complémentaire relative à la faisabilité du stockage du Pu séparé et des rebuts de Mox.
- 2024-E2 - Pour la mise à jour du dossier de DAC avant l'enquête publique, l'Andra quantifiera pour les familles de colis primaires de l'inventaire de référence, les incertitudes, notamment en termes de conditionnement, pouvant impacter le nombre et le volume de colis primaires.
- 2024-E3 - L'Andra présentera avant l'enquête publique, un programme d'études visant à consolider l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour l'étude d'impact de Cigéo. Elle établira ce programme au regard :
- des substances chimiques fortement toxiques ou introduites en quantité importante dans le stockage, issues des différents composants des colis primaires de déchets (déchets, matrice et contenant) ;
 - des formes physico-chimiques les plus probables et/ou toxiques de ces substances dans le stockage ;
 - d'une discrimination du niveau de confiance attribué aux données déclarées par les producteurs de déchets et de marges associées.
- 2024-E4 - L'Andra transmettra, au plus tard au début des terrassements des plateformes en zone descendrière et en zone puits lors de la construction initiale, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois. La synthèse de ces travaux visera notamment à distinguer les différentes nappes présentes en zone puits et en zone descendrière.
- Sur la base de l'analyse des résultats des travaux précédents et des expérimentations prévues sur les verses, l'Andra proposera un programme de surveillance des nappes du Barrois actualisé au plus tard lors de la mise en service.
- 2024-E5 - L'Andra transmettra les résultats des investigations géotechniques prévues sur la zone puits, dans les 12 mois qui suivent la fin de ces investigations.
- 2024-E6 - A la suite des travaux de caractérisation qui seront réalisés pendant la phase d'aménagements préalables, l'Andra conduira des investigations complémentaires, au niveau des plateformes devant recevoir le bâtiment EPI et la tête de la descendrière colis ainsi que, en fonction des enjeux de sûreté, au droit des infrastructures associées aux puits, en vue de prévenir l'instabilité de ces ouvrages. L'Andra définira dans ce cadre les moyens de caractérisation dont des investigations géophysiques afin de disposer d'une vision globale des calcaires du barrois au droit des ouvrages précités. Les rapports de synthèse des résultats des investigations et des traitements réalisés le cas échéant seront communiqués à l'IRSN avant la coulée des premiers bétons des ouvrages concernés.

- 2024-E7 – L'Andra présentera, préalablement à la mise en service, les résultats de la nouvelle campagne de caractérisation de l'état initial radiologique et chimique de l'environnement prévue par l'Andra dans le secteur de Meuse/Haute-Marne. Cette campagne :
- intégrera les éléments susceptibles d'être présents dans l'environnement, naturellement ou du fait d'activités humaines non liées à Cigéo. Pour les éléments non détectés jusqu'à présent, une analyse croisée des impacts avec les techniques analytiques existantes et les coûts afférents sera réalisée ;
 - inclura en particulier les éléments issus des verses si les recherches de leur effet sur l'environnement en démontrent la nécessité ;
 - sera réalisée dans les différents compartiments de l'environnement, à l'aide des meilleures techniques disponibles.
- 2024-E8 – Afin de tenir compte de l'impact du changement climatique tout au long de la durée d'exploitation de Cigéo, l'Andra, préalablement à la mise en service :
- définira des niveaux d'aléas hydrométéorologiques représentatifs de situations climatiques envisageables à la fin de la durée d'exploitation ;
 - justifiera la suffisance des températures retenues pour sa démonstration de sûreté en regard de températures associées à une fréquence de dépassement cible de 10^{-4} /an et estimées à l'aide de données récentes, en tenant compte de l'impact du changement climatique au travers de scénarios pénalisants de projection climatique, pour un horizon temporel cohérent avec la durée d'exploitation de l'installation ;
 - pour les aléas définis précédemment, présentera des éléments relatifs à la capacité d'adaptation de l'installation afin d'assurer une protection face à des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer avec le changement climatique ;
 - présentera une démarche détaillée concernant le suivi de l'évolution des connaissances sur le changement climatique et son impact sur les niveaux d'aléas retenus pour l'installation.
- 2024-E9 – Afin de compléter l'évaluation des risques liés à la neige, l'Andra réalisera, préalablement à la mise en service, une étude approfondie des données disponibles sur les niveaux de neige historiques ayant pu être observés dans un rayon représentatif des conditions du site.
- 2024-E10 – En marge des SEN et SEA, l'Andra réalisera en termes d'analyse de robustesse de la performance globale du système de stockage, une évaluation intégrant simultanément (i) la conductivité hydraulique enveloppe du Callovo-Oxfordien en grand déduite de l'analyse statistique des mesures et (ii) un gradient hydraulique vertical tenant compte d'une surpression d'origine hydraulique. Elle présentera les enseignements associés dans le cadre de l'instruction relative au CP3.

2024-E11 - L'Andra retiendra une méthode de creusement des puits au droit des futures zones à sceller, ne conduisant pas à un endommagement du Callovo-Oxfordien (plus particulièrement dans l'unité Silto-carbonatée) susceptible de remettre en cause l'atteinte de la performance des scellements de puits. Ce choix sera fait au plus tard à l'issue des études PRO/EXE. Il reposera notamment sur une analyse croisée des méthodes de creusement intégrant, outre l'impact sur l'endommagement au mieux des connaissances scientifiques et technologiques, la capacité de traitement du Callovo-Oxfordien au moment de la réalisation des scellements de puits.

2024-E12 - L'Andra précisera, d'ici la fin juin 2024, son programme de recherche en phase industrielle pilote sur la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA. Ce programme permettra de consolider le dimensionnement des composants de l'alvéole HA, avant le creusement du premier alvéole du quartier pilote HA destiné à recevoir des colis HA0.

2024-E13 - L'Andra définira en vue du creusement en zone souterraine:

- une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage, qui tienne compte d'une marge par rapport au seuil de fracturation « en grand » du Callovo-Oxfordien ;
- un programme de caractérisation local de l'état de contrainte *in situ* et corrélativement de tenue à la fracturation sous chargement fluide, au fur et à mesure de la construction de l'installation souterraine afin de vérifier le respect de l'exigence de pression maximale de gaz.

Elle présentera la méthodologie de mesure retenue, en vue d'une mise en œuvre opérationnelle avant le creusement des premiers alvéoles destinés à recevoir les colis de stockage.

2024-E14 - Concernant l'évaluation de la pression maximale de gaz attendue dans le stockage, en vue du bilan de la phase industrielle pilote, l'Andra :

- évaluera la nécessité de prendre en compte les effets de l'hystérésis, le cas échéant complètera le modèle de calcul utilisé, puis poursuivra la vérification numérique et la validation expérimentale de ce modèle sur des ouvrages représentatifs ;
- affinera, à l'aide de ce nouveau modèle, l'étude de sensibilité afin d'apprécier l'influence des différents paramètres (physiques et/ou numériques), phénomènes et autres incertitudes telles que le terme source, et ainsi de s'assurer que la pression maximale de gaz calculée dans le stockage respecte l'exigence relative au seuil de fracturation qui aura été définie.

2024-E15 - L'Andra présentera, en vue du bilan de la phase industrielle pilote, une synthèse des résultats issus notamment des démonstrateurs de scellement *in situ* mis en œuvre, permettant de consolider le concept de référence complet pour chaque type de scellement (puits, descenderies et galeries). Ceci inclura :

- en termes opérationnel, la réalisation depuis le retrait des portions de revêtement/soutènement jusqu'à la mise en œuvre des massifs d'appui en béton et/ou des remblais, incluant les moyens d'auscultation préalable de la roche et le

contrôle de la bonne exécution des travaux, ainsi que la qualification des matériaux et des composants ;

- pour les liaisons surface-fond, les performances atteintes.

2024-E16 – Dans le cas où les évolutions de politiques énergétiques conduiraient à identifier, en fin de la phase industrielle pilote (Phipil), des scénarios qui pourraient amener à étendre le stockage au-delà de la ZIOS, l'Andra analysera l'impact de cette extension sur la sûreté. Ces analyses intégreront des marges permettant de prendre en compte différentes incertitudes notamment en termes d'inventaire. Elles seront réalisées en amont du bilan de la Phipil.

Annexe A3. Pièces constituant le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo (DDAC)

Par lettre DG/23.008 du 16 janvier 2023, l'Andra a informé l'ASN avoir déposé le Dossier de demande d'autorisation de création du projet Cigéo auprès de la Ministre de la Transition énergétique en charge de la sûreté nucléaire. Le dossier de demande d'autorisation de création est composé d'un ensemble de « pièces de base » et de « notes support ». Les pièces de base sont :

Pièces appelées par l'article R. 593-16 du code de l'environnement :

- identification de l'Andra ;
- nature de l'installation ;
- cartes et plans ;
- étude d'impact ;
- version préliminaire du rapport de sûreté ;
- études de maîtrise des risques ;
- capacités techniques de l'Andra ;
- capacités financières de l'Andra ;
- justification de la maîtrise foncière des terrains ;
- servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ;
- plan de démantèlement de fermeture et de surveillance ;
- bilan du débat public et de la concertation ;
- émission de gaz à effet de serre ;
- plan directeur d'exploitation ;

Pièces relatives à l'enquête publique (L. 123-6 et R. 123-8 du code de l'environnement) :

- présentation non technique ;
- informations juridiques et administratives ;
- avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;

Pièces appelées par d'autres textes ou demandes des autorités :

- version préliminaire des spécifications d'acceptations des colis (D. 542-88 du code de l'environnement) ;
- plan de développement de l'INB de stockage (**PDIS**) (lettre ASN [32]) ;

Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier :

- guide de lecture, glossaires et acronymes ;

Les notes suivantes viennent en support du dossier de base, répondant à des thématiques diverses afférant à l'une ou plusieurs des trois instructions du DDAC :

- Bilan des concertations sur la phase industrielle pilote et sur la gouvernance du projet Cigéo ;
- Choix et description (démarche biosphère(s), biosphères pour les évaluations d'impact à l'Homme après fermeture du stockage, évaluations d'impacts aux populations en situation accidentelle) ;
- Concepts de stockage profond pour les déchets HA et MA-VL à l'international ;
- État de la maîtrise foncière des terrains d'emprise du périmètre de l'INB ;
- Liste des codes et normes utiles à la sûreté nucléaire ;
- Dossiers de justification des choix de conception (architecture souterraine, alvéole HA, bâtiment nucléaire de surface EP1, conteneurs de stockage des colis MA-VL, conteneurs de stockage HA, process

- nucléaire souterrain, alvéole MA-VL, alvéoles dédiés au stockage des fûts de déchets bitumés mis en conteneur renforcé, liaisons surface-fond, systèmes support, ouvrages de fermeture) ;
- Notes d'analyse des risques en exploitation (inondation externe, risque sismique, dispersion de substances radioactives, manutention, incendie en zone nucléaire, exposition externe et interne, gaz de radiolyse et de corrosion, dégagement thermique, criticité) ;
 - Note de synthèse de l'analyse des risques et incertitudes ;
 - Référentiel incendie pour la conception des installations souterraines de Cigéo ;
 - Performances attendues des colis en termes de maintien du confinement ;
 - Stockage en l'état des colis de déchets bitumés - Maitrise des risques et évolution de conception ;
 - Liste des EIP et AIP et exigences définies ;
 - Note scénarios, hypothèses et résultats des calculs de conséquences (exploitation) ;
 - Evaluation complémentaire de sûreté ;
 - La stratégie de surveillance de l'INB du centre de stockage Cigéo ;
 - Démarche d'élaboration des inventaires de l'INB du centre de stockage Cigéo ;
 - Inventaires de référence, de réserve de l'INB Cigéo ;
 - Dossier de justification de la version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis ;
 - Méthode d'élaboration des spécifications d'acceptation des colis primaires à Cigéo - Etat des lieux de la définition des exigences préliminaires ;
 - Méthode de définition de critères d'acceptation liés à la réactivité chimique des colis de déchets bitumés ;
 - Notes conceptuelles :
 - o L'activité bactérienne et l'évolution phénoménologique du stockage dans le temps ;
 - o La charge thermique et le comportement thermo-hydro-mécanique (**THM**) du COX autour des quartiers HA ;
 - o Le comportement hydrique et hydraulique du stockage et le devenir des gaz pendant la période d'exploitation réversible ;
 - o Le comportement mécanique des alvéoles MA-VL en après fermeture ;
 - o Le comportement mécanique et la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA dans le temps (exploitation et après-fermeture) ;
 - o Le comportement mécanique des ouvrages d'accès (puits et descenderie) et des ouvrages souterrains (alvéoles MA-VL et galeries) pendant la phase de fonctionnement réversible
 - o État initial et évolution de la zone endommagée ;
 - o L'évolution chimique des alvéoles MA-VL et du COX en champ proche ;
 - o L'évolution des galeries en après-fermeture ;
 - o L'évolution phénoménologique des scellements de Cigéo (après fermeture) ;
 - o L'évolution du site du centre de stockage Cigéo sur le prochain million d'années du fait des évolutions géodynamiques et des effets en grand du stockage ;
 - o Modèle conceptuel du milieu géologique ;
 - o Le modèle hydrogéologique à l'actuel et son évolution sur le prochain million d'années Les modèles de relâchement phénoménologiques des radionucléides des colis de déchets HA et MA-VL en fonction des conditions d'environnement : synthèse des connaissances ;
 - o Comportement des CU en stockage - Modèles de relâchement des radionucléides ;
 - o Les modèles de relâchement phénoménologiques, en fonction des conditions d'environnement, des radionucléides pour les différentes familles de colis :
 - des CU ;
 - de déchets HA et MA-VL ;
 - des déchets FA-VL ;
 - o Le relâchement et la migration des radionucléides et toxiques chimiques depuis le stockage jusqu'aux exutoires naturels ;
 - o Le transitoire hydraulique-gaz et le devenir des radionucléides gazeux en après-fermeture ;

- L'évolution chimique des alvéoles HA et du COX en champ proche ;
- Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface ;
- Les référentiels de connaissances :
 - Le référentiel des expérimentations scientifiques et technologiques menées sur le centre de MHM ;
 - Le comportement des combustibles ;
 - Le comportement des déchets MA-VL ;
 - Le comportement des déchets vitrifiés (HA et MA-VL) ;
 - Le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques, VOLUME 1 et 2 ;
 - La corrosion des matériaux métalliques ;
 - Les déchets « Graphite » ;
 - Les dispositifs de caractérisation et d'auscultation mis en œuvre sur le centre de MHM ;
 - Les matériaux cimentaires ;
 - Les matériaux argileux ;
 - Les matériaux innovants prospectifs pour Cigéo ;
 - Référentiel de site, Tomes I, II, III, IV ;
 - Recueil des fiches bilan scientifiques et techniques ;
- Etude du scénario conventionnel d'effondrement dans les ouvrages ;
- Influence des éléments d'architecture et de conception sur l'évolution phénoménologique et la performance de Cigéo en après-fermeture ;
- Hypothèses et valeurs paramètres retenus dans évaluations quantitatives performance et sûreté après fermeture ;
- L'importance des itérations entre sûreté, conception et connaissances dans le développement progressif du centre de stockage Cigéo ;
- Études relatives à l'adaptabilité de l'INB au stockage des colis de déchets de l'inventaire de réserve.

ANNEXES TECHNIQUES

Annexe T1. Dialogue technique organisé par l’Anccli, le Clis de Bure et l’IRSN durant l’instruction du DDAC de Cigéo

Un dialogue technique est organisé à destination de la société civile par l’Association nationale des comités et commissions locales d’information (**Anccli**), le Comité local d’information et de suivi (**Clis**) du laboratoire de Bure et l’IRSN durant l’instruction technique par l’IRSN du Dossier de demande d’autorisation de création (**DDAC**) de Cigéo. Il a commencé lors du lancement de cette instruction, début 2023, et se prolonge jusqu’à son terme, soit sur une durée d’environ deux ans et demi. Ce dialogue technique s’inscrit dans la continuité des actions d’ouverture à la société civile sur les déchets HA-MAVL organisées depuis 2012, en particulier du dialogue technique réalisé à l’occasion de l’instruction technique du Dossier d’options de sûreté (**DOS**) de Cigéo en 2016 et 2017. Il réunit des membres de l’Anccli, du Clis de Bure, de commissions locales d’information (CLI), d’associations, ainsi que des experts non institutionnels, qui forment au total un groupe pluraliste d’une quarantaine de personnes de la société civile. L’ASN et l’Andra, qui ne sont pas des organisateurs du dialogue technique, participent également aux réunions organisées dans ce cadre pour apporter des informations relevant de leurs responsabilités, en particulier sur le DDAC et le projet Cigéo concernant l’Andra, et sur ses saisines et la réglementation pour ce qui est de l’ASN.

Ce dialogue technique concerne l’expertise de l’IRSN portant sur le DDAC déposé par l’Andra, en termes de sûreté nucléaire du centre de stockage et de radioprotection du personnel et du public. Dans cette optique, les objectifs du dialogue technique sont de :

- tenir compte des préoccupations et des questions des participants de la société civile pour rendre plus robuste l’expertise de l’IRSN ;
- permettre aux participants de la société civile de se forger leur propre opinion sur les sujets de sûreté nucléaire et de radioprotection et participer ainsi à la décision publique.

La participation de la société civile au dialogue technique repose sur la structuration suivante :

- un groupe central, pérenne sur toute la durée du dialogue technique, dans la continuité du groupe d’échanges mis en place pour le DOS de Cigéo, étendu à de nouveaux participants de manière à apporter d’autres regards et points de vue ;
- des groupes thématiques, qui travaillent de manière ponctuelle dans le temps et indépendamment les uns des autres sur des sujets spécifiques.

Différents niveaux de participation de la société civile sont ainsi possibles, allant d’une participation générale et continue sur le long terme à une participation ciblée sur un thème précis et ponctuelle dans le temps, en fonction des souhaits et des possibilités des participants.

Une réunion de préparation, en amont du dialogue technique, a eu lieu en janvier 2023, à destination notamment des nouveaux participants, pour présenter les grandes lignes du projet Cigéo et les principes de sûreté et de radioprotection associés, ainsi que les conclusions des expertises, des échanges et des dialogues techniques antérieurs, en particulier celles concernant le DOS de Cigéo. Par ailleurs, des ateliers ont permis aux participants de la société civile d’identifier les sujets techniques qu’ils souhaitent traiter au cours de ce dialogue technique (cf. Figure T1-1).

Le déroulement du dialogue technique est intimement lié au séquençage dans le temps de l’instruction technique, en particulier aux trois réunions des GPE saisis par l’ASN. Durant la réunion de lancement du dialogue technique en avril 2023, il a été convenu avec les participants de la société civile d’adopter le programme résumé en Figure T1-2, pour lequel les sujets techniques, identifiés par la société civile, ont été répartis en trois séquences appelées « saisons », correspondant aux trois réunions des GPE. Par la suite, les participants de la société civile ont voté pour que ces sujets techniques soient traités par le groupe central ou par un groupe thématique.

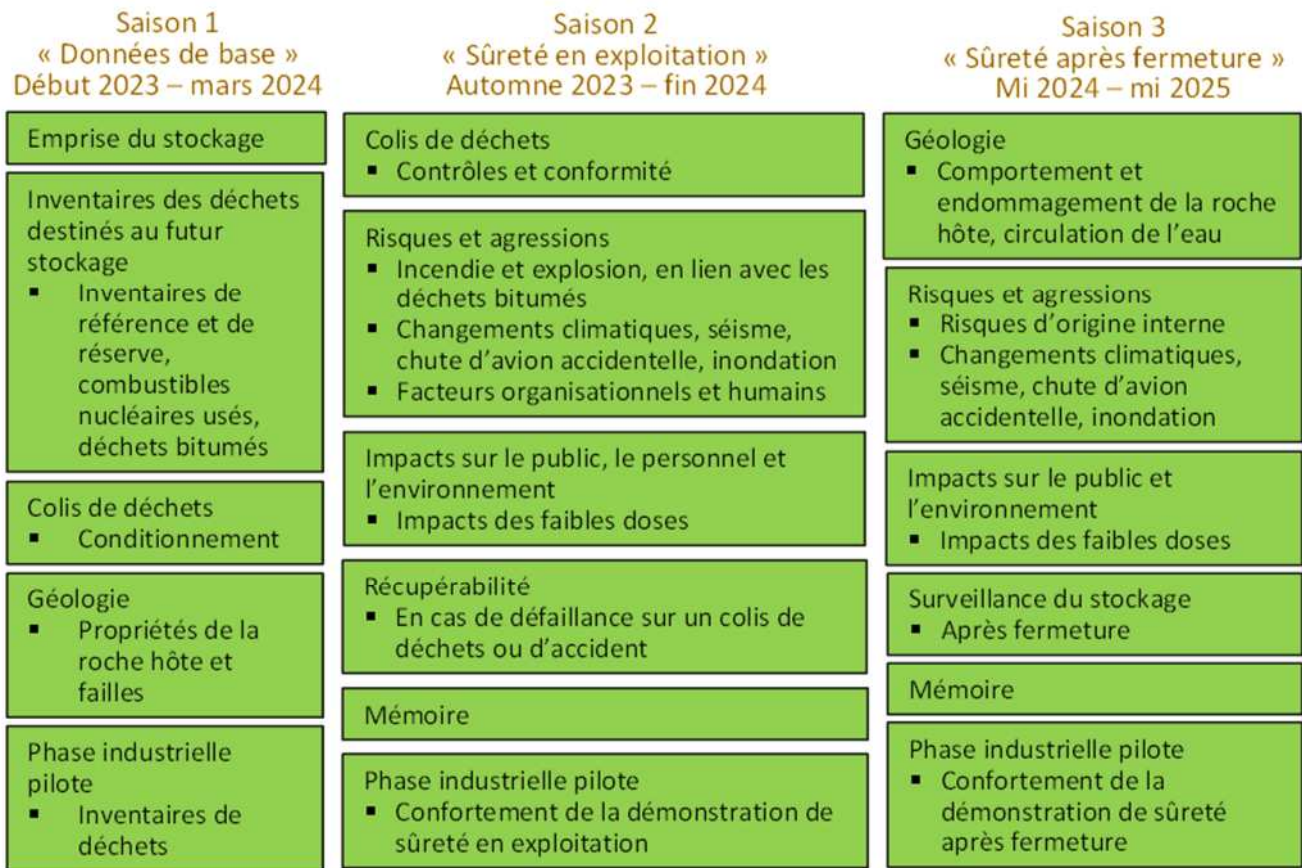


Figure T1-1 : Programme du dialogue technique élaboré à partir des sujets techniques identifiés par les participants de la société civile.

La saison 1, comme chaque saison, comporte principalement deux phases espacées dans le temps :

- une phase de recueil des questions des participants de la société civile, notamment sur la base de la présentation de l’analyse préalable de l’IRSN (pré-analyse du dossier de l’Andra pour identifier, au regard de la saisine de l’ASN, les enjeux de sûreté, les éventuels manques, les points d’attention et ainsi déterminer les orientations des étapes ultérieures de l’expertise) ;
- une phase de présentation des résultats de l’expertise de l’IRSN, en particulier en réponse aux questions des participants de la société civile.

Aussi, le programme de la saison 1 a été le suivant (Figure T1-2) :

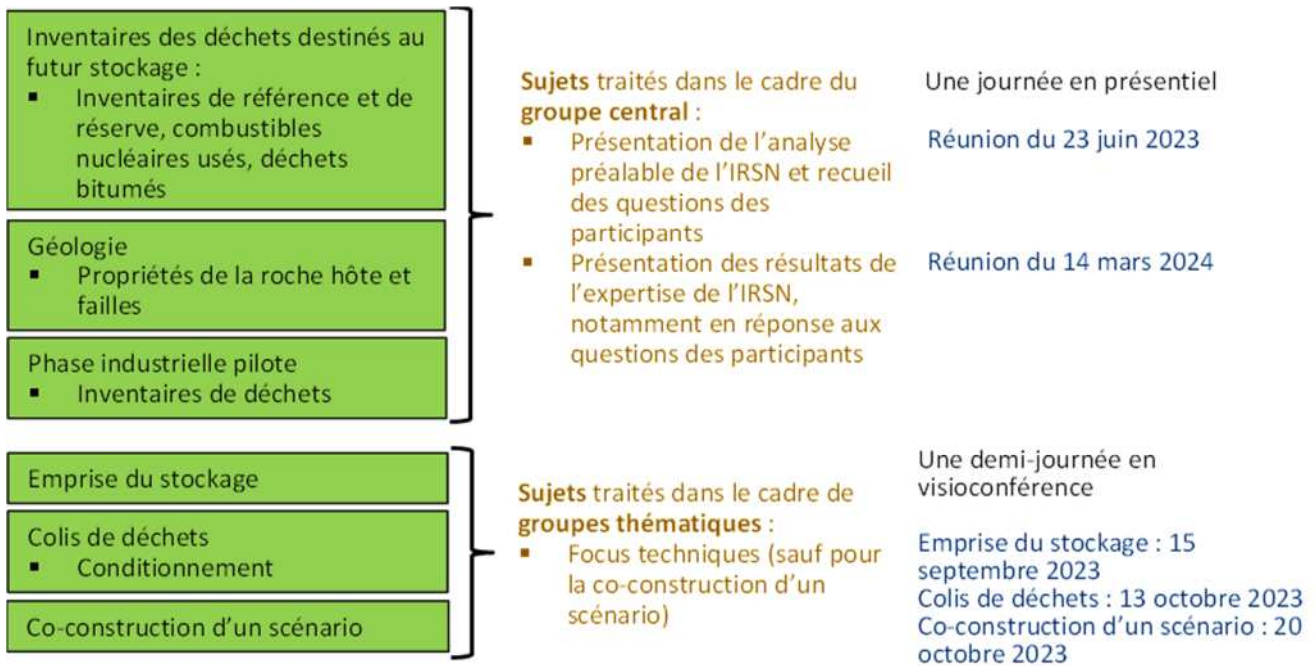


Figure T1-2 : Programme de la saison 1 du dialogue technique (données de base retenues pour l'évaluation de sûreté).

Lors de ces réunions de la saison 1, les participants de la société civile ont posé environ 220 questions. Si les questions en dehors du champ de compétences de l'IRSN (gouvernance du projet, coûts, choix de politique énergétique...) et celles relevant de l'expertise de l'IRSN en dehors du DDAC (transport des colis sur la voie publique, alternatives au stockage géologique) ou de sujets techniques à traiter lors des saisons 2 et 3 sont écartées, il subsiste environ 100 questions relatives aux sujets techniques de la saison 1. Mises à part les questions de compréhension et d'éclaircissement, ainsi que celles portant sur des données et des informations factuelles, il reste un peu plus de 40 questions relatives à l'expertise de l'IRSN sur les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté.

Les questionnements ont porté principalement sur :

- les inventaires de référence et de réserve, en particulier les incertitudes, les évolutions possibles des inventaires et leurs incidences sur l'emprise du stockage, les déchets bitumés, le devenir de matières tels que les combustibles nucléaires irradiés, le plutonium séparé et les rebuts MOX, ainsi que la prise en compte du « nouveau » nucléaire (EPR2 et SMR) et de l'allongement de la durée d'exploitation des réacteurs du parc actuel ;
- le site, notamment les propriétés et les endommagements de la roche hôte, l'identification et les évolutions des failles, la circulation de l'eau et la ressource géothermique potentielle ;
- le sujet transverse de la phase industrielle pilote, en particulier les objectifs, la durée, les résultats attendus, les limites, le programme d'essais à réaliser et les colis de déchets prévus ;
- les incertitudes, notamment sur les connaissances issues du laboratoire de recherche souterrain et les simulations numériques, leurs incidences et leur gestion dans l'évaluation de la sûreté du stockage.

Lors de la réunion d'échanges de mars 2024, il a été mis en évidence que la grande majorité des questions des participants de la société civile avaient été également identifiées par l'IRSN lors de son analyse préalable. Les autres questions des participants de la société civile ont une faible influence, selon l'IRSN, sur la sûreté du stockage. De plus, à la demande de l'Ancli et du Clis de Bure, l'IRSN a présenté des résultats de l'expertise, importants en termes de sûreté, sur des sujets qui n'ont pas fait l'objet de questions des participants de la société civile. Des pictogrammes ont été utilisés pour différencier ces trois cas de figure ; d'autres pictogrammes ont permis d'apporter une appréciation sur les positions de l'IRSN (cf. Figure T1-3). Ces pictogrammes ont été très appréciés par les participants de la société civile, car leur permettant de se repérer plus facilement et de faire ressortir les résultats d'expertise les plus importants.

Pictogrammes « questions » :



L'IRSN partage ces questions/sujets

Exemple : questions sur l'effet des techniques de creusement sur l'endommagement de la roche



Questions posées par la société civile, mais précédemment soldées ou peu influentes sur la sûreté pour l'IRSN

Exemple : questions sur les ressources géothermiques potentielles



Pas de question de la société civile, mais sujets importants pour l'IRSN

Exemple : aléas météorologiques (température et neige)

Pictogrammes « position IRSN » :



Au stade du DAC, IRSN OK avec le dossier



Au stade du DAC, OK mais vigilance sur le sujet pour étape ultérieure à la DAC (engagement pris par l'Andra sur la base d'une conclusion de l'IRSN)



Au stade du DAC, recommandation majeure de l'IRSN portée en débat au GPE1



Renvoi au GPE2 et/ou GPE3, dans le cadre de l'analyse de sûreté

Figure T1-3 : Pictogrammes utilisés lors de la présentation des résultats l'expertise de l'IRSN.

En outre, une innovation de ce dialogue technique consiste à expérimenter un travail commun entre la société civile et l'IRSN sur la base d'un scénario co-construit d'une situation du stockage postulée, en vue d'une évaluation partagée des enjeux de sûreté associés. Il peut s'agir d'un scénario accidentel en phase d'exploitation du stockage ou d'un scénario d'évolution en phase post-fermeture du stockage. Sans présentation préalable des scénarios traités dans le DDAC, de manière itérative et en utilisant une plateforme collaborative, la réunion d'octobre 2023 a permis aux participants de faire ressortir trois ébauches de scénario relatives à leurs préoccupations :

- en phase d'exploitation, incendie dans l'installation souterraine ;
- rupture sociétale conduisant à un arrêt de l'exploitation du stockage et à un abandon du site ;
- après fermeture, oubli de l'existence du centre de stockage et intrusion tel qu'un forage traversant le stockage.

Un scénario sera retenu et élaboré plus avant lors d'une prochaine réunion en juin 2024. Il pourrait faire l'objet de travaux d'expertise et/ou de modélisation complémentaires de la part de l'IRSN.

Les premiers enseignements issus de cette saison 1 du dialogue technique sont les suivants :

- des difficultés de compréhension et de suivi liés à l'ampleur et à la complexité du dossier, au délai important entre la phase de recueil des questions et la phase de présentation des résultats de l'expertise de l'IRSN (9 mois pour la saison 1) ainsi qu'au recouvrement des trois saisons ;
- la qualité des présentations, des interventions et des échanges, permettant de traiter la complexité et les enjeux des sujets techniques tout en restant accessible et en faisant preuve de pédagogie ;

- la confiance créée entre les différents participants, en particulier entre la société civile et les acteurs institutionnels ;
- l'importance de la participation active de la société civile et de la co-construction du dialogue technique avec cette dernière (identification des sujets techniques à traiter et vote sur leur traitement par les participants de la société civile, restitution des travaux des groupes thématiques lors des réunions du groupe central par des participants de la société civile...) ;
- l'intérêt de la diversité des modes de participation de la société civile. Les réunions des groupes thématiques, par visioconférence, permettent la participation de nouvelles personnes, qui ne participent pas aux réunions du groupe central en présentiel ;
- l'acquisition de connaissances et de compétences par les participants de la société civile, leur permettant de construire des avis éclairés à l'occasion des concertations, consultations et enquêtes publiques, en cours et à venir.

Par ailleurs, la concertation conduite par l'ASN sur les saisines de l'IRSN et du GPE, et le dialogue technique, constituent des associations distinctes et complémentaires de la société civile pour améliorer l'expertise et la décision. Elles s'enrichissent mutuellement.

Annexe T2. Rappel historique des instructions menées depuis 2005 en lien avec les données de base de Cigéo

La présente instruction relative au DDAC de Cigéo étant la première des trois groupements de thématiques (« GP1 »), la synthèse présentée ci-dessous se concentre sur les éléments saillants des expertises passées relatives aux données de base retenues par l'Andra pour démontrer sa maîtrise des risques en exploitation et après fermeture de Cigéo. L'Andra a développé ses connaissances, présentées dans divers dossiers transmis à l'ASN depuis 2005.

Le « Dossier 2005 Argile » (**Dossier 2005**), établi par l'Andra dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 dite « loi Bataille » relative à la gestion des déchets radioactifs de haute activité et à vie longue, visait à démontrer la faisabilité d'un stockage profond en couche géologique argileuse. Dans ce Dossier 2005, l'Andra présentait une première évaluation complète de la sûreté de l'installation de stockage dans la couche du COX en MHM. L'Andra a retenu une « zone de transposition » (**ZT**) d'environ 250 km², située au nord du LSMHM, sur la base des résultats de caractérisation de cette zone acquis jusqu'alors, en vue de l'implantation de l'installation de stockage. L'IRSN [9] avait conclu de son expertise de ce dossier à la faisabilité d'un stockage géologique de déchets HA et MA-VL en formation argileuse dans la ZT. Sur la base de l'avis formulé par le GPD [10], l'ASN [11] a notamment demandé qu'une stratégie de reconnaissance soit définie pour identifier des volumes de roche pour lesquels la fracturation est absente ou peut être compensée en adaptant l'architecture de stockage, sans pénaliser la sûreté, et pour localiser l'emprise du stockage. L'ASN demandait également d'améliorer la compréhension des écoulements souterrains dans les formations encaissantes ainsi que la compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement, par des expériences in situ dans le LSMHM.

Après avoir mené des investigations complémentaires en 2007-2008 dans la ZT (cf. annexe T1 de [30]), l'Andra a retenu une zone plus restreinte de 30 km² appelée « Zone d'Intérêt pour une Reconnaissance Approfondie » (**ZIRA**), en vue de l'implantation de l'installation. Dans son avis rendu en 2009 [12] sur le choix par l'Andra de la ZIRA, l'IRSN estimait que ces travaux de reconnaissance ne mettaient pas en évidence d'éléments nouveaux susceptibles de remettre en cause la faisabilité d'un stockage en formation argileuse dans la ZT. L'approbation du choix de la ZIRA par l'ASN a été notifiée le 5 janvier 2010 [13], qui soulignait alors qu'il pourrait être nécessaire d'adapter les concepts en raison d'un risque d'endommagement lié à l'excavation, la profondeur d'implantation du stockage dans la ZIRA dépassant celle du niveau principal du LSMHM.

A l'issue de l'expertise du « Dossier 2009 », qui présentait des options de conception, de sûreté et de réversibilité de l'installation de stockage, l'IRSN observait [14] que les évolutions de conception proposées par l'Andra depuis le Dossier 2005 n'étaient pas de nature à modifier ses conclusions de 2005 [9] quant à la faisabilité du stockage. Toutefois, les connaissances acquises sur la compréhension de l'endommagement de la roche autour des grands ouvrages et sur la mise en œuvre des ouvrages de scellement n'étaient pas suffisantes [14] pour démontrer à elles seules la maîtrise de la sûreté de ces ouvrages. Aussi, l'ASN [16] estimait nécessaire la réalisation de démonstrateurs in situ destinés à qualifier ces ouvrages. S'agissant en particulier des démonstrateurs d'ouvrages de scellement, l'IRSN constatait à ce stade qu'il n'était pas prévu de démonstrateurs in situ à l'échelle 1 et que les résultats de ceux envisagés ne pourraient pas être disponibles pour le dépôt du DDAC, et estimait que l'Andra devait présenter des concepts de référence plus simples et pour lesquels suffisamment d'éléments probants quant à la démonstration de leurs performances pourraient être réunis à l'échéance du DDAC [16].

Dans son avis sur les commentaires de l'Andra relatifs au rapport de l'IEER transmis en 2012, l'IRSN [REF T2-1] rappelait les positions prises dans ses évaluations précédentes, notamment sur l'homogénéité de la couche hôte et sa recatrisation après endommagement par l'excavation. L'IRSN soulignait également la pertinence de mener des évaluations probabilistes en complément des évaluations déterministes, en particulier pour évaluer l'impact du stockage, dans la mesure où de telles évaluations permettraient de renforcer la confiance dans la maîtrise de incertitudes associées au transfert des radionucléides depuis le stockage vers la surface. Sur la base des autres remarques de l'IRSN, l'ASN [21] concluait que l'examen des réponses apportées par l'Andra n'était pas de nature à remettre en cause le caractère transposable à la ZIRA des observations réalisées dans le LSMHM et réaffirmait

le besoin de démonstrateurs de grands ouvrages, *in situ* à l'échelle 1, en soulignant la nécessité d'adapter le calendrier de réalisation du projet de sorte qu'ils puissent délivrer les éléments de démonstration de sûreté attendus, préalablement à la mise en service de l'installation.

A l'issue de l'expertise par l'IRSN [17] du dossier d'esquisse « Dossier Jesq03 » en 2013 qui présentait des évolutions de concept ainsi que leur impact sur la sûreté de l'installation, l'ASN [18] considérait que l'Andra devait notamment préciser les hypothèses et données qui sous-tendent le nouveau modèle hydrogéologique du site. En outre, l'IRSN estimait souhaitable que les connaissances acquises sur la zone endommagée de la roche autour des ouvrages fassent l'objet d'un examen plus approfondi avant le dépôt du DDAC. S'agissant des méthodes de creusement retenues, constatant l'élargissement de l'usage d'un tunnelier pleine face pour excaver les galeries de liaison de l'installation souterraine, en plus de la descenderie et de la zone centrale, l'ASN [18] considérait alors que l'Andra devait définir, pour le DDAC, le ou les points d'arrêt et les investigations nécessaires permettant de s'assurer de l'absence d'effets rédhibitoires du creusement sur les ouvrages souterrains et les équipements.

Le dossier « Études remises depuis 2009 », élaboré par l'Andra en 2012, portant sur le programme industriel de gestion des déchets (PIGD), sur le modèle de relâchement des CU ainsi que sur les résultats de la campagne de sismique 3D sur la ZIRA, a fait l'objet d'une expertise par l'IRSN. A l'issue de cette expertise, l'ASN [21] concluait que les principes retenus par l'Andra pour établir l'inventaire présenté dans le PIGD étaient dans l'ensemble satisfaisants mais que l'inventaire devait prendre en compte l'ensemble des stratégies industrielles envisagées par les producteurs, en particulier pour ce qui concerne la durée de fonctionnement des réacteurs et leur puissance ainsi que la gestion des combustibles usés du CEA en intégrant les déchets résultant du traitement de ces combustibles et, s'il y a lieu, les combustibles qui ne seraient pas retraités. L'ASN indiquait que la prise en compte dans l'inventaire du PIGD des colis de déchets pour lesquels l'examen du Dossier 2005 n'avait pas fait apparaître de difficulté rédhibitoire était justifiée, sous réserve que la sûreté de stockage de ces colis ait été complètement démontrée. En outre, l'expertise avait permis de mettre en évidence des réserves sur le conditionnement de certains déchets, dont notamment le conditionnement retenu pour les déchets technologiques alpha, ainsi que sur le conditionnement en colis dit C5 des boues entreposées dans les silos de l'atelier STE2 de l'établissement AREVA NC La Hague. Concernant l'ordonnancement de stockage des colis, l'ASN indiquait qu'il était important que les colis placés dans la première tranche soient aussi passifs que possible, c'est-à-dire que leurs caractéristiques soient très peu sensibles aux agressions qu'ils pourraient subir, afin de minimiser les conséquences des incidents qui pourraient survenir durant cette phase et de pouvoir retirer ces colis de manière sûre en cas de nécessité d'intervenir dans les alvéoles. Par ailleurs, l'ASN [21] précisait que l'ordonnancement de stockage des colis devait permettre d'acquérir l'expérience nécessaire pour évaluer et conforter les concepts de stockage retenus.

S'agissant du modèle opérationnel de relâchement des CU, l'ASN [21] concluait que l'évolution de celui-ci ne remettait pas en cause les résultats de l'étude de faisabilité réalisée par l'Andra en 2005.

S'agissant des résultats de la campagne de sismique 3D, l'IRSN [19] relevait la bonne qualité de l'acquisition mais constatait la présence d'anomalies sismiques, pour lesquelles il n'était pas possible de déterminer à ce stade s'il s'agissait d'artefacts inhérents au traitement des données ou d'objets sédimentaires ou structuraux existants. Aussi, le traitement des données méritait d'être poursuivi en vue de statuer sur leur interprétation. L'ASN [21] soulignait que même si ces incertitudes ne mettaient pas en cause la qualité des connaissances acquises par cette campagne, qui confirmait le caractère favorable de la ZIRA pour l'implantation d'un stockage géologique, il était tout de même nécessaire de tenir compte de ces incertitudes en retenant, dans l'évaluation de sûreté, un scénario comprenant une ou plusieurs discontinuités traversant le COX, afin d'évaluer la robustesse du stockage.

A l'issue de l'examen en 2014 du dossier « Ouvrages de fermeture », l'ASN [24] considérait que l'objectif de performance des scellements de galeries de liaison ou d'alvéoles MAVL retenu n'était pas suffisamment ambitieux à ce stade du projet. A cet égard, l'IRSN estimait que l'objectif de perméabilité pourrait ne pas être suffisant en vue d'éviter l'apparition à long terme d'une concentration d'activité plus élevée à la sortie des liaisons surface-fond en cas de défaillance des scellements qui les obturent. L'IRSN observait que cet objectif de performance découlait principalement de la perméabilité de la zone endommagée en paroi des ouvrages et

estimait donc que toute recherche visant à la réduire devait être menée. L'ASN demandait ainsi à l'Andra de poursuivre ses études relatives à la mise en œuvre d'un scellement de galeries avec « coupure hydraulique » en complément de son scellement de référence, afin de viser des performances hydrauliques supérieures pour ce type d'ouvrage. S'agissant des bouchons d'alvéole HA, l'ASN demandait que l'Andra apporte la démonstration de la pertinence pour la phase de post-fermeture de l'option de conception avec insert retenue depuis 2009. Enfin, elle soulignait la nécessité d'analyses complémentaires, prenant en considération les phases hydrauliques transitoires, notamment pour ce qui concerne la sollicitation des scellements par les gaz, et des situations dégradées de fonctionnement de l'installation.

Le potentiel géothermique du site au droit de la ZIRA a fait l'objet d'un rapport de l'IRSN en 2014 [128][129] en réponse à la demande du CLIS de Bure. L'IRSN concluait que les formations géologiques sous-jacentes au COX, notamment les grès du Trias inférieur et du Permien, ne recèlent pas d'intérêt particulier par rapport à d'autres formations ou zones du bassin de Paris.

Sur le « Plan de développement des composants du projet Cigéo » remis par l'Andra en 2015, l'ASN [29] concluait que le calendrier de développement du projet Cigéo ne présentait pas de marge et ne prenait pas suffisamment en compte les incertitudes, qu'elles soient liées à la disponibilité effective des éléments nécessaires aux prises de décisions, aux aléas de chantier, ou à la durée prévisionnelle de la phase pilote. S'agissant en particulier du premier point, l'ASN notait la difficulté à apprécier le degré d'avancement de la démonstration de sûreté dans son ensemble et le caractère suffisant de celle-ci pour passer d'une étape clé de développement à une autre. En outre, l'ASN considérait que la phase industrielle pilote était destinée avant tout à l'acquisition des éléments visant à conforter la démonstration de sûreté nucléaire de l'installation. L'IRSN [28] énumérait en conclusion les attendus techniques principaux du DDAC (présenter des éléments de démonstration de la performance des composants et ouvrages de stockage s'appuyant sur des essais représentatifs, lister les essais de qualification à réaliser pendant la phase pilote et prévoir des rendez-vous d'évaluation institutionnels au-delà de ceux du dispositif réglementaire actuel)

Enfin, concernant le « Dossier d'Options de Sûreté » (DOS), l'expertise de l'IRSN en 2016-2017 [30] a porté notamment sur l'inventaire des colis de déchets susceptibles d'être stockés à Cigéo, sur les données relatives au site de MHM et sur l'évolution des composants du stockage. L'avis de l'ASN [32] remis à l'issue de la présentation devant le GPD et GPU [31] concluait, en particulier, que :

- la méthode retenue pour l'établissement de l'inventaire des déchets à stocker dans l'installation Cigéo retenue par l'Andra était satisfaisante et qu'au stade du DDAC, l'Andra devrait justifier qu'il n'y a pas d'éléments rédhibitoires au stockage des déchets de l'inventaire de réserve. L'IRSN rappelait par ailleurs que le conditionnement d'environ 20 % de l'inventaire des colis n'était pas stabilisé au stade du DOS ;
- s'agissant du site de MHM, l'Andra avait acquis une connaissance détaillée qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage. Des incertitudes demeurent cependant, en particulier concernant la représentativité du modèle hydrogéologique [32]. L'IRSN [30] estimait également nécessaire que l'Andra confirme l'homogénéité de la formation hôte au droit des flexures identifiées par la reconnaissance géophysique, montre la maîtrise de l'endommagement de la roche et l'évolution de ses propriétés hydromécaniques et retienne, dans l'analyse de sûreté, certaines hypothèses et valeurs de paramètres conservatives plus conformes à l'état des connaissances ;
- s'agissant de l'évolution des composants du stockage (colis, matériaux métalliques, cimentaires et argileux), l'Andra avait mené de nombreuses études et a constitué un ensemble important de connaissances à ce sujet, correctement identifié et étudié les perturbations (bactériennes, organiques, salines...) qui pourront affecter la roche hôte ainsi que ceux qui se produiront pendant les transitoires (thermique, hydraulique, mécanique...) résultant de l'implantation du stockage. Néanmoins, des incertitudes, inhérentes à ce stade de développement du projet, demeuraient et des études et justifications complémentaires étaient donc attendues, en particulier concernant les phénomènes de corrosion [32]. Sur ce point, l'IRSN [30] soulignait la nécessité de confirmer le dimensionnement du conteneur des colis HA et des composants de l'alvéole HA. Les autres incertitudes soulignées par l'ASN

[32] concernaient les bétons à bas pH, les critères d'endommagement acceptable de la roche et l'évolution des matériaux argileux durant la phase transitoire hydraulique-gaz. Concernant les perturbations et les phénomènes rencontrés pendant les transitoires, bien que les résultats présentés tendent à indiquer que leur extension devrait être limitée par rapport à l'épaisseur de la roche hôte [32], l'IRSN [30] estimait que des compléments restaient toutefois à apporter pour s'assurer que ces phénomènes et leurs couplages sont pris en compte de manière conservative dans les scénarios d'évolution du stockage.

De manière plus générale, l'ASN estimait que le projet avait atteint globalement une maturité technologique satisfaisante au stade du DOS et que le dossier constituait une avancée significative depuis 2005 [32]. Enfin, outre les attentes déjà identifiées au cours des instructions précédentes, l'ASN estimait que le DDAC devrait avoir un niveau de détail permettant, compte tenu du principe de réversibilité et du développement prévu de l'installation, d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de la partie concernée de l'INB [32].

Annexe T3. Recommandations, demandes et engagements issus des instructions précédentes

Le Tableau T3-1 ci-dessous a été réalisé à partir de celui élaboré à l'issue de l'instruction du DOS et publié en annexe C à la lettre CODEP-DRC-2018-001635 [32]. Les lignes correspondant aux recommandations, demandes et engagements sans lien avec le GP1 ont été ôtées.

Tableau T3-1 : Recommandations, demandes et engagements issus des instructions précédentes et chapitre du rapport en lien avec le sujet.

(cf. page suivante)

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
		1. Référentiels	
		1.1. Référentiels (réglementaire, normatif et technique) et REX (national et international) retenus. (au regard notamment du chapitre II du titre III de la décision relative au rapport de sûreté)	
Jalon 2009	2010-E-17.2	Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain - L'Andra présentera la manière dont elle a exploité et exploitera les connaissances et le savoir-faire acquis au Laboratoire souterrain pour améliorer les activités d'exploitation et d'auscultation dans le futur stockage.	§ 3 à 9
		2. Description de l'installation et de son environnement	
		2.1. Performances des composants du système de stockage (Site ; colis ; composants ouvragés dont scellements ; architecture, dont implantation, répartition de l'inventaire et gestion du pendage) pris isolément puis dans leur ensemble	
Ouvrages de fermeture	2014-D-5	Concernant les objectifs de performance assignés aux différents ouvrages de fermeture : Scellements surface-fond : un essai in situ en vraie grandeur en complément des essais déjà réalisés sera nécessaire pour montrer la possibilité d'atteindre les performances visées.	§8.3, 2024-E15
Ouvrages de fermeture	2014-D-14	[Concernant la faisabilité industrielle de ces concepts d'ouvrages de fermeture :] Scellements surface-fond : un essai in situ en vraie grandeur en complément des essais déjà réalisés sera nécessaire pour vérifier la faisabilité industrielle de ces scellements.	§8.3, 2024-E15
Jalon 2009	2010-E-15.4	Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - L'Andra précisera l'option de scellement de la descenderie et évaluera la robustesse de ce concept en termes de faisabilité et de performance globale.	§2.5.2.5, §8.3, 2024-E15
Jalon 2009	2011-R-4	Présenter les éléments nécessaires à la démonstration de la faisabilité industrielle d'une solution de scellement des galeries et des liaisons jour-fond. Les performances de ces scellements devront être déterminées de manière prudente, en tenant compte de la présence de l'EDZ (excavation damaged zone), des effets éventuels des gaz et des incertitudes sur le degré de saturation du scellement. L'intérêt de procéder, ou non, à la resaturation artificielle des scellements lors de leur mise en place devra être évalué.	§6.3.2, §8.3, 2024-E15 §6.2.1
Ouvrages de fermeture	2014-E-1.2	[Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra expliquera l'apparition des fracturations éparses dans la niche (-445 m) et montrera que l'évolution de ces fracturations dans l'unité silto-carbonatée, le cas échéant, est un phénomène suffisamment maîtrisé pour ne pas remettre en cause la possibilité d'y sceller efficacement les liaisons surface-fond du stockage.	§6.3.1, 6.3.3, §8.3, 2024-E15, 2024-E11, R2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
Ouvrages de fermeture	2014-E-3.1	[Pour ce qui concerne la performance hydraulique des scellements :] L'Andra : - réalisera, pour les différents scellements (alvéoles MAVL, galeries et liaisons surface-fond), des simulations numériques tenant compte de l'ensemble de leurs composants, du contexte poromécanique, de la sollicitation due au gaz et de l'incertitude sur le comportement rhéologique du béton sur les durées considérées ; - justifiera sur la base de ces modélisations la longueur des scellements (noyau et massifs d'appui).	§6.2, §8.3
Ouvrages de fermeture	2014-D-7	[Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :] Comportement à moyen et long terme des scellements : je note à ce titre que votre analyse est encore en cours. Cette analyse devra en particulier être complétée par des simulations numériques d'ensemble tenant compte des couplages hydromécaniques ainsi que des incertitudes sur le comportement différé de la roche et sur la rhéologie du béton aux échelles de temps considérées. Ces simulations devront inclure la sollicitation des scellements par les gaz et prendre en considération les phases hydrauliques transitoires et les situations dégradées de fonctionnement de l'installation.	§6.2, §8.3
Jalon 2009	2011-R-7	Principales perturbations susceptibles d'affecter l'installation de stockage : Compléter les données sur les perméabilités relatives à l'eau et au gaz par des mesures caractéristiques de la formation du Callovo-Oxfordien, et valider, par une expérience en laboratoire souterrain, les résultats des modélisations de transfert de gaz in situ et leurs effets sur les scellements.	§6.1.1, 2024-E10 §6.2.4, 2024- E13, 2024-E14, §8.3 2024-E15
Jalon 2009	2011-R-12	Sûreté après la fermeture du stockage : Améliorer la compréhension du comportement mécanique de la roche, notamment en lien avec les techniques de creusement, et des couplages entre les différents phénomènes.	§6.3, notamment 6.3.4 (post-rupture) et 6.3.5 (THM) §6.2.4, 2024-E13 (transitoire gaz)
Jalon 2009	2011-R-5	Données pour la modélisation des transferts : Poursuivre les travaux de modélisation des écoulements souterrains, afin de mieux apprécier l'évolution de la concentration des radionucléides lors de leur transfert dans les aquifères, préciser dans cet objectif le rôle hydraulique des structures principales identifiées (dont la zone de fracturation diffuse «Marne-Poissons ») et établir l'origine de la salinité des eaux des formations encadrant la formation hôte.	§5.4.2
Jalon 2009	2011-R-17	Sûreté après la fermeture du stockage : Améliorer la connaissance des écoulements souterrains et leur évolution à long terme dans les formations encaissantes au regard des calculs d'impact.	§5.4.2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
Débat Public 4 études	2013-E-3.3	L'Andra présentera, dans le dossier accompagnant la DAC, un modèle conceptuel du milieu géologique du site de Meuse/Haute-Marne, prenant en compte les résultats de traitement et d'analyse de l'acquisition sismique 3D en 2010 sur la ZIRA obtenus entre mars 2012 et la constitution du dossier de la DAC, notamment sur les points suivants : <ul style="list-style-type: none"> · analyse des propriétés globales de transport des corps récifaux du Bajocien et rôle dans le modèle hydrogéologique, · interprétation des anomalies sismiques identifiées : <ul style="list-style-type: none"> · dans l'Oxfordien calcaire à l'aplomb du cours de l'Orge, · sous les corps récifaux du Bajocien inférieur, · dans le Trias au Nord de la ZIRA, · identification et quantification des incertitudes résiduelles (existence éventuelle de failles mineures, potentialités de propagation vers le Callovo-Oxfordien). L'Andra tiendra compte de ces incertitudes pour définir les reconnaissances qui seront réalisées lors du creusement, et pour la stratégie d'implantation de l'installation souterraine de Cigéo. Conformément à sa démarche générale de sûreté, la démonstration de sûreté présentée par l'Andra en appui à la demande d'autorisation de création prendra en compte les incertitudes résiduelles identifiées.	1°- §5.1.2.2 2a° et 2c°- §5.1.2.2, R1 2b°- §5.1.2.2 3°- §5.1.4 Cf. GP3
Ouvrages de fermeture	2014-E-3.2	[Pour ce qui concerne la performance hydraulique des scellements :] L'Andra présentera un concept de scellement pour les descenderies qui tire davantage profit de la hauteur des unités carbonatées de la formation hôte.	§2.5.2.5
Ouvrages de fermeture	2014-D-11	[Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :] Longueur des scellements : le rôle du massif d'appui est prépondérant pour maintenir une condition de « volume constant » pendant la saturation du noyau, ce qui lui permet de développer sa pression de gonflement. La longueur retenue pour les scellements devra être justifiée en tenant compte de cet aspect	§8.3, 2024-E15
Ouvrages de fermeture	2014-D-12	[Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :] Bactéries présentes naturellement ou introduites au moment de la construction du stockage sur les performances des scellements : vous démontrerez que leur activité ne remettra pas en cause la performance des scellements.	NA
Ouvrages de fermeture	2014-D-13	[Concernant la pertinence des concepts retenus pour atteindre ces performances et l'analyse de leur comportement à moyen et long terme :] Composants métalliques du stockage : le dimensionnement des composants métalliques du stockage (chemisage des alvéoles et (sur) conteneurs), des ouvrages de scellement ainsi que des soutènements des ouvrages de grande dimension devra être précisé (rappel d'une demande issue de l'instruction du « dossier 2005	- §7.3, 2024-E12 - §6.3.2, §8.3, 2024-E15

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
Jalon 2009	2010-E-15.2	Pour ce qui concerne l'évaluation des capacités de confinement des différentes barrières du stockage après sa fermeture - L'Andra évaluera les incertitudes concernant le transfert de gaz et le processus de resaturation du stockage et précisera la manière dont elles sont prises en compte dans l'évaluation de sûreté de cette installation.	Prise en compte dans l'évaluation de sûreté après fermeture sera examinée en GP3 §6.2, 2024-E14
PDD	2016-D-012	Concernant les domaines à forts enjeux de sûreté et pouvant conduire à d'importants retours sur conception : la démonstration de performance attendue pour le dossier de demande d'autorisation de création devra justifier du caractère favorable, pour la sûreté, des performances des composants du système de stockage censés participer aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvrages, roche hôte), puis, dans leur ensemble, reflétant les différents aspects de la conception (construction, surveillance...), de l'exploitation et fondée notamment sur des essais in situ réalisés en environnement similaire à celui attendu dans Cigéo afin de permettre de conclure sur le bien-fondé des options techniques qui seront retenues	Performances d'ensemble seront examinées en GP2 et GP3. Tous, de §3 à §9
DOS	2017-E-08	Une reconnaissance directe du Callovo-Oxfordien sera réalisée à l'aplomb de la zone suspectée affaissée dans le Nord de la ZIRA, par exemple par forages à des emplacements stratégiques permettant de lever tout doute sur sa profondeur réelle ainsi que sur le caractère intact de la roche dans les zones présumées flexurées. L'Andra présentera dans le dossier de DAC les premiers résultats de la reconnaissance ainsi que la manière dont l'architecture pourra le cas échéant tenir compte de cette zone si la flexuration était à terme avérée.	§5.1.2, R1
DOS	2017-E-16	L'IRSN considère que l'Andra devra préciser, dans le dossier de DAC, les dispositions technologiques retenues pour la fabrication du chemisage et des conteneurs de stockage de colis de déchets HA, ainsi que pour la fermeture de ces derniers, permettant de limiter les risques de corrosion localisée (corrosion sous contrainte, piqûration et corrosion sous dépôt). L'Andra présentera les éléments de connaissance y compris les résultats des programmes d'essais sur lesquels se fondent ces choix.	§7.3, 2024-E12
DOS	2017-E-19	L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les travaux de son programme de R&D sur la corrosion des aciers, relatifs aux effets d'une activité bactérienne au regard des conditions d'environnement attendues au niveau des alvéoles HA, afin de vérifier que l'activité des bactéries ne remet pas en cause les performances du chemisage et des conteneurs de stockage HA.	Sera examiné en GP3. §7.3
DOS	2017-E-21	L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, un concept d'alvéoles HA, dont la capacité de réalisation et l'atteinte des performances visées s'appuieront sur des éléments de connaissance issus notamment d'essais en vraie grandeur menés au Laboratoire souterrain.	Le maintien de l'alvéole en atmosphère anoxique en exploitation sera examiné en GP2 §6.23.5 §7.3, 2024-E12
DOS	2017-E-23	Le gonflement maximal possible des matériaux cimentaires sous l'effet de l'attaque sulfatique par les sulfates issus des déchets salins sera évalué et le cas échéant il sera vérifié que ce gonflement n'entraîne pas de contraintes mécaniques sur la roche hôte autour des alvéoles MAVL.	§7.2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
		2.2. En particulier, concernant les colis de déchets radioactifs :	
		2.2.1. Inventaire	
DOS	2017-E-01	Le dossier de DAC sera basé sur un inventaire prévisionnel des colis à stocker tenant compte d'un scénario industriel de référence actualisé, notamment en accord avec la stratégie retenue par EDF pour gérer le parc REP et le réacteur EPR (durée d'exploitation des réacteurs, type de combustible chargé).	§3.1
DOS	2017-E-03	L'Andra présentera dans le dossier de DAC l'inventaire des colis à stocker avec la discrimination des marges prises en compte afin d'améliorer la lisibilité de l'inventaire et de mieux apprécier son conservatisme.	§3.2.1 et 3.2.3, 2024-E2
Avis DOS	2018-Avis-D-2	Dans son avis du 11 janvier 2018 [A], l'ASN estime que : a) l'inventaire des déchets à stocker, « basé sur un scénario industriel de 2011, a [...] vocation à évoluer et que l'inventaire des déchets à retenir pour la conception de l'installation qui sera présentée dans la demande d'autorisation de création de l'installation devra être actualisé en prenant en compte les travaux menés dans le cadre du PNGMDR et l'avis de l'ASN du 16 mai 2013 susvisé indiquant notamment que « cet inventaire devrait prendre en compte l'ensemble des stratégies industrielles aujourd'hui envisagées par les producteurs, en particulier pour ce qui concerne la durée de fonctionnement des réacteurs et leur puissance ainsi que la gestion des combustibles usés du CEA en intégrant les déchets résultant du traitement de ces combustibles et, s'il y a lieu, les combustibles qui ne seraient pas retraités. »	§3.1
Avis DOS	2018-Avis-D-3	Dans son avis du 11 janvier 2018 [A], l'ASN estime que : b) « au stade de la demande d'autorisation de création de l'installation, l'Andra doit présenter l'inventaire de réserve retenu, conformément à l'avis de l'ASN du 31 mai 2016 susvisé et justifier qu'il n'y a pas d'élément rédhibitoire au stockage des déchets de cet inventaire de réserve. »	Statut à évaluer au regard de la sûreté en GP2 et GP3. §3.1, 3.3, 9
LdS DOS	2018-D-4	Je vous demande de préciser les hypothèses retenues pour l'évaluation des quantités comptabilisées dans l'inventaire de réserve.	§3.1 et 3.3, 2024-E1
LdS DOS	2018-D-5	Je vous demande de présenter une évaluation des inventaires radiologiques et chimiques des combustibles usés.	§3.5.1 et 3.5.2, 2024-E3

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
LdS DOS	2018-D-6	Je vous demande, conformément au PNGMDR 2016-2018, que des études sur l'inventaire de réserve soient jointes au dossier de demande d'autorisation de création et qu'elles intègrent : - une esquisse des concepts retenus pour l'éventuel stockage des déchets de cet inventaire ; - la démonstration que la conception retenue pour l'installation de stockage dont la création est prévue préserve la possibilité technique de l'accueil des déchets de cet inventaire ; - des éléments présentant les modifications éventuelles à apporter aux installations « support » (descenderies, galeries d'accès, installations de surface, ventilation,...) et de leur impact potentiel sur la démonstration de sûreté de l'installation ; - les jalons d'un programme R&D qui permettrait de disposer, en temps voulu, de la démonstration complète de la sûreté de leur stockage. Ces études devraient permettre d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté pourra, le cas échéant, être confirmée pour les déchets de l'inventaire de réserve. Les éléments pertinents sont à verser à la version préliminaire du rapport de sûreté, conformément à la demande [2018-Avis-D-1].	A poursuivre en GP2 et GP3 §9, 2024-E16
LdS DOS	2018-D-9	Je vous demande également de justifier les marges retenues [pour l'établissement de l'inventaire des déchets radioactifs].	§3.2.1 et 3.2.3, 2024-E2
LdS DOS	2018-D-11	Je vous demande de confirmer le dimensionnement des conteneurs en acier des colis HA et des composants des alvéoles correspondants (chemisage, bride...), à l'égard des phénomènes de corrosion, par des tests en vraie grandeur dans le laboratoire de Meuse/Haute-Marne. À cet égard, les premiers résultats de tels essais doivent être présentés en support au dossier de demande d'autorisation de création, pour consolider notamment le bien-fondé du concept d'alvéole HA en termes de faisabilité et de surveillance.	§7.3, 2024-E12
LdS DOS	2018-D-12	Je vous demande de justifier, pour les massifs d'appui des ouvrages de scellement ainsi que des revêtements des alvéoles MAVL contenant des déchets vitrifiés, le recours à des bétons à « bas pH » dans le stockage, notamment en raison des incertitudes portant sur leur tenue mécanique sur des durées compatibles avec celle de la phase d'exploitation de Cigéo.	§7.2
Risques en exploitation	2014-E-8.4	L'Andra présentera également dans le dossier accompagnant la DAC les modes de stockage retenus ou envisagés pour chaque famille de colis de déchets du PIGD.	§3.6
Risques en exploitation	2015-D-1	Par ailleurs le dossier « maîtrise des risques en exploitation au niveau esquisse » présente une option, qui n'est actuellement pas retenue en référence, mais comme une variante à l'étude, qui consiste à prévoir un stockage direct de certains colis primaires, sans conteneur de stockage additionnel. La mise en œuvre de cette variante serait considérée comme une évolution notable par rapport au « dossier 2009 » et nécessiterait une attention particulière. Une version préliminaire des spécifications d'acceptation pour le stockage sera remise en 2015 par l'Andra dans le cadre des options de sûreté de Cigéo. L'ASN considère que ces spécifications devront fixer des exigences équivalentes de confinement et de récupérabilité des colis pour tous les colis qui seront stockés, que les colis primaires soient inclus ou non dans un conteneur de stockage,	Analyse à poursuivre en GP2 §3.7.1

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
PDD	2016-D-004	Concernant les éléments à prendre en compte dans le processus de développement de l'installation de stockage : les colis de déchets radioactifs étant l'un des constituants du système de stockage, l'Andra doit s'assurer de la bonne articulation entre les études, menées par les producteurs de déchets pour le développement de ces colis, et les études menées pour le développement des autres composants du système de stockage	§3.2.1
DOS	2017-E-02	Pour ce qui concerne les déchets dont le conditionnement ne sera pas défini, l'Andra justifiera dans le dossier de DAC les hypothèses retenues dans la démonstration de sûreté.	§3.2.3, 2024-E2
DOS	2017-E-04	L'Andra présentera à l'échéance de la DAC, une version consolidée des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires à Cigéo, définissant l'ensemble des exigences déclaratives, quantitatives et qualitatives assignées aux colis primaires HA et MA-VL, en cohérence avec la conception et la démonstration de sûreté.	L'analyse sera réalisée dans le cadre du GP2 §3.7.1
		2.4. Démarche de conception et d'optimisation de l'installation, et principes de construction et d'exploitation notamment au regard des exigences attendues pour l'élaboration de la démonstration de sûreté (Titre III de l'arrêté du 7 février 2012 [18] et articles 3.1.6 et 4.1.4 de la décision relative au rapport de sûreté [19]).	
DOS	2017-E-07	L'Andra justifiera dans le dossier de DAC le choix de la profondeur d'implantation du stockage dans le Callovo-Oxfordien sur la base d'un bilan avantages/inconvénients des différentes options en fonction notamment des propriétés mécaniques de la roche et des épaisseurs de garde, au regard de la sûreté de l'installation en exploitation et après fermeture.	L'essentiel de l'analyse est réalisé en GP3 §6.3.1
		3.3. Construction : méthodes de creusement, soutènements, premiers éléments concernant le domaine de fonctionnement et la reconnaissance à l'avancement	
Jalon 2009	2010-E-17.1	Pour ce qui concerne la prise en compte du REX du Laboratoire Souterrain - L'Andra présentera une analyse comparative des techniques de creusement intégrant notamment le retour d'expérience issu du Laboratoire souterrain et justifiera, sur cette base, celles qui seront retenues pour le creusement des ouvrages du futur stockage.	§6.3.1, 6.3.2, 6.3.3, 2024-E11, R2
Esquisse	2013-D-10	l'élargissement de l'usage d'un tunnelier « pleine face » pour excaver les galeries de liaison de l'installation souterraine, en plus de la descenderie et des galeries principales composant la zone centrale des installations souterraines : il conviendra de définir pour la demande d'autorisation de création, si cette solution de creusement est retenue, le ou les points d'arrêt et les investigations nécessaires permettant de s'assurer de l'absence d'effets réducteurs du creusement sur les ouvrages souterrains et les équipements.	Ce sujet sera examiné en GP2 NA

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
PDD	2016-D-006	Concernant l'importance donnée aux composants dont les performances attendues seront reprises comme des paramètres clés dans la démonstration de sûreté nucléaire de l'installation : leur développement doit être suivi avec une attention particulière. Ils sont en effet susceptibles de conduire à des modifications marquées de concepts si la solution de référence retenue jusque-là se montrait insuffisante au regard des objectifs recherchés, lors d'essais de démonstration technique. Au regard des instructions précédemment réalisées, les domaines suivants nécessitent, à ce titre, un suivi particulier : - la tenue et l'impact des grands ouvrages (adéquation des méthodes de creusement, bon dimensionnement des soutènements, caractéristiques de l'endommagement de la roche autour des ouvrages)	Le dimensionnement fait l'objet d'un examen dans le cadre du GP2 §6.3.1, 6.3.2, 2024-E15
		3.4 bis Essais de démarrage	
DOS	2017-E-06	En vue d'asseoir l'évaluation de la stabilité des bâtiments en présence de vides karstiques, l'Andra transmettra dans le dossier accompagnant la DAC : - les moyens mis en œuvre pour la détection des cavités ainsi que les dimensions des cavités susceptibles d'être détectables par ces méthodes ; - les examens complémentaires à conduire lors de l'ouverture des fouilles ; - le cas échéant, les moyens à mettre en œuvre pour supprimer les cavités accessibles.	§4.1.2, 2024-E5, 2024-E6
DOS	2017-E-58	Compte tenu de l'objectif de l'Andra de conduire l'excavation des puits à l'explosif, l'Andra prévoira une reconnaissance des zones d'écoulement au sein des calcaires du Barrois, préalable au creusement de chaque puits ainsi qu'à l'avancement, dans le but d'identifier les éventuels zones d'écoulement reconnues ou possibles, en regard du caractère karstique des calcaires du Barrois, et de définir les besoins de traitement de terrain à réaliser en préalable ou durant la construction pour se prémunir des venues d'eau. La conception de ces traitements tiendra compte des méthodes de creusement et de réalisation des puits. Le revêtement étanche des puits sur toute la hauteur des calcaires du Barrois sera dimensionné vis-à-vis de sa tenue et de sa robustesse pendant la période d'exploitation de Cigéo, en prenant en compte les divers éléments susceptibles de l'altérer dans le temps, y compris les situations extrêmes.	Dimensionnement évalué en GP2 4.1.2, 2024-E5, 2024-E6 §4.2.1 §6.3.3, 2024-E11, R2
		§ Inondation interne et externe	

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
DOS	2017-E-56	Dans le dossier DAC, conformément à l'application du Guide n° 13 de l'ASN, l'Andra : - vérifiera la pertinence de la station de référence qu'elle retient pour les pluies de forte intensité selon une approche régionalisée s'appuyant sur des données issues de stations locales pour lesquelles des données de précipitation pertinentes sont disponibles (incluant EST 6000) et ajustera le résultat si besoin ; - présentera les valeurs de pluies centennales retenues pour les différentes durées prises en compte, correspondant à la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 95% conformément à l'application du guide ASN n°13, et vérifiera leur robustesse vis-à-vis des autres stations présentes localement ; - présentera les hypothèses, données d'entrée et résultats des calculs permettant de s'assurer du bon dimensionnement des différents composants du réseau pluvial et analysera un scénario de ruissellement de surface en considérant indisponible les accès au réseau local d'évacuation des eaux pluviales.	Dimensionnement du réseau pluvial et scénario sont évalués en GP2 §4.2.1
DOS	2017-E-57	Pour la DAC, l'Andra réévaluera le niveau de nappe extrême en intégrant le contexte piézométrique détaillé de la zone descendrière et justifiera de la méthodologie retenue, notamment en regard du guide inondation ASN et des règles de l'art.	§4.2.1
		§ Séisme	
Jalon 2009	2010-E-13.1	Pour ce qui concerne les risques liés aux séismes - L'Andra justifiera son évaluation de la période de retour des séismes associés aux spectres de référence SMS et SMP et les modalités de prise en compte des incertitudes associées aux vitesses des failles.	Périodes de retour évaluées en GP2 et GP3 §5.1.3
		§ Neige et vent	
DOS	2017-E-60	Dans le dossier de DAC, l'Andra : - justifiera le caractère enveloppe du chargement de neige retenu ; - précisera les durées et niveaux d'aléas visés pour les températures retenues en fonction de la nature des équipements à protéger et, le cas échéant, réévaluera les niveaux de températures extrêmes en tenant compte de l'état de l'art disponible et des effets locaux ; - justifiera les marges prises sur la vitesse de vent extrême.	Dimensionnement neige examiné en GP2 §4.2.2, 2024-E8, 2024-E9
		3.4.2. Vieillesse et maintenance	

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
PDD	2016-D-008	Concernant l'importance donnée aux composants dont les performances attendues seront reprises comme des paramètres clés dans la démonstration de sûreté nucléaire de l'installation : leur développement doit être suivi avec une attention particulière. Ils sont en effet susceptibles de conduire à des modifications marquées de concepts si la solution de référence retenue jusque-là se montrait insuffisante au regard des objectifs recherchés, lors d'essais de démonstration technique. Au regard des instructions précédemment réalisées, les domaines suivants nécessitent, à ce titre, un suivi particulier : - le vieillissement des colis de stockage et des alvéoles (vitesse d'altération, adéquation des dispositions de prévention)	Evolution de la roche hôte autour des alvéoles est examinée en GP2 pour phase d'exploitation Evolution des conteneurs en béton au regard de la réversibilité) est examinée en GP2 §6.3, 6.4 §7.3, 2024-E12
DOS	2017-E-24	L'Andra montrera dans le dossier de DAC, que l'impact sur les composants en béton bas pH de la concomitance des perturbations liées d'une part à la carbonatation atmosphérique, d'autre part aux interactions béton/argile (contact avec la roche et/ou l'eau porale du Callovo-Oxfordien), ne remet pas en cause sur toute la durée de l'exploitation la tenue mécanique du béton bas pH du revêtement le cas échéant mis en place au droit des futurs scellements dès la phase de construction et du corps d'alvéole de stockage MAVL de colis vitrifiés.	NA
		3.5.1. Prise en compte des résultats des instructions des dossiers « Ouvrages de fermeture » et « Maîtrise des risques en exploitation »	
Ouvrages de fermeture	2014-D-15	[Concernant la faisabilité industrielle de ces concepts d'ouvrages de fermeture :] Zone d'argilite endommagée à la paroi : la mise en place des scellements nécessitera une dépose totale ou partielle des revêtements en béton et des désordres plus ou moins prononcés pourraient alors apparaître dans les parois des ouvrages. Il convient donc que l'Andra précise comment ces désordres possibles seront pris en compte dans la conception des ouvrages, en particulier dans le cas des scellements à l'extrémité des alvéoles MAVL, pour lesquels les possibilités d'implantation ne pourront plus être adaptées une fois les alvéoles construits. Une définition de l'acceptabilité de la zone d'argilite endommagée en paroi devra en particulier être définie. Cette définition devra présenter des marges pour tenir compte d'un possible sur-endommagement produit lors de la mise en place du scellement (dépose du revêtement...) et d'éventuelles incertitudes résiduelles relatives au comportement différé des ouvrages.	§6.3.2, 8.3 2024-E15
PDD	2016-D-011	Concernant l'importance donnée aux composants dont les performances attendues seront reprises comme des paramètres clés dans la démonstration de sûreté nucléaire de l'installation : leur développement doit être suivi avec une attention particulière. Ils sont en effet susceptibles de conduire à des modifications marquées de concepts si la solution de référence retenue jusque-là se montrait insuffisante au regard des objectifs recherchés, lors d'essais de démonstration technique. Au regard des instructions précédemment réalisées, les domaines suivants nécessitent, à ce titre, un suivi particulier : - la fermeture des différents ouvrages (performance des dispositifs envisagés)"	§8.3, 2024-E15

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
		4. Sûreté après fermeture :	
		4.1. Scénarios (discrimination des scénarios, pertinence, niveaux d'aléa retenus)	
Débat Public 4 études	2013-D-3	L'Andra devra tenir compte des incertitudes résiduelles en retenant à titre de précaution dans son évaluation de sûreté de l'installation de stockage un scénario comprenant une ou plusieurs discontinuités traversant le Callovo-Oxfordien afin d'évaluer la robustesse du stockage, même si la vraisemblance d'un tel scénario peut être considérée comme faible.	Le scénario est évalué au GP3 §5.1.2
DOS	2017-E-29	L'Andra évaluera, dans le dossier de DAC, afin de tester la robustesse du concept de stockage, les conséquences sur la sûreté à long terme d'un scénario conventionnel d'effondrement qui pourrait conduire à une diminution de l'épaisseur de garde saine de roche hôte, au cours de la phase d'exploitation de Cigéo, dans l'installation souterraine à proximité de colis stockés. L'Andra identifiera, le cas échéant, les dispositions complémentaires qui pourraient être mises en œuvre pour limiter les conséquences d'un tel scénario.	Dispositions complémentaires éventuelles (surveillance...) évaluées en GP2 et conséquences potentielles sur la roche en GP3 §6.3.4
		4.3. Analyse des risques d'origine interne et externe	
Débat Public 4 études	2013-E-3.2	Dans le dossier accompagnant la DAC, l'Andra vérifiera le caractère enveloppe du spectre sismique retenu pour la phase après-fermeture vis-à-vis de séismes physiquement plausibles à l'aplomb de la ZIRA dont le foyer se situerait à moins de 10 km de profondeur.	Caractère enveloppe du SMPP évalué en GP3 §5.1.3
DOS	2017-E-64	L'Andra évaluera dans le dossier de DAC, les conséquences, envisageables sur le milieu géologique de séismes survenant après fermeture du stockage, et justifiera de leur prise en compte dans l'évaluation de sûreté après fermeture. Dans ce cadre, l'Andra justifiera le spectre retenu, en regard en particulier d'une part d'une possible évolution des contraintes tectoniques, notamment en lien avec les futures périodes glaciaires, au cours du prochain million d'années.	Conséquences sur le spectre et effet de séismes sur le milieu géologique évaluées en GP3 §5.1.3
		4.4. Modélisation du système (hypothèses, outils, phénoménologie, marges, incertitudes...)	
DOS	2017-E-05	L'Andra justifiera, dans le dossier de DAC le cas enveloppe retenu vis-à-vis de la surrection prise en compte dans les simulations hydrogéologiques qui intègrent l'évolution géodynamique future de site de MHM.	§5.3, §5.4.2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
DOS	2017-E-09	L'Andra, dans le dossier de DAC : - justifiera, pour les scénarios étudiés, les valeurs « de référence » et « enveloppe » retenues pour la porosité cinématique et pour la perméabilité du Callovo-Oxfordien sur la base d'une analyse des incertitudes qui s'appuiera sur l'ensemble des mesures expérimentales réalisées pour ces paramètres ; - évaluera la capacité de confinement globale du stockage en considérant un gradient de charge vertical qui tienne compte de la surcharge hydraulique, afin de disposer d'une estimation enveloppe des transferts des radionucléides, notamment à travers les ouvrages en cas de court-circuit hydraulique de la roche hôte.	Impact reste à évaluer en GP3 §6.1.1, 2024-E10
DOS	2017-E-10	L'Andra précisera, dans le dossier de DAC, la spéciation chimique du sélénium dans les colis de stockage et dans la roche hôte.	A évaluer en GP3 §6.1.2
DOS	2017-E-11	L'Andra prendra en compte dans le dossier de DAC l'influence de la profondeur et de la localisation des ouvrages dans son estimation de la nature et de l'extension de la zone endommagée qui leur est attenante.	Prise en compte des incertitudes résiduelles à évaluer en GP3 §6.3, 2024-E15
DOS	2017-E-12	L'évaluation des valeurs de perméabilité de la ZFC au droit des zones de dépose des revêtements sera assortie dans le dossier de DAC d'une étude de sensibilité à la méthode d'interprétation des mesures utilisée.	Étude de sensibilité évaluée en GP3 §6.3.1
DOS	2017-E-13	L'Andra tiendra compte dans le dossier de DAC de la cicatrisation hydraulique dans les unités lithologiques USC et UT déduite de l'état des connaissances dont elle disposera.	§6.3.1, 6.3.3, 8.3 2024-E11, R2, 2024-E15
DOS	2017-E-15	Le modèle hydrogéologique présenté par l'Andra dans le dossier de DAC tiendra compte, au mieux des connaissances, des propriétés géologiques et hydrogéologiques des formations de l'Oxfordien et du Dogger, en particulier pour représenter : - les horizons poreux et la Série grise de l'Oxfordien ; - les unités du Dogger dans la zone de transposition ainsi qu'au-delà jusqu'aux exutoires potentiels de cette formation.	§5.4.2.2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
DOS	2017-E-17	L'Andra présentera dans le dossier de DAC les résultats des développements et acquisitions de données pour l'établissement des modèles de relâchement des colis de déchets vitrifiés HA, en particulier ceux visant à : - préciser l'influence des matériaux d'environnement sur la phénoménologie d'altération des verres, notamment pour ce qui concerne le passage d'un régime de vitesse initiale à un régime de vitesse résiduelle ; - prendre en compte l'évolution des exigences de température au cœur du verre au moment de l'arrivée de l'eau ; - améliorer la compréhension des phénomènes d'altération des verres par la vapeur d'eau et de l'impact de celle-ci sur l'altération ultérieure sous eau ; - démontrer l'absence d'effet défavorable du matériau de remplissage à l'extrados du chemisage en acier des alvéoles HA sur le comportement à long terme des déchets vitrifiés.	§7.1.3
DOS	2017-E-18	L'Andra présentera dans le dossier de DAC, les études phénoménologiques d'altération des verres MA-VL en milieux cimentaires classique et bas pH pour l'établissement des modèles de relâchement.	§7.1.3
DOS	2017-E-22	L'Andra s'assurera dans le dossier de DAC, que les propriétés de transport assignées aux zones d'argilite endommagée (ZFC et ZFD) dans les évaluations des scénarios d'évolution du stockage soient bien enveloppées des potentiels effets des différentes perturbations chimiques qui pourraient prendre place dans ces zones.	§6.4.4
LdS DOS	2018-D-14	Je vous demande de présenter les conclusions des études relatives à la prise en compte explicite du transitoire de resaturation du stockage par rapport à l'hypothèse supposée pénalisante d'une resaturation immédiate de celui-ci, pour les évaluations quantitatives de sûreté après fermeture.	§6.2, 2024-E14
LdS DOS	2018-D-15	Je vous demande de conforter la justification selon laquelle, au-delà des premiers milliers d'années pendant lesquels les ouvrages de fermeture se saturent, les gaz peuvent traverser aisément et sans dommages des ouvrages de fermeture quasi-saturés.	§6.2, 2024-E14 §8.3, 2024-E15
LdS DOS	2018-D-16	Je vous demande de poursuivre l'amélioration de la représentativité du modèle hydrogéologique afin de préciser la localisation des exutoires possibles des écoulements du site.	§5.4.2.2

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
LdS DOS	2018-D-21	Je vous demande de : - définir et de justifier l'inventaire en toxiques chimiques qui sera considéré ; - montrer la pertinence de l'extrapolation des méthodes d'évaluation de l'impact sur l'homme et l'environnement retenues pour la phase d'exploitation à la phase post-fermeture. L'ASN sera vigilante à la démarche employée pour définir un niveau de risques sanitaires acceptable, ainsi qu'aux hypothèses considérées pour l'évaluation quantitative des risques sanitaires et de l'impact environnemental.	Impacts sont examinés en GP2 et GP3 §3.5.2, 2024-E3
		5. Surveillance	
		6. Réversibilité	
		6.1. Adaptabilité	
		6.1.1. Dispositions prévues par l'Andra, au stade du DOS, pour l'adaptabilité de l'installation, notamment au regard de l'exigence d'adaptabilité définie par l'ASN dans son avis du 31 mai 2016 [20]	
DOS	2017-E-14	L'Andra présentera, dans le dossier de DAC, les éléments de démonstration relatifs à l'adaptabilité de Cigéo au stockage de combustibles usés au regard des dimensions des ouvrages et de leur impact sur la roche hôte.	Adaptabilité en exploitation examinée en GP2 §9
		7. Phase industrielle pilote et calendrier	
LdS DOS	2018-D-8	Je vous demande de présenter la chronique de livraisons des déchets HA et MA-VL en vous basant sur la version à date de l'Inventaire national et en détaillant les colis de la phase industrielle pilote conformément aux demandes [2016-D-14] et [2016-D-15].	§3.4
		7.1. Définition des éléments nécessaires au confortement de la démonstration de sûreté	
Jalon 2009	2011-D-1	S'agissant des ouvrages de grande dimension, je vous demande de m'indiquer sous deux ans dans quel cadre et à quelle échéance un démonstrateur pourra être réalisé pour la qualification d'ouvrages de grandes dimensions. Vous préciserez également le programme d'expérimentations associées et présenterez son articulation avec l'approche de réalisation progressive du stockage que vous envisagez de mettre en œuvre.	NA
Esquisse	2013-D-19	Je vous demande en conséquence de me transmettre sous 6 mois la liste des éléments techniques dont les performances doivent être confirmées par des résultats d'essais ou de démonstrateurs ainsi que leur calendrier de réalisation. Vous différencierez ceux qui relèvent de la demande d'autorisation de création et ceux qui relèvent du dossier de mise en service.	NA

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
PDD	2016-D-002	<p>Au regard des éléments produits dans votre dossier, je considère que le calendrier de développement du projet Cigéo que vous annoncez ne présente pas de marge. En particulier, il ne prend pas en compte les incertitudes relatives :</p> <ul style="list-style-type: none"> - à la disponibilité effective des éléments nécessaires aux prises de décisions à chaque grande étape (demande d'autorisation de création, début de la phase industrielle pilote, passage en exploitation à cadence industrielle...); - à la durée prévue pour les travaux de creusement, entre l'autorisation de création et le début de la phase industrielle pilote, qui semble ne pas tenir suffisamment compte des précautions rendues nécessaires par la singularité du projet Cigéo ; - à la durée prévue pour la phase industrielle pilote qui pourrait ne pas être suffisante pour réaliser et intégrer l'ensemble des essais de qualification attendus. <p>L'ASN a indiqué dans son avis du 25 février 2016 [13], rendu à la suite de l'instruction des études remises au titre du PNGMDR 2013-2015, qu'elle estime nécessaire que l'Andra « actualise le planning projet de Cigéo. Ce planning devra comporter des marges proportionnées aux aléas potentiels et aux incertitudes résiduelles ». Cette actualisation devra intégrer les incertitudes relevées ci-dessus dans l'établissement des marges à faire figurer dans ce calendrier. Vous indiquerez les conséquences sur le fonctionnement du laboratoire souterrain de ce nouveau calendrier</p>	Examiné en GP2 et GP3 NA
PDD	2016-D-003	La question du devenir du laboratoire souterrain, et plus largement du programme de recherche et développement mené par l'Andra en soutien au développement de son projet durant toute la phase de fonctionnement de Cigéo, devra par ailleurs être précisée et sera examinée dans le cadre des instructions à venir, au plus tard au moment de l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'installation	Suite à examiner en GP2 §8.3
	2014-E-1.3	[Pour ce qui concerne la zone endommagée d'argilites au droit des scellements :] L'Andra poursuivra ses investigations pour développer la variante du scellement de galeries avec coupures hydrauliques jusqu'au stade du prototype dans le cadre de la phase industrielle pilote.	§8.1
PDD	2016-D-014	L'Andra devra déterminer de manière précise les essais qui devront être réalisés durant la phase industrielle pilote, les éléments attendus, nécessaires pour conforter la démonstration de sûreté, ainsi que leur durée d'acquisition intégrant des aléas de réalisation pour ces essais, la définition des conditions d'environnement attendues pour leur réalisation, ainsi que l'inventaire des colis de déchets strictement nécessaire aux besoins de cette démonstration et leur chronique de stockage.	A poursuivre en GP2 et 3 §3.4
		8. Etude d'impact	

Dossier	Référence	Demandes / engagements (D&E)	§ du présent rapport relatif(s) à ces D&E (NA : non abordé)
DOS	2017-E-59	Dans le dossier de DAC, l'Andra : - établira un état préliminaire de référence des eaux souterraines ; - identifiera les installations de surface (nucléaires, non nucléaires dont les verses) ; susceptibles de générer des relâchements de substances radiologiques ou chimiques dans les eaux superficielles ou souterraines et dans l'atmosphère, relâchements qui seront identifiés, quantifiés et soumis à autorisation ; et, en regard, présentera les modalités de surveillance (point, fréquence de mesure et paramètres suivis) des nappes des calcaires du Barrois qu'elle propose de mettre en œuvre autour des installations cibles.	Voir en GP2 pour relâchements des installations §4.1.1, 2024-E4, §4.1.3, 2024-E7
		8. Plan directeur d'exploitation	
Lds DOS	2018-D-31	Je vous invite à intégrer dans le PDE, lors de prochaines mises à jour : - Pour la phase industrielle pilote, les éléments pertinents de la réponse à la demande [2016-D-014] relative aux essais, aux résultats attendus et à l'inventaire de colis de déchets ; - Les modalités de passage de la phase industrielle pilote à la phase d'exploitation courante ; - Pour la revue de réversibilité prévue par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, l'organisation et les modalités à mettre en place ; - L'impact du calendrier mis à jour suite à la demande [2016-D-002] sur la conduite du projet ; - Les échéances structurantes de la chronique de livraison des colis de déchets ; - Les principes du programme d'observation et de surveillance associé à la demande [2018 Avis D 27].	A poursuivre en GP2 et 3 §3.4

Annexe T4. Scénarios utilisés pour établir les inventaires

Cette annexe présente les scénarios retenus par l'Andra pour établir les inventaires de référence (SR2) et de réserve (SR1 et SNR enveloppe) de Cigéo au stade de la DAC, ainsi que les scénarios de l'inventaire national des éditions 2018 (SR1, SR2, SR3 et SNR) et 2023 (S1, S2, S3 et S4).

Tableau T4-1 : Scénarios retenus dans la DAC et dans les éditions 2018 et 2023 de l'Inventaire National

	SR1	SR2	SR3	SNR	SNR enveloppe	S1	S2	S3	S4
DAC	x	x	x		x				
IN 2018	x	x	x	x					
IN 2023						x	x	x	x
Production électronucléaire	Poursuite	Poursuite	Poursuite	Arrêt	Arrêt			Poursuite	
Durée de fonctionnement des réacteurs du parc actuel	Entre 50 et 60 ans	50 ans (sauf EPR de Flamanville : 60 ans)	Entre 50 et 60 ans	40 ans (sauf EPR de Flamanville : 60 ans)	Entre 50 et 60 ans			Entre 50 et 60 ans	
Type de réacteurs déployés dans le futur parc	EPR puis RNR	EPR puis RNR	EPR	-	-	Idem SR1	Idem SR3	EPR	Idem SNR
Traitement des combustibles usés	UNE, URE, MOX, RNR	UNE, URE, MOX, RNR	UNE	Arrêt anticipé du traitement des UNE	Arrêt anticipé du traitement des UNE			Arrêt anticipé du traitement des UNE (2040)	
Combustibles usés requalifiés en déchets	-	-	URE, MOX, RNR	URE, MOX, RNR et UNE non traités à date d'arrêt	URE, MOX, RNR et UNE non traités à date d'arrêt			Tous les combustibles usés non traités en 2040	

Annexe T5. Inventaire de référence

Cette annexe présente l'inventaire de référence des familles de colis de déchets HA (Tableau T5-1) et MA-VL (Tableau T5-2). Pour rappel, les catégories d'état de production des familles correspondent à :

- « T » = familles de colis dont la production est terminée ;
- « EC » = familles de colis en cours de production ;
- « F » = familles de colis non produits, mais dont la définition du conditionnement est bien avancée ;
- « AD » = familles de colis non produits, dont le conditionnement est à déterminer.

Tableau T5-1. Inventaire de référence des familles de colis de déchets HA [51]. Le cas échéant, les marges sur les nombres de colis primaires et les volumes de colis primaires sont indiquées entre parenthèses [67].

Identifiant	Descriptif	Etat de production	Conteneur primaire	Nombre de colis primaires (dont marge)	Volume industriel d'un colis primaire (m ³)	Volume total (m ³) (dont marge)
CEA-200	Conteneurs PIVER produits de 1969 à 1981 contenant des solutions de produits de fission SICRAL et PHENIX dans une matrice verre	F	PIVER	88	0,175	15
CEA-350	Conteneurs en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés d'Atalante	F	AVM	5	0,175	0,9
CEA-1070	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits sous spécification d'assurance qualité depuis mars 1995	T	AVM	865	0,175	151
CEA-1080	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits avant 1995	T	AVM	2 294	0,175	401
CEA-1190	Déchets vitrifiés divers (verres de laboratoire) entreposés au bâtiment 213 de l'APM (hors PIVER)	AD	A déterminer	8	0,175	1
CEA-1500	Sources radioactives HA (Cs-137, Sr-90, Pu-238)	F	AVM	7	0,175	1
COG-140	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 016	T	CSD-V	6 900	0,18	1 242
COG-150	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UMo produits suivant la spécification 300 AQ 059	T	CSD-U	800 (69)	0,18	144 (13)
COG-160	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : reliquats de verres UMo	F	CSD-RU	15 (5)	0,18	3 (1)
COG-200	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UOX/URE/MOX	F	CSD-V	24 060	0,18	4 331
COG-800	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 060	EC	CSD-V	19 010	0,18	3 422
COG-810	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres de vidange R7/T7	EC	CSD-V	250	0,18	45
COG-820	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres de calcinats	EC	CSD-V	75 (25)	0,18	14 (5)
COG-830	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres REP/RNR (Superphénix et Phénix)	F	CSD-V	1 095	0,18	197

COG-850	Déchets technologiques issus des ateliers de vitrification conditionnés en conteneurs standards	F	CSD	300 (60)	0,18	54 (11)
COG-870	Capsules de titanate de Sr	F	CSD-TiSr	3	0,18	1
COG-880	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres CU du CEA/Civil	F	CSD-V	11	0,18	2
COG-890	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres CU du CEA/DAM	F	CSD-V	80	0,18	14
COG-900	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU EL4	F	CSD-V	30	0,18	5

Tableau T5-2. Inventaire de référence des familles de colis de déchets MA-VL [51]. Le cas échéant, les marges sur les nombres de colis primaires et les volumes de colis primaires sont indiquées entre parenthèses [67].

Identifiant	Descriptif	Etat de production	Conteneur primaire	Nombre de colis primaires (dont marge)	Volume industriel d'un colis primaire (m ³)	Volume total (m ³) (dont marge)
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870 L	AD	870 L	19 (5)	0,88	18 (6)
CEA-050	Conteneurs 870 L en acier non allié produits sous spécification d'assurance qualité (à partir du 01/01/1994) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	EC	870 L	3 550 (400)	0,88	3 124 (352)
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 L produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	EC	500 L acier	1 250 (150)	0,5	625 (75)
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 L contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	T	500 L béton	43	0,5	22
CEA-080	Conteneurs 870 L en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	T	870 L	2 188	0,88	1925
CEA-090	Conteneurs 870 L en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	T	870 L	562	0,88	495
CEA-100	Conteneurs 870 L en acier non allié contenant des fûts de 700 L de concentrats enrobés dans un liant hydraulique	T	870 L	40	1,1	44
CEA-110	Conteneurs 500 L en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	T	500 L acier	427	0,5	214
CEA-120	Conteneurs 500 L en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	T	500 L acier	210	0,5	105
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 L produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	T	500 L béton	2 297	0,5	1 149
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	T	500 L béton	381	0,5	191

CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m ³	T	5 m ³ béton	19	5	95
CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP	F	EIP	952	0,38	362
CEA-270	Conteneurs 870 L en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM Valduc)	F	870 L	415	0,88	365
CEA-280	Fûts 223 L en acier non allié contenant des boues de filtration entobées dans un liant hydraulique	T	Fût acier	2 149	0,254	546
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 L contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	T	Conteneur acier	169	2,28	385
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 L contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	T	Conteneur acier	11	2,28	25
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1000 L contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	T	Conteneur acier	88	1,04	92
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés (CEA/DAM Valduc)	T	Fût acier	360	0,22	80
CEA-330	Conteneurs 870 L en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques "Pégase"	T	870 L 313 FI	619	0,88	545
CEA-340	Conteneur standard de déchets contenant des effluents amériociés vitrifiés (verre MA-VL Valduc)	F	CSD	150	0,18	27
CEA-360	Déchets issus du démantèlement des objets du coeur de Phénix	AD	A déterminer	781	0,206	161
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	AD	A déterminer	8	0,206	2
CEA-380	Déchets divers contenant du B ₄ C issus des phases d'exploitation et de démantèlement des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	AD	1 500 L	3	1,5	5

CEA-400	Déchets irradiants issus du démantèlement de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de Cadarache et de l'exploitation et du démantèlement du RJH	AD	A déterminer	200 (20)	0,206	41 (4)
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du démantèlement de diverses installations de Saclay	AD	A déterminer	300 (60)	0,206	61 (12)
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du démantèlement de diverses installations de Fontenay-aux-Roses	AD	A déterminer	230 (51)	0,206	47 (11)
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de démantèlement de diverses installations du Centre de Grenoble	AD	A déterminer	40	0,206	8
CEA-440	Conteneurs 500 L en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique	F	500 L	2 000	0,5	1 000
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits "Blocs sources"	T	Conteneur acier	41	3,05	125
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA de Valduc	AD	870 L	40	0,88	35
CEA-480	Colis 223 L pré-bétonnés hors normes	T	Fût acier	50 (12)	0,23	12 (3)
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	EC	EIP	2700 (200)	0,38	1 026 (76)
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	T	EIP	1 709	0,38	650
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995	T	EIP	24 422	0,38	9 280
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	AD	EIP	3 013 (492)	0,38	1 145 (187)
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés	AD	EIP	1 320	0,38	502
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	AD	Fût acier	7 464	0,22	1 642
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	AD	EIP	1 353 (360)	0,38	514 (137)

CEA-1100	Conteneurs 870 L en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha Marcoule)	EC	870 L FI	410	0,88	361
CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	AD	A déterminer	188	0,175	33
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 Marcoule (verres MA-VL)	T	Conteneur AVM	147	0,175	26
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	F	EIP	120	0,38	46
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de démantèlement des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	AD	EIP	60 (10)	0,38	23 (4)
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de démantèlement des chaînes TOP et TOR	AD	A déterminer	450 (16)	0,206	92 (3)
CEA-1180	Fûts alpha 200 L entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 L	T	Fût acier	183	0,23	42
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	AD	A déterminer	50	0,206	10
CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	F	870 L FI	60 (10)	0,88	53 (9)
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	EC	Fût acier	13 100 (400)	0,222	2 908 (89)
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	EC	CBF-C'2	8 117 (1 368)	1,18	9 578 (1 614)
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	T	Fût acier	1 517	1,5	2 276
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	T	CAC	324	1,18	382
COG-070	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des coques et embouts du silo HAO	F	CSD-C	1 527	0,18	275

COG-100	Conteneurs standards de déchets compactés produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	T	CSD-C	6 675	0,18	1 202
COG-110	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	EC	CSD-C	17 850	0,18	3 213
COG-120	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	F	CSD-C	22 720	0,18	4 090
COG-400	Déchets contaminés alpha en provenance de Cadarache, Melox et La Hague conditionnés dans un colis PIVIC par incinération/vitrification	F	PIVIC	1 500	0,283	425
COG-420	Fûts enrobés bitumineux STE2 (reprise partielle silo 550-14)	T	Fût acier	340	0,222	75
COG-430	Boues STE2 séchées, compactées et immobilisées dans un conteneur métallique	AD	A déterminer	14 429 (3 934)	0,268	3 867 (1 054)
COG-440	Fûts ECE cimentés de fines et résines du silo HAO	F	Fût ECE	121	1,5	182
COG-450	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des déchets de structure issus d'assemblages combustibles REP et RNR (Superphénix et Phénix)	F	CSD-C	1 514	0,18	273
COG-460	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des déchets technologiques métalliques et organiques et des déchets de démantèlement	F	CSD-C	500	0,18	90
COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitrifiés (UP2-400, UP2-800 et UP3)	EC	CSD-B	1 680	0,18	302
COG-475	Colis CSD-RB contenant des reliquats d'effluents de moyenne activité vitrifiés (UP2-400, UP2-800 et UP3)	F	CSD-RB	5	0,18	1
COG-480	Colis CBF-C'2 contenant des déchets d'exploitation et de démantèlement (poubelles fosse ATTILA)	EC	CBF-C'2	18	1,18	21
COG-490	Déchets issus des opérations de démantèlement des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 compactés en CSD-C	F	CSD-C	289	0,18	52
COG-500	Déchets issus des opérations de démantèlement des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CBF-C'2	F	CBF-C'2	1 031	1,18	1 217

COG-510	Déchets issus des opérations de démantèlement de l'usine Melox conditionnés en CBF-C'2	F	CBF-C'2	214	1,18	253
COG-530	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des déchets de structure issus du traitement des CU du CEA/Civil	F	CSD-C	24	0,18	4
COG-540	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des déchets de structure issus du traitement des CU du CEA/DAM	F	CSD-C	400	0,18	72
COG-550	Conteneurs standards de déchets compactés contenant des déchets de structure issus du traitement des CU EL4	F	CSD-C	200	0,18	36
COG-560	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en colis Phomix	F	Colis Phomix	4	1,17	5
EDF-080	C1PG ^{SP} de déchets activés d'exploitation REP	EC	C1PG ^{SP}	750 (75)	2	1 500 (150)
EDF-090	C1PG ^{SP} de déchets activés de démantèlement 1 ^e train hors déchets sodés de Superphénix	F	C1PG ^{SP}	350	2	700
EDF-100	C1PG ^{SP} de déchets activés de démantèlement des REP du parc actuel	EC	C1PG ^{SP}	4 700 (235)	2	9 400 (470)
EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	AD	870 L	10	0,88	9
EDF-120	Déchets AMI Chinon	AD	870 L	15	0,88	13
EDF-250	Déchets divers contenant du B ₄ C issus des phases d'exploitation et de démantèlement du réacteur RNR Superphénix	AD	870 L	10	0,88	9
ITER-010	Déchets divers conditionnés en fûts produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	AD	Fût acier	2 366 (390)	0,687	1 625 (268)
ITER-020	Conteneurs cubiques de déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	AD	Conteneur acier cubique	1 158 (188)	1,43	1 656 (269)

Annexe T6. Inventaire de réserve

Cette annexe présente l'inventaire de réserve associé à l'allongement de la durée de vie du parc (Tableau T6-1), aux combustibles usés (Tableau T6-2) et aux déchets FA-VL (Tableau T6-3).

Tableau T6-1. Déchets intégrés à l'inventaire de réserve dans le cas du scénarios SR1 [62].

Identifiant	Descriptif	Conteneur primaire	Nombre de colis primaires	Volume (m ³)
COG-200	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UOX/URE/MOX	CSD-V	5 376	967
COG-800	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 060	CSD-V	4 247	764
EDF-080	C1PG ^{SP} de déchets activés d'exploitation REP	C1PG ^{SP}	120	240

Tableau T6-2. Combustibles usés intégrés à l'inventaire de réserve dans le cas du scénario SNR enveloppe [62].

Identifiant	Descriptif	Nombre de colis primaires	Volume total de colis primaires (m ³)	Volume total de colis de stockage (m ³)
EDF-2000	REP UNE court 100 % irradié (palier 900 MWe)	11 095	2 524	8 604
EDF-2010	REP UNE long 100 % irradié (palier 1300 MWe, N4)	21 110	5 649	19 184
	REP UNE long 100 % irradié (palier EPR)	2 719	728	2 471
EDF-2020	REP URE court 100 % irradié (palier 900 MWe)	1 369	311	1 062
EDF-2030	REP URE long 100 % irradié (palier 1300 MWe)	5 008	1 340	4 551
EDF-2040	REP UNE court sous-irradié (palier 900 MWe)	1 984	451	1 539
	REP UNE long sous-irradié (palier 1300 MWe, N4)	2 496	668	2 268
EDF-2050	REP URE long sous-irradié (palier 1300 MWe)	768	206	698
EDF-2100	REP MOX court (palier 900 MWe) - "G1" à 5,3 % Pu	1 201	273	931
EDF-2110	REP MOX court (palier 900 MWe) - "G2" à 7,08 % Pu	1 749	398	1 356
EDF-2120	REP MOX court (palier 900 MWe) - "G3" à 8,65 % Pu	2 333	531	2 602
EDF-2130	REP MOX court (palier 900 MWe) - "G4" à 9,08 % Pu	6 108	1 390	6 813

EDF-2200	RNR MOX-SPX long - fertile neuf	50	9	25
EDF-2210	RNR MOX-SPX long - fertile irradié	225	42	111
EDF-2220	RNR MOX-SPX long - fissile neuf	405	76	199
EDF-2230	RNR MOX-SPX long - fissile irradié	365	69	180
EDF-2300	Combustibles EL4 - conteneur primaire AA281	2 657	25	122
	Combustibles EL4 - conteneurs C1/C2	10	1	1
CEA-2000	Combustibles à base d'uranium métallique	248	15,9	36,5
CEA-2100	Combustibles "caramel" du réacteur Osiris	136	11,9	26,2
CEA-2210	Combustibles expérimentaux de Rapsodie entreposés au CEA	51	2,6	7,7
CEA-2220	Combustibles expérimentaux du CEA issus du réacteur Phénix	18	0,4	2,4
CEA-2230	Combustibles expérimentaux REP du CEA	87	5,7	15,5
CEA-2240	Combustibles expérimentaux RNR MOX du CEA	1	0,1	0,3
CEA-2250	Combustibles expérimentaux du CEA issus des réacteurs à eau lourde EL3 et EL4	2	0,1	0,3
CEA-2260	Combustibles expérimentaux du CEA expertisés au LAMA	2	0,1	0,3
CEA-2270	Combustibles entreposés à l'INB n°72	18	0,5	3,1
CEA-2300	Combustibles métalliques de la propulsion nucléaire navale	diffusion restreinte	diffusion restreinte	diffusion restreinte
CEA-2350	Combustibles oxydes de la propulsion nucléaire navale	diffusion restreinte	diffusion restreinte	diffusion restreinte
CEA-2400	Combustibles non expertisés du réacteur Phénix	1 366	31,4	183,6
CEA-2500	Combustibles du réacteur Phébus	23	0,5	3,2
CEA-2600	Combustibles du réacteur Cabri	27	0,6	3,6
CEA-2700	Combustibles repris dans le cadre du projet EPOC	56	1,3	8,0

Tableau T6-3. Déchets FA-VL intégrés à l'inventaire de réserve [62].

Identifiant	Descriptif	Conteneur primaire	Nombre de colis primaires	Volume total de colis primaires (m ³)
CEA-6010	Fûts en acier inoxydable issus du reconditionnement de fûts en acier non allié contenant des enrobés bitumineux produits avant 1995	EIP	32 901	12 733
COG-3010	Déchets du silo 130 de La Hague	Fût ECE	1 270	1 904
COG-3020	Déchets du silo 115 de La Hague	Fût ECE		
COG-3030	Déchets issus du traitement des eaux et des combustibles UNGG du décanteur 1	CBF-C2K	374	441
COG-3040	Déchets issus du traitement des eaux et des combustibles UNGG du décanteur 2	CBF-C2K	354	418
COG-3050	Déchets issus du traitement des eaux et des combustibles UNGG du décanteur 8	CBF-C2K	406	479
COG-3060	Déchets issus du traitement des eaux et des combustibles UNGG des fosses 217-01 et 217-02	CBF-C2K	406	479
COG-3070	Déchets issus du traitement des eaux et des combustibles UNGG de la fosse 211-06	CBF-C2K	204	241
CEA-3060	Chemises en graphite utilisées lors de l'exploitation des réacteurs Chinon A2 et A3	CBFK-B	544	2 774
CEA-3070	Tronçons de graphite et fils de selle issus du déchemisage des éléments combustibles utilisés lors de l'exploitation des réacteurs Chinon A2 et A3	CBFK-B	66	337
EDF-3070	Déchets des silos de Saint-Laurent	CS4-graphite	1 400	9 078
CEA-3010	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur G1	CBFK-B	1 000	5 100
CEA-3021	Briques en graphite (empilement) constitutives du modérateur du réacteur G2	CBFK-B	297	1 515
CEA-3022	Briques en graphite (empilement) constitutives des réflecteurs du réacteur G2	CBFK-B	224	1 142
CEA-3031	Briques en graphite (empilement) constitutives du modérateur du réacteur G3	CBFK-B	297	1 515
CEA-3032	Briques en graphite (empilement) constitutives des réflecteurs du réacteur G3	CBFK-B	224	1 142
CEA-3040	Briques en graphite constitutives des réflecteurs de la pile EL2	CBFK-B	48	245
CEA-3050	Briques en graphite constitutives des réflecteurs de la pile EL3	CBFK-B	44	224
CEA-3080	Briques en graphite constitutives des bouchons du réacteur Rapsodie	CBFK-B	11	56

EDF-3011	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Bugey 1	CS4-graphite	1 472	9 544
EDF-3012	Rondins en graphite constitutifs de la protection biologique du réacteur Bugey 1	CS4-graphite	375	2 432
EDF-3021	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Saint-Laurent A1	CS4-graphite	1 838	11 918
EDF-3022	Rondins en graphite constitutifs de la protection biologique du réacteur Saint-Laurent A1	CS4-graphite	500	3 242
EDF-3031	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Saint-Laurent A2	CS4-graphite	1 743	11 302
EDF-3032	Rondins en graphite constitutifs de la protection biologique du réacteur Saint-Laurent A2	CS4-graphite	558	3 618
EDF-3040	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Chinon A1	CS4-graphite	800	5 187
EDF-3050	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Chinon A2	CS4-graphite	1 572	10 193
EDF-3060	Briques en graphite constitutives de l'empilement du réacteur Chinon A3	CS4-graphite	1 908	12 371
AND-7000	Sources de détecteurs ioniques	870 L	6	5
AND-7010	Paratonnerres compactés	870 L	34	30
AND-7020	Déchets de la défense nationale	870 L	2	2

Annexe T7. Déchets et combustibles usés liés au projet NNF

Cette annexe présente les quantités de déchets MA-VL et HA (Tableau T7-1), et de combustibles usés (Tableau T7-2) estimés par l'Andra dans ses travaux relatifs au projet NNF [61].

Tableau T7-1. Estimation des volumes de déchets MA-VL et HA (m³) produits par le projet NNF, en fonction de la stratégie de recyclage retenue.

Types de déchets	Multi-recyclage	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
MA-VL : CSD-C	1 273	710	0
MA-VL : déchets d'exploitation et de démantèlement	2 678	3 219	2 574
Total MA-VL	3 951	3 929	2 574
Total HA	1 872	971	0

Tableau T7-2. Estimation des nombres d'assemblages combustibles requalifiés en déchets, produits par le projet NNF, en fonction des stratégies de recyclage.

Types de combustibles usés	Mono-recyclage	Arrêt du recyclage
UNE	-	18 720
URE	5 295	1 358
MOX	3 712	-
Total	9 007	20 078

Annexe T8. Inventaire radiologique

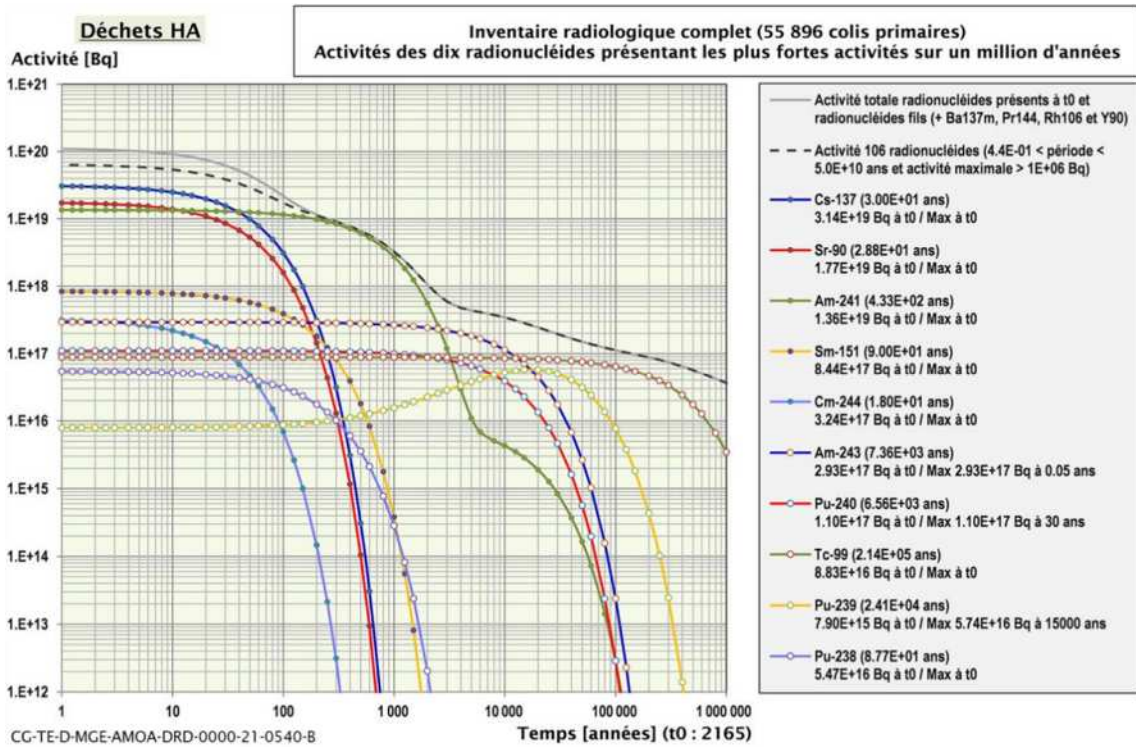


Figure T8-1 : Evolution de l'activité des déchets HA de l'inventaire de référence sur un million d'années après la fermeture de Cigéo [51].

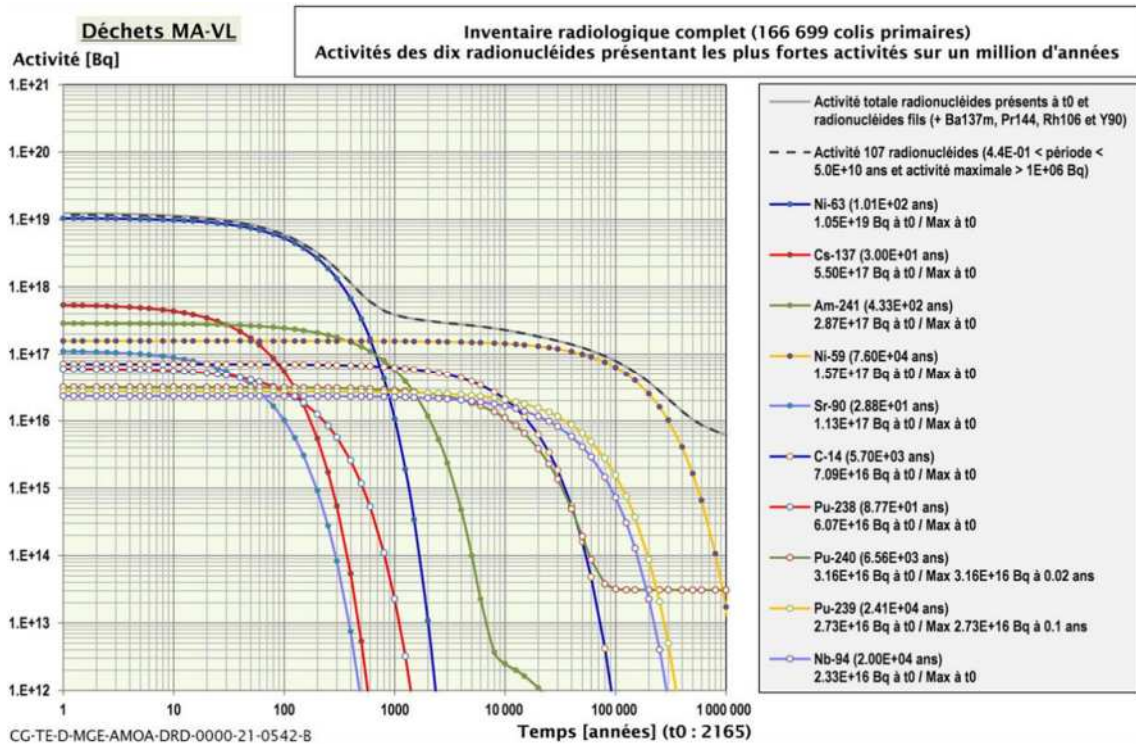


Figure T8-2 : Evolution de l'activité des déchets MA-VL de l'inventaire de référence sur un million d'années après la fermeture de Cigéo [51].

Annexe T9. Caractérisation géotechnique

T9-1. Localisation des investigations géotechniques réalisées dans la zone du futur bâtiment EP1

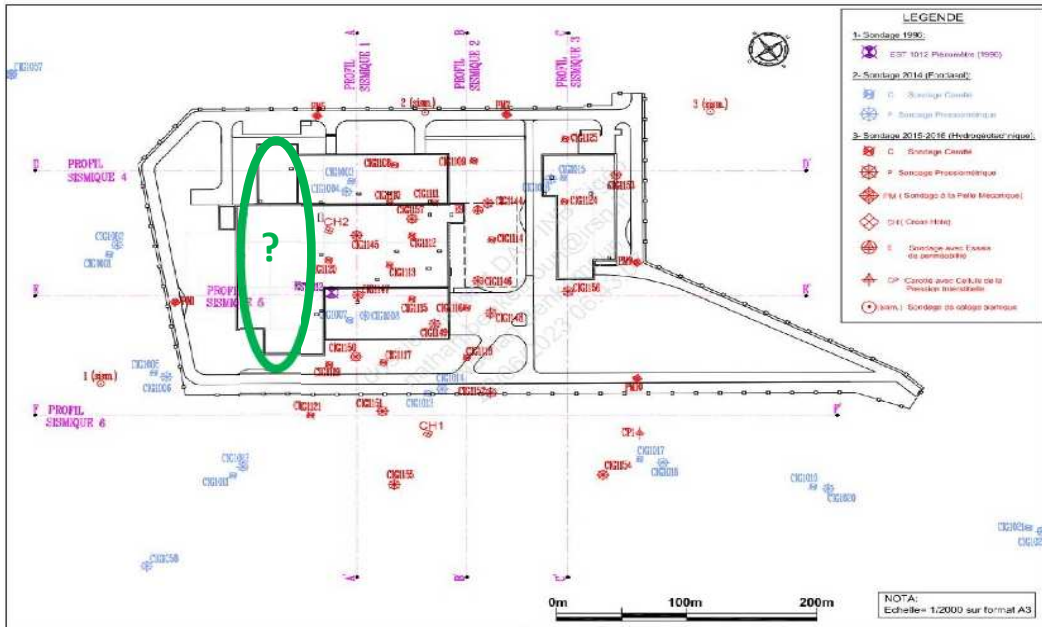


Figure T9-1. Localisation des sondages géotechniques au droit du bâtiment EP1 [90]. En vert, zone exempte de sondage.

T9-2. Résultats des investigations

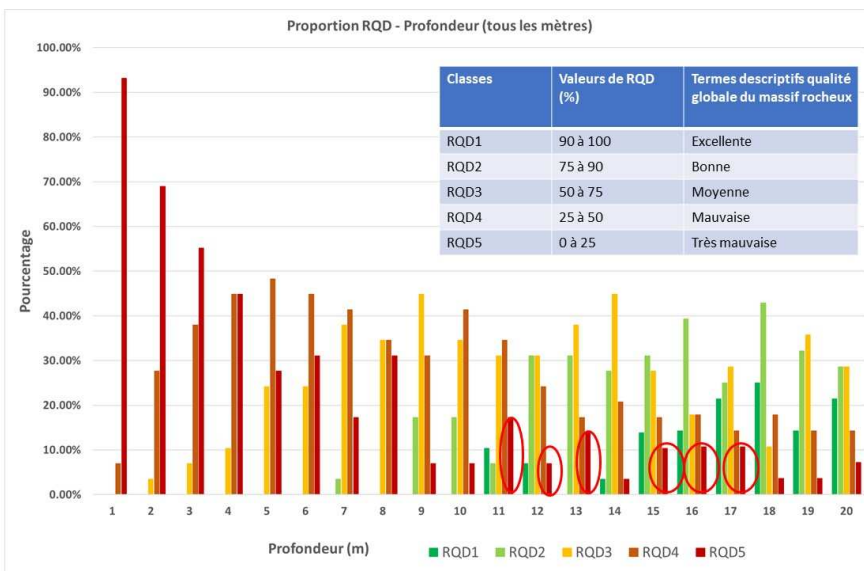


Figure T9-2 : Répartition des RQD mesurés sur les sondages (Recovery Quality Designation)

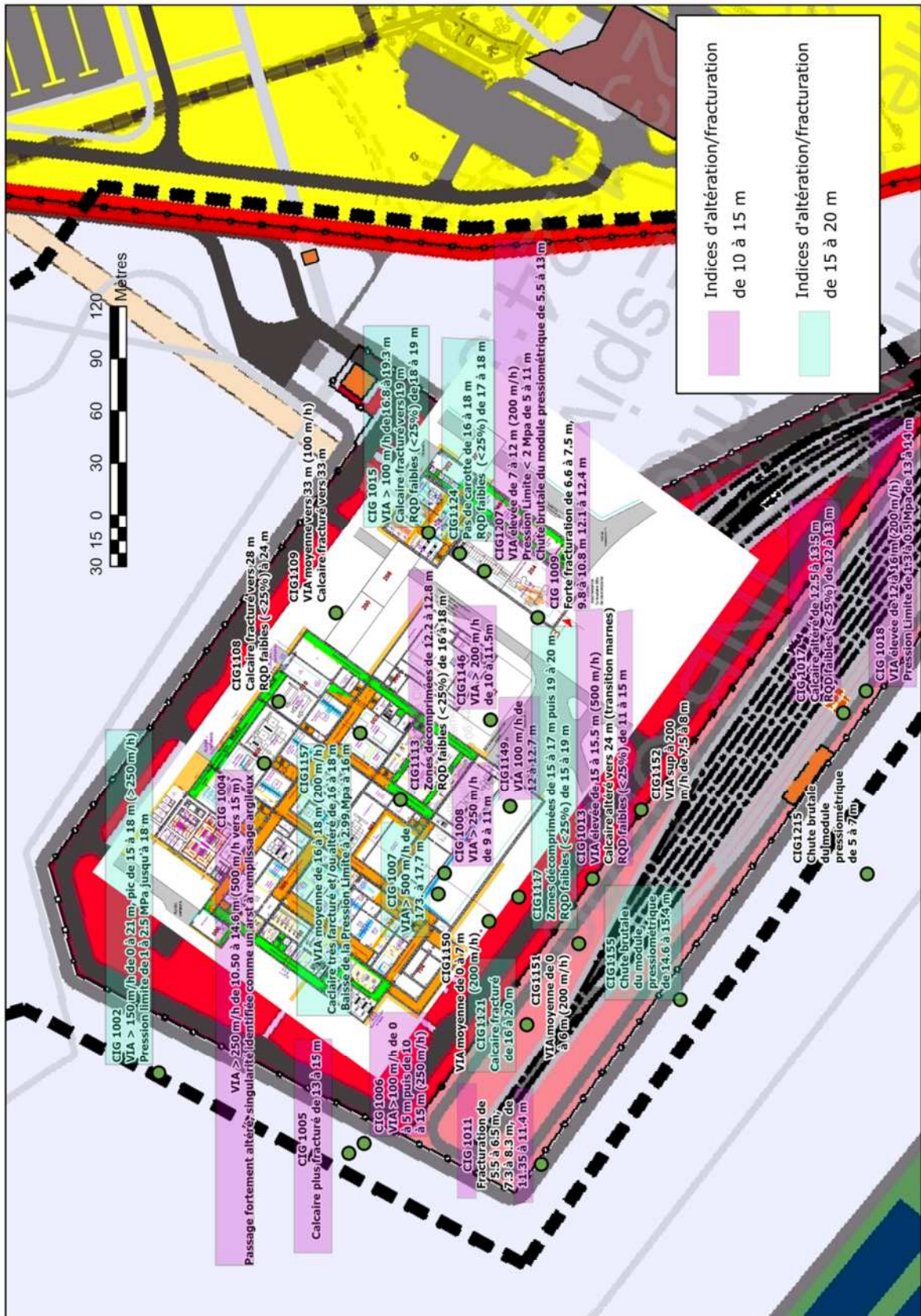


Figure T9-3 : Indices d'altération/fracturation dans les calcaires

Tête de descenderie service

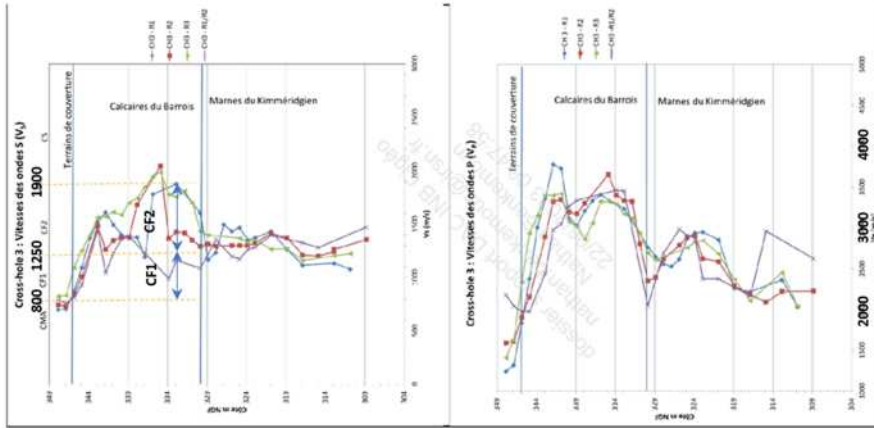


Figure 34 : CH3 – Variation des vitesses V_p et V_s avec la profondeur

Sud Bâtiment EP1

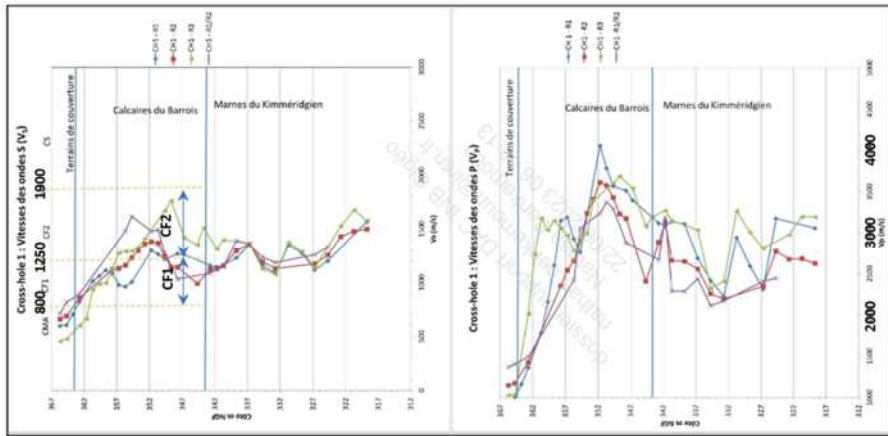


Figure 4 : CH1 - variation des vitesses V_p et V_s avec la profondeur

Bâtiment EP1

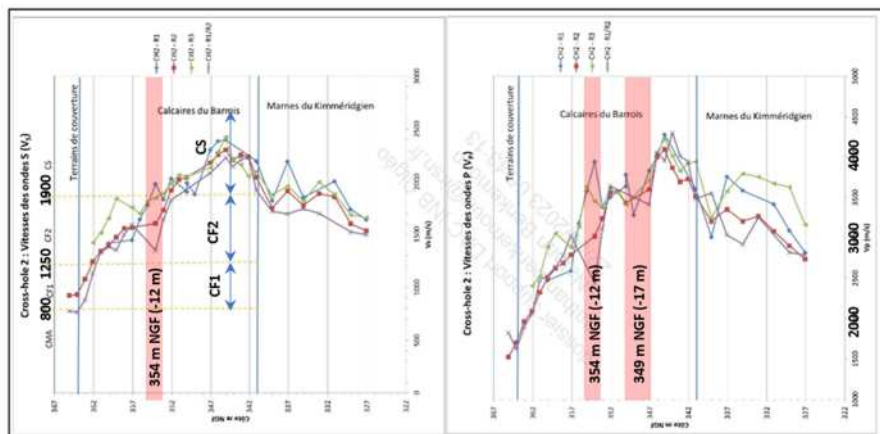


Figure 2 : CH2 - Variation des vitesses V_p et V_s avec la profondeur

Figure T9-4 : Résultats des essais Cross-Hole [89][90]

T9-3. Modèles géotechniques retenus

	Ensemble géomécanique	Bâtiment/Zone concernés	Poids volumique	Caractéristiques pressiométriques		Coefficient de structure du sol	Cohésion	Angle de frottement	Module d'Young Statique	Coefficient de Poisson Statique
			Γ (kN/m ³)	E_m (MPa)	PI^* (MPa)	A ()	C' (kPa)	ϕ' (°)	E_y (MPa)	V (-)
Terrain de couverture	Blocs calcaires dans une matrice argileuse (CMA)	EP1 et descenderie colis	22	18	1.8	0.66	10	30	27	0.35
		descenderie service	22	22	2.5	0.66	10	30	33	0.35
		Zone puits	21	8	1	0.66	5	32		0.35
Calcaires du Barrois	Faciès de calcaires très fracturés (CF1)	EP1 et descenderie colis	24	171	> 5	0.33	50	30	800	0.25
		descenderie service	24	151	> 5	0.33	50	30	1000	0.25
	Calcaires fracturés/altérés (CF1 + CF2)	Zone puits	24	20	2	0.50	70	40		0.25
	Faciès de calcaires fracturés (CF2)	EP1 et descenderie colis	24	526	> 8	0.5	80	40	1500	0.2
		descenderie service	24	501	> 8	0.50	80 (*)	40	1800 (**)	0.20
	Faciès de calcaires sains (CS)	EP1 et descenderie colis	24	1420	> 8	0.5	80	45	4700	0.15
		descenderie service	24	1240	> 8	0.50	80 (*)	45	5700 (**)	0.15
		Zone puits	24	120	5	0.50	120.00	40		0.20
	Marnes du Kimméridgien	Alternances marno-calcaires (MK)	EP1 et descenderie colis	24	507	> 8	0.50	80	45	2200
descenderie service			24	430	> 8	0.50	80 (*)	40	1600	0.27
Zone puits			24	100	5	0.50	100	35		0.2

Tableau T9-1. Modèle géotechnique (paramètres statiques).

	Ensemble géomécanique	Bâtiment/Zone concernés	Vitesse des ondes P (Vp)	Vitesse des ondes S (Vs)
Terrain de couverture	Blocs calcaires dans une matrice argileuse (CMA)	EP1 et descenderie colis	1425	643
		descenderie service	1678	744
		Zone puits	1425	643
Calcaires du Barrois	Faciès de calcaires très fracturés (CF1)	EP1 et descenderie colis	2409	1013
		descenderie service	2296	1005
	Calcaires fracturés/altérés (CF1 + CF2)	Zone puits	2500	1200
	Faciès de calcaires fracturés (CF2)	EP1 et descenderie colis	3509	1492
		descenderie service	3066	1560
	Faciès de calcaires sains (CS)	EP1 et descenderie colis	3806	2152
		descenderie service	3776	2139
Zone puits		3806	2152	
Marnes du Kimméridgien	Alternances marno-calcaires (MK)	EP1 et descenderie colis	2928	1461
		descenderie service	3123	1483
		Zone puits	2928	1461

* en rouge, valeur la plus basse retenue pour l'ensemble géomécanique

Tableau T9-2. Modèle géotechnique (paramètres dynamiques).

Annexe T10. Caractéristiques radiologiques initiales

L'Andra a entrepris [95] depuis les débuts du projet de stockage géologique de réaliser l'état initial radiologique de l'environnement dans le secteur de MHM. Pour cela, des caractérisations des compartiments atmosphérique, pédologique (sol et sous-sol), aquatique (eaux superficielles et souterraines) et biologique (denrées alimentaires et autres matrices environnementales solides) ont été mises en œuvre. Cet état initial radiologique s'est notamment appuyé sur l'Observatoire Pérenne de l'environnement (OPE), créé en 2007 par l'Andra, qui regroupe un ensemble de moyens d'observation et de conservation d'échantillons de l'environnement couvrant 900 km² et ciblant plus particulièrement les aires autour des futures installations de surface de Cigéo, dans l'objectif de caractériser l'environnement de surface avant toute construction des installations, puis de suivre son évolution sur toute la durée d'exploitation.

S'agissant du compartiment atmosphérique, des analyses réalisées en continu depuis 2011 sur des prélèvements d'air, d'aérosols et d'eaux de pluies au niveau d'une station atmosphérique localisée à Houdelaincourt ont montré que les niveaux de radioactivité ambiants, d'origine naturelle (cosmogénique et tellurique) et artificielle, mesurés sur la zone sont du même ordre de grandeur que les niveaux moyens mesurés en France.

Pour définir l'état zéro radiologique des sols et du sous-sol, l'Andra a mené, en plus des campagnes réalisées dans la zone de l'OPE et en collaboration avec divers laboratoires, des campagnes de prélèvements et de mesures du sol entre 2007 et 2013 et du sous-sol (au LSMHM) entre 1994 et 2008. Les résultats obtenus ont permis à l'Andra de conclure que la radioactivité présente dans les sols des aires d'études rapprochées et étendues est à un niveau cohérent avec les formations géologiques auxquelles ils sont associés ou, pour les sols, avec l'historique des retombées d'accidents nucléaires ou des essais nucléaires atmosphériques.

Pour ce qui concerne les eaux souterraines, l'Andra indique que les résultats de campagnes menées entre 2002 et 2020 au niveau de trois forages de surveillance du LSMHM implantés dans l'aquifère du Barrois sont inférieurs aux limites de détection pour le ¹³⁷Cs et le ³H. Des mesures ont également été réalisées en 2015 dans les aquifères de l'Oxfordien (forage MSE101) et du Dogger (forage EST210). Les résultats de mesures d' α_{global} et de β_{global} effectuées sur les eaux des trois aquifères sont faibles et cohérentes avec le bruit de fond naturel du secteur ainsi qu'avec les valeurs publiées sur le site du Réseau National de Mesure de la radioactivité dans l'environnement (RNM).

Enfin, pour ce qui est de la caractérisation du compartiment biologique, différents prélèvements du milieu naturel terrestre (mousse, feuilles d'arbres, herbes, champignons, gibier) et aquatique (poissons, végétaux aquatiques, mousses...) ont fait l'objet de mesures entre 2002 et 2013. De plus, des prélèvements de produits agricoles (miel, viandes, lait, céréales, légumes) ont été analysés lors de deux campagnes réalisées entre 2007 et 2013. Les radionucléides mesurés sont majoritairement d'origine naturelle et les activités des radionucléides d'origine artificielle sont faibles et de l'ordre de grandeur des niveaux nationaux usuellement mesurés.

Au cours de l'instruction, l'Andra a précisé qu'elle considérait comme stable le bruit de fond radiologique dans les eaux, les sols et les matrices biologiques, du fait de l'éloignement actuel de la zone d'étude de toute activité nucléaire. Néanmoins, au vu de l'ancienneté de certaines campagnes de mesures (une quinzaine d'années par exemple dans les matrices de sol) et du fait que certaines méthodes de mesures ont évolué depuis, permettant d'obtenir aujourd'hui une meilleure sensibilité des résultats, l'Andra a indiqué qu'elle envisageait la réalisation d'une nouvelle campagne de mesure du fond radiologique environnemental sur les futures zones d'implantation de Cigéo. Cette campagne, vouée à compléter les données déjà acquises, tiendra compte des nouvelles techniques de mesures des radionucléides et permettra l'établissement d'un état de référence actualisé en vue de la demande d'autorisation de mise en service de l'installation, soit avant l'arrivée des premiers colis.

Annexe T11. Risques d'inondation

T11-1. Comparaison des pluies obtenues sur les stations étudiées

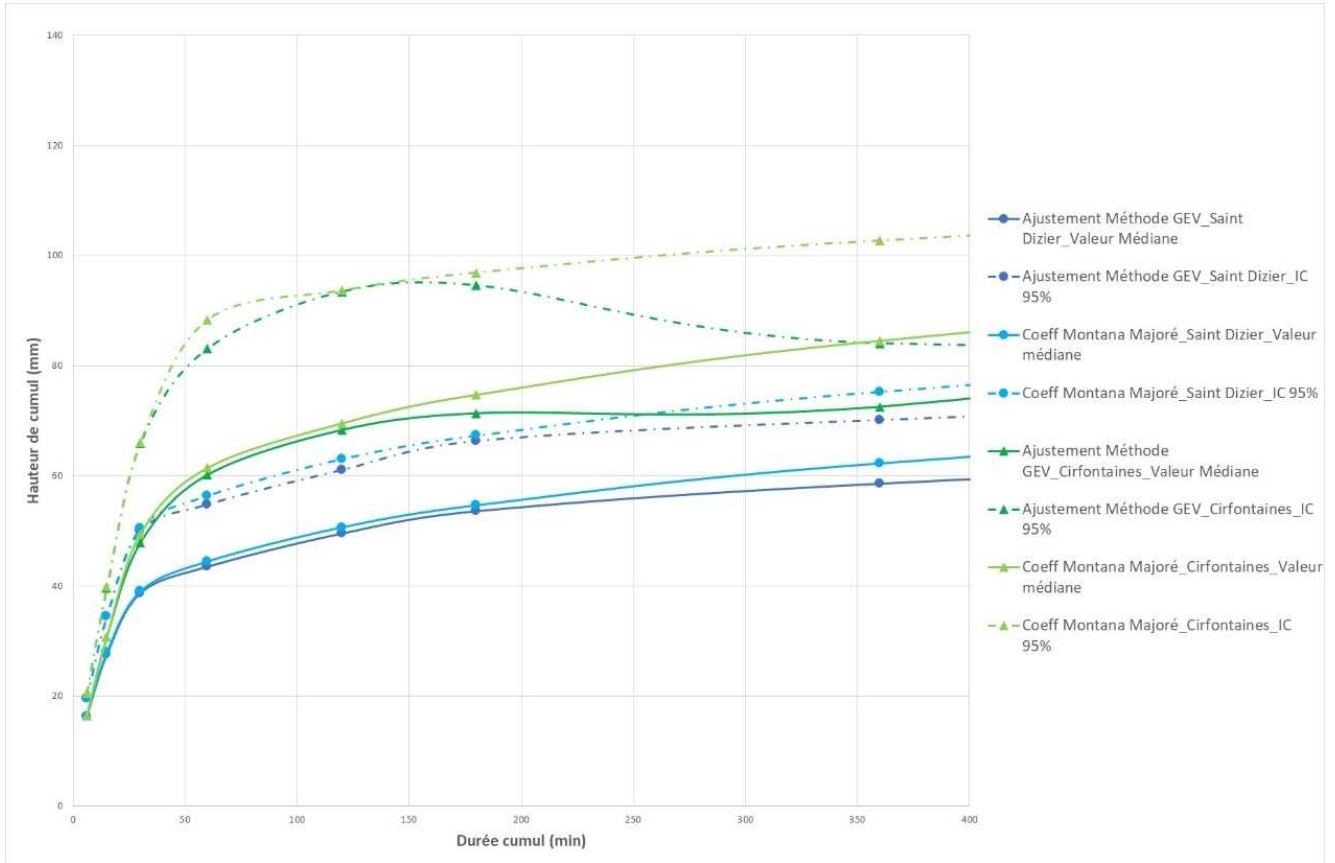


Figure T11-1 : Comparaison des cumuls obtenus par ajustements statistiques et par les coefficients de Montana pour les stations de Saint-Dizier et Cirfontaines [99]

T11-2. Scénario d'indisponibilité du réseau pluvial

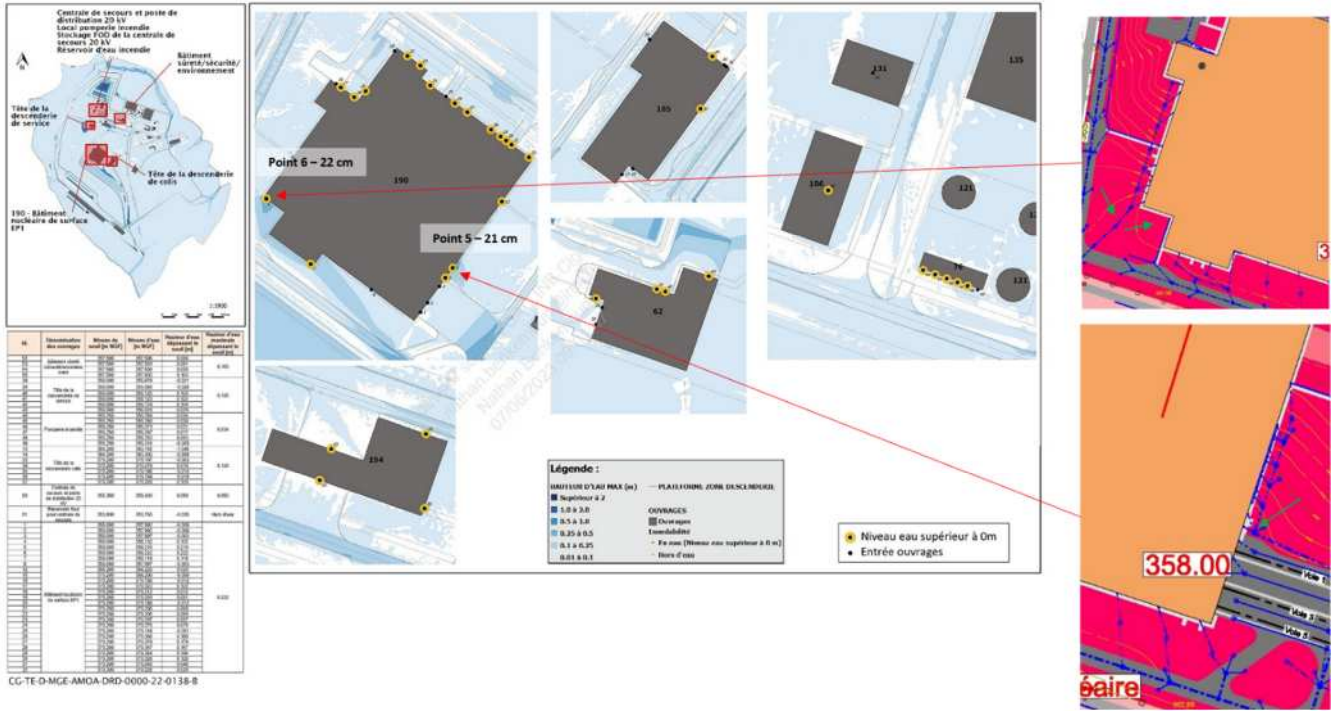


Figure T11-2 : Hauteurs d'eau simulées en cas d'indisponibilité du réseau pluvial au droit de la zone descendrie (transmis au cours de l'instruction)

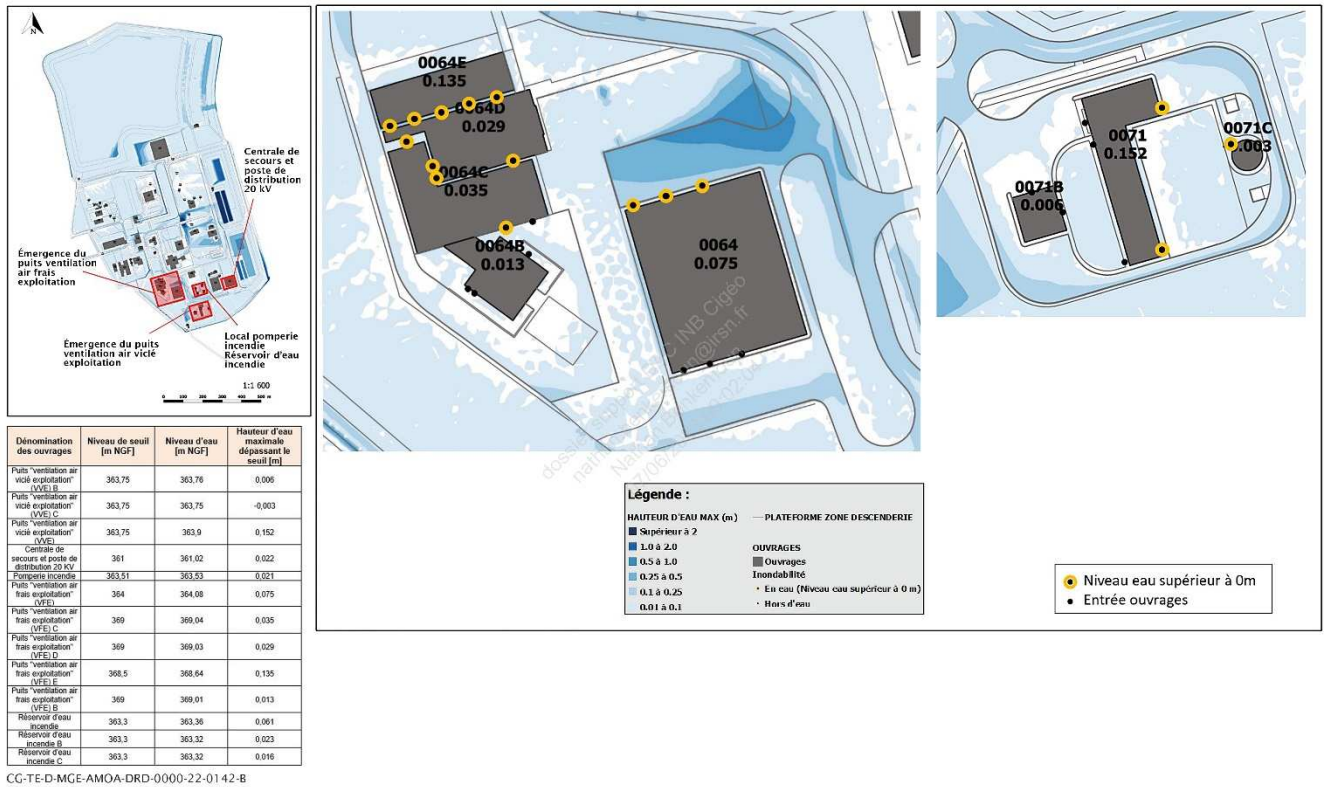


Figure T11-3 : Hauteurs d'eau simulées en cas d'indisponibilité du réseau pluvial au droit de la zone puits (transmis au cours de l'instruction)

Annexe T12. Aléas météorologiques

T12-1. Contre-calculs menés par l'IRSN pour l'évaluation des températures maximales

Au préalable, il convient de noter qu'il n'existe pas de méthode universelle pour évaluer des températures extrêmes dans un contexte de changement climatique. Il existe différentes méthodes statistiques et différentes manières de définir une période de retour dans un contexte instationnaire.

La méthode présentée dans ce chapitre correspond à une estimation des températures avec un modèle local, c'est-à-dire un modèle qui se base sur les données d'une seule station météorologique. Il pourrait également être pertinent d'estimer les températures au moyen d'un modèle régional qui est construit à partir des données de plusieurs stations météorologiques de la région d'intérêt.

L'IRSN a choisi d'ajuster des distributions statistiques GEV (Generalized Extreme Value) sur les températures maximales annuelles de cinq stations (Saint-Dizier, Nancy, Cirfontaines, Busson et Chevillon) afin d'estimer les températures centennales instantanées. La distribution GEV comporte 3 paramètres (position, forme et échelle) en contexte stationnaire ; néanmoins, en considérant l'impact du changement climatique, certains paramètres varient en fonction du temps, ce qui engendre *in fine* une augmentation du nombre de paramètres.

Plusieurs modèles statistiques ont été testés, avec des tendances sur le paramètre de position et/ou d'échelle de la distribution GEV appliquée aux maxima annuels, afin de prendre en compte l'évolution des températures due au changement climatique : modèle stationnaire, modèle instationnaire avec tendance linéaire sans rupture, modèle instationnaire avec tendances linéaires et une date de rupture, etc. En ce qui concerne les ruptures de tendance, la date de rupture la plus probable correspond au maximum de la vraisemblance de la distribution en fonction des années de rupture possibles, avec des modèles stationnaires ou linéaires avant cette date, puis avec une tendance linéaire après cette date.

Le modèle statistique « le plus adapté » est déterminé sur la base de critères statistiques (AIC, BIC, negative log likelihood¹) pour lesquels les différents modèles sont comparés entre eux : il correspond à un modèle stationnaire avant une date de rupture donnée, puis instationnaire linéaire ensuite.

Finalement l'IRSN a choisi de présenter les températures calculées avec un modèle stationnaire et avec un modèle non-stationnaire linéaire après rupture de tendance à des dates d'intérêt définies (2030 et 2045). En effet, la température d'une période de retour donnée varie avec l'année d'intérêt dans l'approche mise en œuvre par l'IRSN.

Enfin, pour l'ensemble des températures, l'IRSN a estimé un intervalle de confiance à 70 % avec la méthode du profil de vraisemblance.

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau suivant.

¹ les critères statistiques permettent de mesurer la qualité d'un modèle statistique (AIC : critère d'information d'Akaike, BIC : critère d'information bayésien)

Tableau T12-1. Contre-calculs de l'IRSN sur les températures extrêmes

Station	Saint-Dizier	Nancy	Cirfontaines	Busson	Chevillon
Nombre d'années de mesure	69	55	54	31	31
Modèle stationnaire - Valeur moyenne	41,6	41,1	40,7	39,6	41,5
Modèle stationnaire - IC70	43,0	43,7	42,5	41,1	43,4
Modèle instationnaire - Valeur moyenne en 2030	43,4	41,2	42,1	42,2	43,5
Modèle instationnaire - IC70 en 2030	44,6	42,4	44,1	44,1	45,7
Modèle instationnaire - Valeur moyenne en 2045	44,8	42,6	43,1	44,2	45,2
Modèle instationnaire - IC70 en 2045	46,1	43,9	45,1	46,6	47,6

T12-2. Records de neige enregistrés à l'échelle nationale

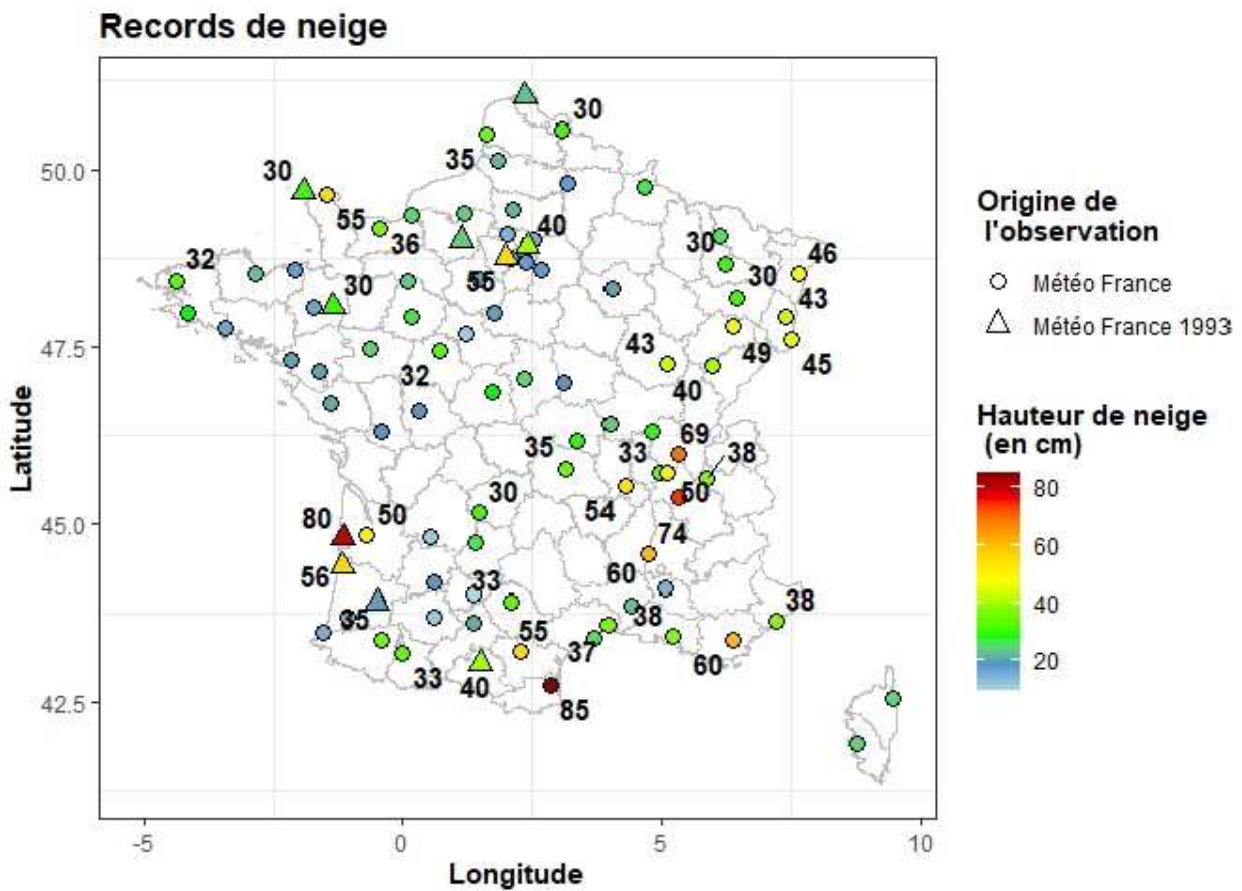


Figure T12-1. Carte des records de neige aux stations Météo-France [104]

Annexe T13. Schéma structural du sud du site de MHM

L’Andra a procédé en 2022 au retraitement et à l’interprétation de l’ensemble des lignes de sismique réflexion pétrolières 2D disponibles sur la ZFD (cf. partie sud du site sur la Figure T13-1). Après une phase de corrections statiques primaires (utilisant les corrélations entre stacks et les stacks réfraction) et une phase de corrections statiques résiduelles (utilisant un modèle géologique basé sur la carte géologique, les carottages VT...), les 17 profils sismiques ont été calés sur les 8 forages qu’ils recoupent puis réinterprétés. L’Andra a réalisé sept cartes des accidents structuraux identifiés, en surface et pour 6 horizons sismiques entre les toits du Buntsandstein et du Dogger [35].

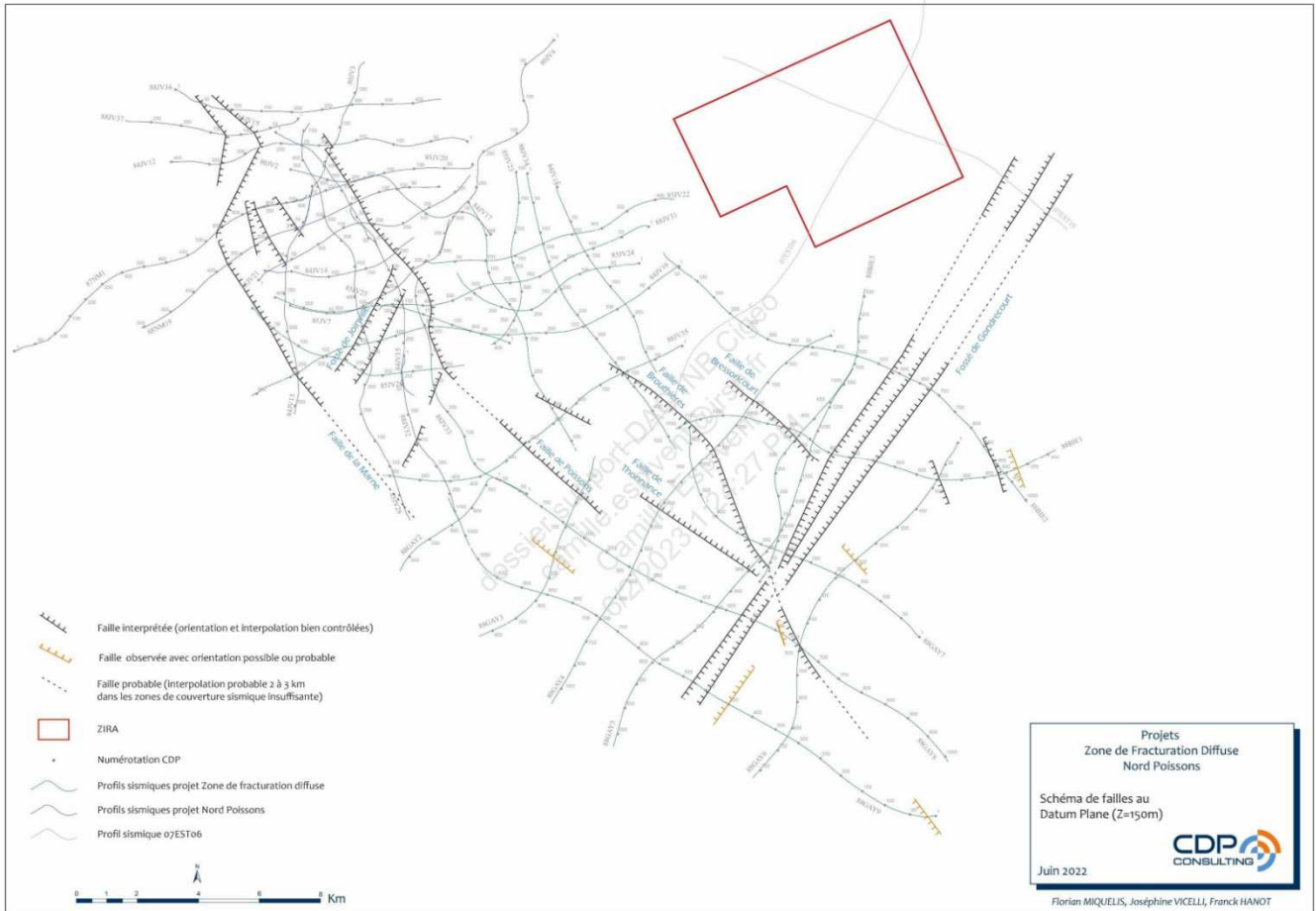


Figure T13-1 : Carte structurale de la ZFD en surface [115]

Le schéma structural actualisé de la ZFD qui résulte de ce retraitement (Figure T13-1) montre principalement une réactivation post-jurassique des failles « profondes »² orientées N155° (Marne, Brouthières, Annonville, segment nord de la faille de Poissons...) et d’origine hercynienne [113]. Ces failles formaient la bordure septentrionale du Bassin sarro-lorrain (cf. chapitre 2.1.2 du présent rapport). Cette réactivation, liée à un serrage nord-sud attribué aux phases pyrénéennes (fin Crétacé à Eocène moyen), est décrochante et conduit d’après l’Andra au développement de failles de relais de type Riedel³, de direction N140° à vergence NE (Brouthières, Annonville,

² Les « failles profondes : ou « failles de socle » sont celles affectant les couches d’âge anté Mésozoïque. Ce sont généralement des roches cristallines, ayant subi de fortes pressions et températures du fait de leur grande profondeur. On les oppose aux « failles de couverture », la couverture désignant les roches sédimentaires du Mésozoïque.

³ Le système de Riedel se forme notamment au sein d’une zone en cisaillement. Dans le modèle classique d’Anderson (1951), la faille fait un angle autour de 30° avec la direction de la contrainte principale, mais les contraintes sont légèrement déviées (≈5-10°) au sein de cette zone de faille. Des failles

...

Bressoncourt, Poissons, Thonnance) venant mourir sur les accidents N155° (cf. (Figure T13-1); le tout forme des structures en fleur, avec un rejet des failles relativement important à la base du Trias mais s'atténuant sensiblement en direction de la surface. D'autres failles orientées N140-N155° sont identifiées à l'est du fossé de Gondrecourt, mais parmi les failles de la ZFD, seule Brouthières traverse et décale le fossé. Concernant les failles orientées N030° (Joinville, Gondrecourt et d'autres structures plus à l'est et à l'ouest), l'Andra [113] émet l'hypothèse que leur mise en place a été amorcée lors des épisodes pyrénéens précités, et que leur forme actuelle en fossé d'effondrement date de la phase d'ouverture oligocène. Dans le nouveau schéma structural, le fossé de Joinville est représenté comme une structure de couverture de type Riedel entourée des failles N140° de la Marne. La Figure T13-2 illustre de l'application, selon l'IRSN, de ce concept à la ZFD. Concernant leur enracinement, l'Andra a identifié des failles orientées N030° ayant un enracinement profond et « des géométries variées des réflecteurs paléozoïques de part et d'autre du fossé » ; l'Andra indique sur cette base qu'« aucune conclusion ne peut être clairement établie sur un héritage d'accidents plus anciens ». L'Andra précise en particulier que le fossé d'effondrement dit de Roches-Bettaincourt (prolongement Sud de Gondrecourt) semble présenter un enracinement plus profond en se rapprochant de la faille de Vittel.

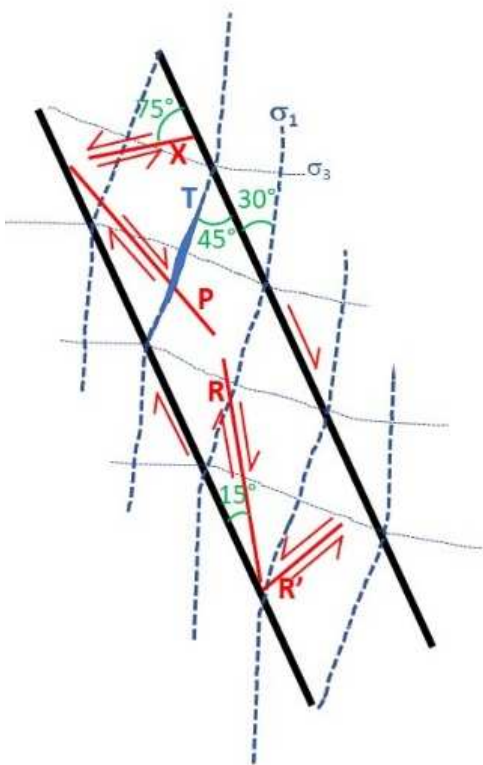


Figure T13-2 :
Application du modèle de Riedel au système de failles de la ZFD selon l'IRSN [REF T13-1][REF T13-2].

synthétiques et potentiellement antithétiques (R1 et R2) se développent à 15° et 75° de la direction de la faille principale. Des fractures en tension (T) peuvent se développer dans une direction proche de la contrainte principale déviée. D'autres fractures cisailantes peuvent apparaître tardivement à 165° de la direction de la faille principale (P).

Annexe T14. Ressources naturelles

T14-1. Matériaux de carrières, substances minérales, charbon et hydrocarbures

Pour rappel, la nature des couches d'âge Mésozoïque constituant les 2 000 premiers mètres du sous-sol du site ainsi que celle des couches du Paléozoïque sous-jacent est présentée dans le chapitre 2.1 (Figure 1) du présent rapport.

Concernant les matériaux de carrières, l'Andra fait état, [81], au sujet des calcaires du Barrois au niveau de la ZT, de petites carrières à ciel ouvert exploitées temporairement et pour des besoins locaux en pierre de construction ou granulats, aucune n'étant active actuellement sur la ZIOS. Par ailleurs, les alluvions sablo-graveleuses produites par les rivières ne sont d'après l'Andra pas suffisantes pour être exploitées.

Concernant les substances minérales, celles-ci ne font l'objet d'aucune exploitation au niveau de la ZT excepté les quelques mines de fer de petite dimension et aujourd'hui abandonnées (fer issu de l'érosion des formations à l'affleurement accumulé sous forme de latérites dans les dépressions karstiques). Les couches de sel du Trias supérieur sont exploitées à l'E et au NE de la ZT (l'exploitation la plus proche se situant à 68 km de la zone).

Concernant le charbon, deux formations en renferment, à savoir (i) la couche du Westphalien, la plus riche (1 à 7% de l'épaisseur de la couche), située aux alentours de 5 200 - 5 600 m de profondeur et présente uniquement dans la partie NW de la ZT et (ii) la couche du Stéphaniens, moins riche (1% de l'épaisseur), située aux alentours de 4 000 - 4 400 m de profondeur. L'Andra précise que ces profondeurs rendent ces formations inexploitable.

Concernant les ressources en hydrocarbures conventionnels⁴, l'Andra indique que les deux gisements les plus proches exploités (par des méthodes conventionnelles) concernent le pétrole à Forcelles (Meurthe-et-Moselle) à environ 54 km à l'ESE de la ZT et le gaz à Trois-Fontaines-l'Abbaye à 39 km au NW. Ces ressources sont toutes deux situées dans le Trias moyen-supérieur, et ont été formées par piège structural à partir d'une roche-mère du Westphalien. L'Andra précise à cet égard ne pas avoir identifié de pièges structuraux susceptibles de retenir des hydrocarbures sur la ZT. Enfin, l'Andra indique que les formations du Permien sont dépourvues de toute matière organique et, s'appuyant sur [REF T14-1] et sur les connaissances acquises en termes d'enfouissement passé des couches géologiques du secteur, que les roches-mères du Toarcien, situées actuellement à environ 1 000 m de profondeur à l'aplomb de la ZT, n'ont jamais atteint les conditions de la fenêtre à huile.

T14-2. Géothermie

En 2005, l'IRSN considérait comme l'Andra qu'il n'existait pas de potentiel géothermique exceptionnel rentable, aux conditions technico-économiques de l'époque, à l'aplomb de la ZIOS, même dans l'aquifère le plus producteur du Trias, pour des raisons de salinité excessive et de faible capacité de production d'eau.

En 2007, dans le cadre du programme TAPPS, le forage EST433 de 2 000 m de profondeur a été mis en œuvre sur la commune de Montiers/Saulx (cf. Figure 1) au centre de la ZT, avec parmi ses objectifs la reconnaissance des réservoirs du Buntsandstein (Trias inférieur ; cf. Figure 1) et caractérisation de leur potentiel géothermique. Un gradient géothermique normal (3°C par 100 m) et des caractéristiques hydrauliques peu propices à une exploitation de l'aquifère atteint par ce forage ont conduit l'Andra à considérer cette ressource comme non exceptionnelle [40].

En 2013, lors du débat public relatif au projet Cigéo, l'IRSN constatait [127] l'existence probable d'une ressource de type « Basse Energie » (BE) dans le Trias inférieur mais estimait que la rentabilité, voire la faisabilité d'une

⁴ L'IRSN rappelle que les hydrocarbures sont produits par la maturation de la matière organique piégée dans les roches. Selon la profondeur de la roche qui les emmagasine, ils peuvent correspondre à des schistes bitumineux (roche immature : la température et la pression atteintes n'ont pas permis la transformation de la majeure partie du kérogène en hydrocarbures liquides), à du pétrole (atteinte de la "fenêtre à huile", généralement à plus de 60°C c'est-à-dire généralement à plus de 2 000 m de profondeur) ou à du gaz (atteinte de la "fenêtre à gaz", au-delà d'environ 130°C, c'est-à-dire 4 000 m de profondeur). Deux catégories de ressources en hydrocarbures peuvent être distinguées selon leur procédé d'extraction. Les ressources exploitables par des méthodes dites « conventionnelles » (Hydrocarbures Conventionnels, HC) font l'objet d'une exploitation dans des formations « réservoir » poreuses et perméables. Les ressources dites « non conventionnelles » (Hydrocarbures Non Conventionnels, HNC) sont celles dont l'exploitation requiert des techniques visant à accroître la perméabilité de la roche, par exemple par fracturation hydraulique : il s'agit d'hydrocarbures piégés dans des formations de faible porosité et perméabilité, c'est-à-dire soit dans des roches mères, soit dans des roches en général légèrement plus poreuses et perméables dans des couches adjacentes.

exploitation géothermique dans le Trias ou dans le Permien étaient incertaines dans le contexte technico-économique du moment. En effet, la forte salinité naturelle de l'eau de l'aquifère (180 g.L⁻¹) impliquerait un important potentiel de corrosion des équipements. De plus, la réinjection de saumures froides dans le même aquifère ou même dans un aquifère moins profond, si une telle réinjection était autorisée, poserait des problèmes techniques de colmatage des équipements du fait de la précipitation de sel et de colloïdes de fer et de silice, comme cela avait été constaté sur d'autres sites [81][130]. L'IRSN concluait qu'il n'y avait pas de raison de considérer le potentiel de type BE comme exceptionnel et concluait qu'au regard des critères définis par l'ASN, le potentiel géothermique du secteur de MHM n'était pas de nature à remettre en cause le choix du site d'implantation du projet Cigéo.

Enfin, au stade du DOS, l'IRSN observait qu'il n'avait pas été reconnu, sur l'imagerie géophysique réalisée dans le secteur de MHM, de traces permettant d'identifier une activité volcanique actuelle dans les couches sous-jacentes au Trias, qui aurait pu modifier à plus grande profondeur le gradient géothermique normal de 3°C/100m et constituer un intérêt du point de vue géothermique. L'IRSN confirmait sur cette base l'absence d'intérêt économique marqué du secteur de MHM par rapport à d'autres parties du territoire français sur lesquelles un potentiel géothermique était démontré du fait de l'augmentation rapide de la température avec la profondeur (cas par exemple de l'exploitation à Soultz-sous-Forêts dans le Bas-Rhin).

T14-3. Hydrocarbures « non conventionnels »

L'Andra fournit, dans le dossier de DAC [81], le même argumentaire pour les hydrocarbures non conventionnels (HNC) que pour le potentiel en hydrocarbures conventionnels présenté *supra* (i.e. absence de pièges structuraux, Permien dépourvu de matière organique...) pour conclure à une probabilité extrêmement faible de ce type de ressource dans le secteur de MHM. L'Andra indique en particulier que « *les argiles et schistes-carton datés du Toarcien n'ont jamais atteint, au cours de leur histoire géologique, les conditions nécessaires pour générer des hydrocarbures* ». Elle ajoute enfin que pour le Stéphanien et le Westphalien, leur exploitation requerrait l'utilisation de techniques d'extraction actuellement interdites en France⁵.

L'Andra mentionnait au stade du DOS les recherches actives dans le monde pétrolier pour tenter d'extraire les hydrocarbures de faible maturation (cas du Toarcien en MHM) par cracking thermique *in situ*. L'IRSN concluait lors de l'examen du DOS [30] que même en cas d'avancées technologiques notables sur l'extraction de cette ressource, celle-ci ne présentait pas *a priori* de caractère exceptionnel étant donné le caractère répandu en France de zones où les schistes cartons ont atteint un niveau de maturation potentiellement plus important. Enfin, l'IRSN partageait également le constat selon lequel quoi qu'il en soit des ressources potentielles, la fracturation hydraulique est une pratique aujourd'hui interdite en France, ce qui rend impossible toute exploitation d'HNC. L'IRSN suggérait cependant [30] que l'Andra mène une évaluation quantitative de la ressource en hydrocarbures en TEP (Tonne Equivalent Pétrole) afin d'appuyer ces conclusions, en comparant par exemple cette valeur aux ressources d'hydrocarbures estimées sur l'ensemble du Bassin du Paris.

⁵ La loi n° 2011-835 du 13 juillet 2011 interdit la fracturation hydraulique et la loi n° 2017-1839 du 30 décembre 2017 interdit la recherche et l'exploitation des HNC.

Annexe T15. Evolution géoprospective du site de MHM

T15-1. Modèles d'évolution géodynamique

Surrection tectonique

La carte « *maximaliste* » (Figure T15-1, gauche) a été établie en considérant que les taux de surrection survenus au Quaternaire sont équivalents aux valeurs d'incision des rivières, évaluées dans les vallées du Tertiaire à partir d'une compilation de nombreuses données acquises jusqu'en 2008 sur les relations géométriques des terrasses alluviales. Les taux de surrection ainsi obtenus sont de l'ordre de 60-80 m/Ma sur le secteur de MHM, les valeurs pouvant dépasser les 180 m/Ma à 90 km au nord-nord-ouest du site.

La carte de surrection « *réaliste* » (Figure T15-2, droite) différencie pour sa part le taux d'incision des vallées du taux de surrection tectonique, en considérant que les massifs périphériques du bassin de Paris s'étaient en partie formés antérieurement à l'incision. Les valeurs d'incision sont corrigées des influences de l'eustatisme et de l'impact des captures de rivières⁶. Des données acquises sur le bassin de l'Aube permettaient au stade du DOS de corrélérer les bassins de la Marne et de la Seine et de dessiner un axe NE-SW de surrection au nord-ouest du site, avec une surrection de l'ordre de 25 m/Ma sur le secteur de MHM et de moins de 50 m/Ma au nord-nord-ouest.

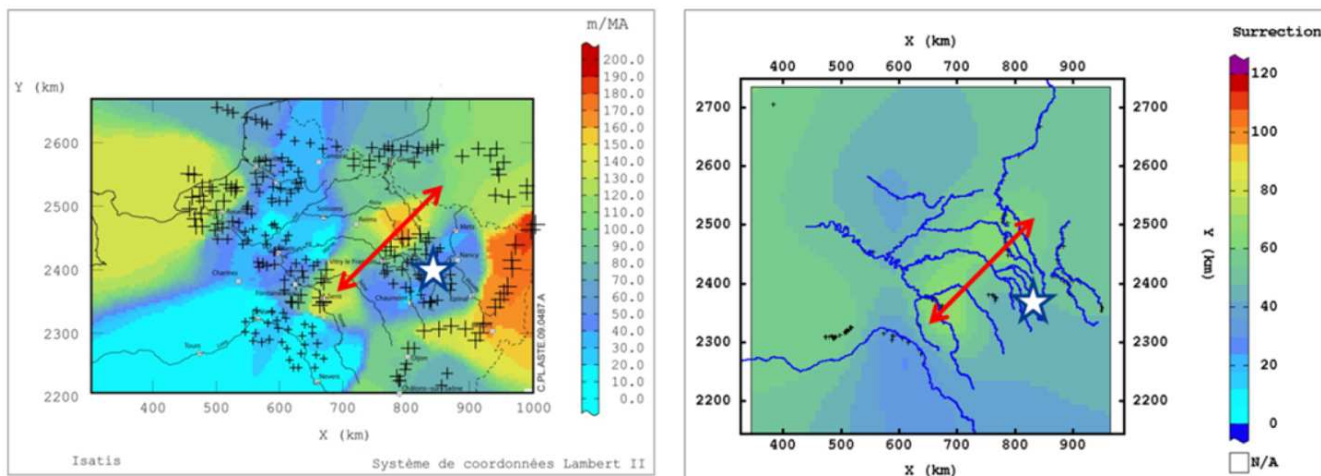


Figure T15-1. Modèles de surrections tectoniques « maximaliste » (gauche) et « réaliste » (droite) retenus par l'Andra. A noter que les échelles associées sont différentes. L'étoile correspond à l'emplacement de la ZIOS [133].

⁶ L'érosion régressive d'une rivière au niveau de sa source peut conduire à un rapprochement d'une autre rivière. Cette « capture » par la seconde conduit généralement à un fort accroissement de l'incision au niveau de la première rivière.

Géomorphologie du site de MHM à l'état actuel et à 1 million d'années

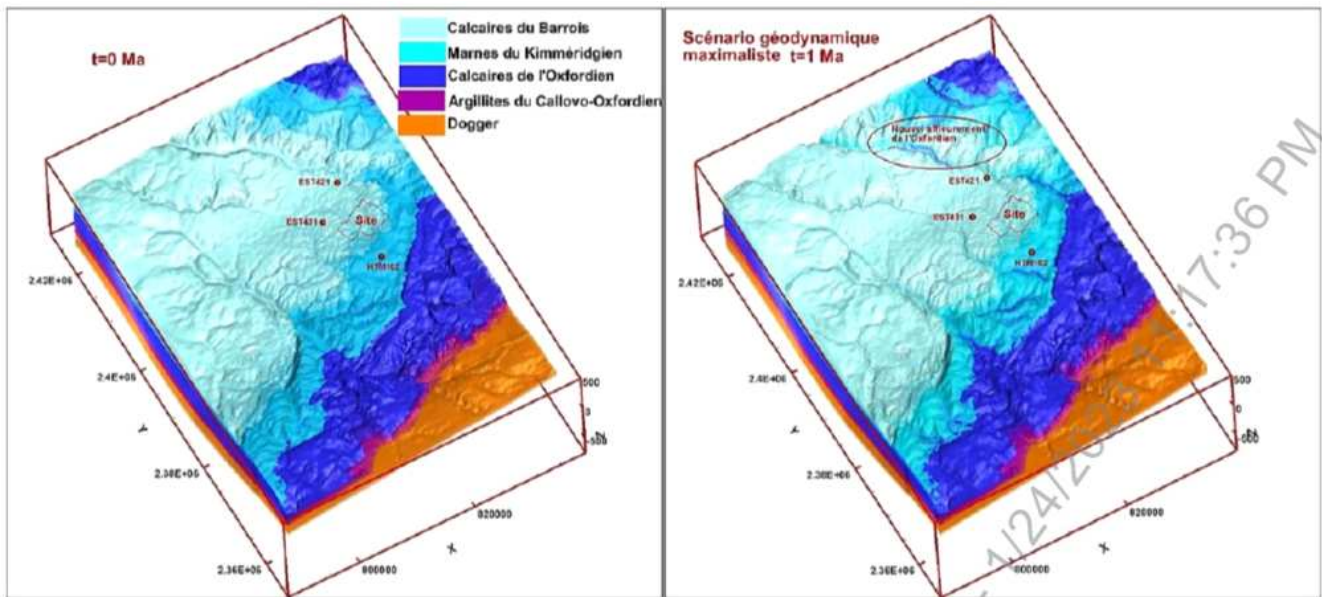


Figure T15-2 - Bâti géologique 3D de l'état actuel du site (gauche) et état à 1 Ma selon le scénario d'évolution géodynamique maximaliste (droite) [137]

T15-2. Simulations hydrogéologiques géoprospectives de l'Andra

Scénario d'évolution géomorphologique basé sur la carte de surrection « réaliste »

Il s'agit du scénario d'évolution géomorphologique « phénoménologique » d'après la terminologie utilisée par l'Andra dans le DDAC.

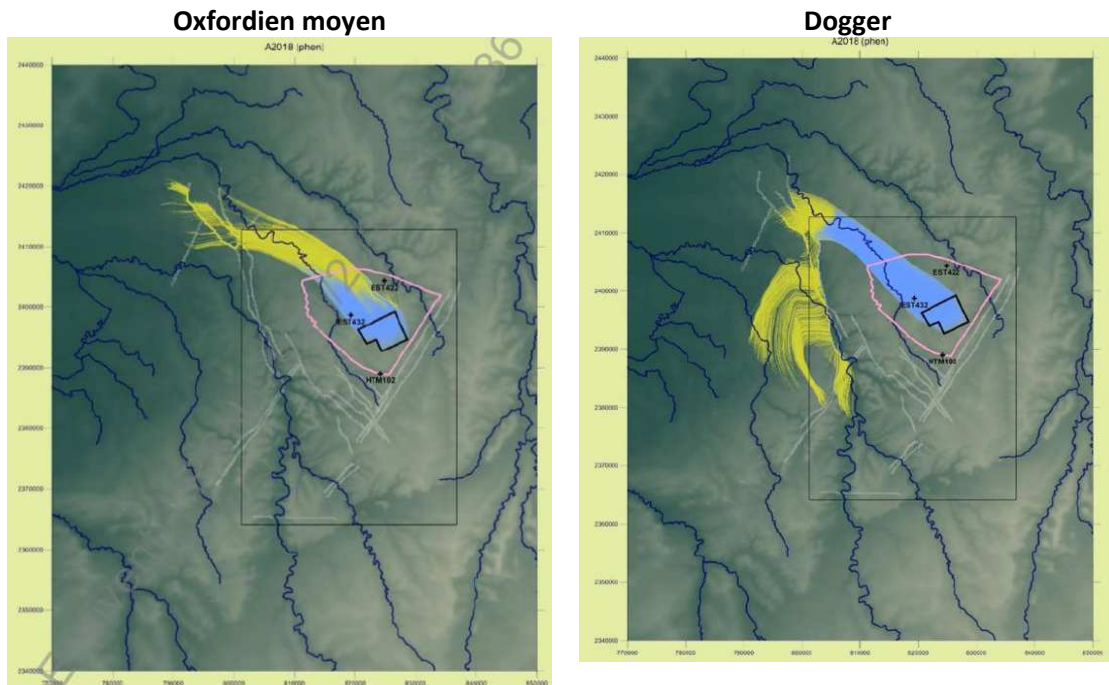


Figure T15-3. Trajectoires du panache de particules relâchées à 400 ka dans les encaissants selon un scénario d'évolution géomorphologique basé sur une surrection « réaliste ». Calculs considérant la porosité totale (bleu) ou une porosité cinématique égale à 40% de la porosité totale (jaune) [137]

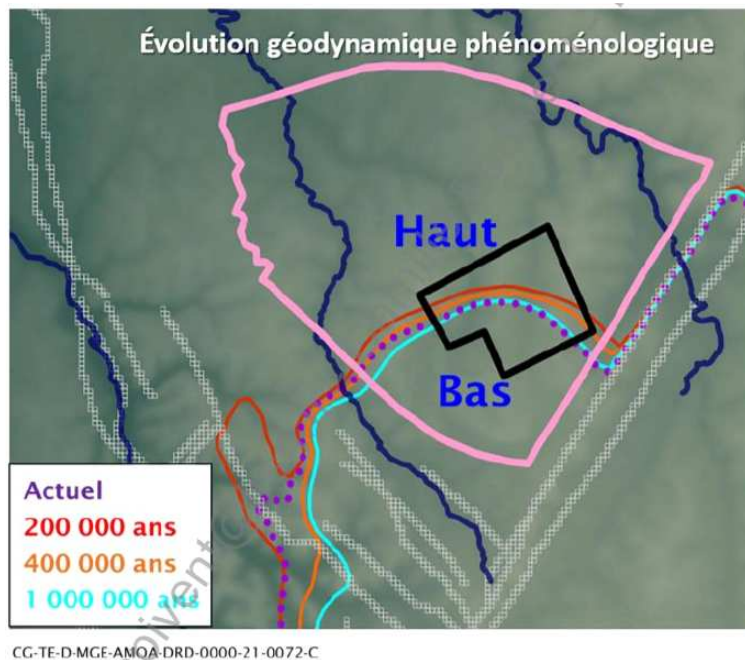


Figure T15-4. Évolution de la position de l'iso-gradient de charge au cours du prochain million d'années selon le scénario d'évolution géomorphologique basé sur une surrection « réaliste » [137]

Scénario d'évolution géomorphologique basé sur la carte de surrection « maximaliste »

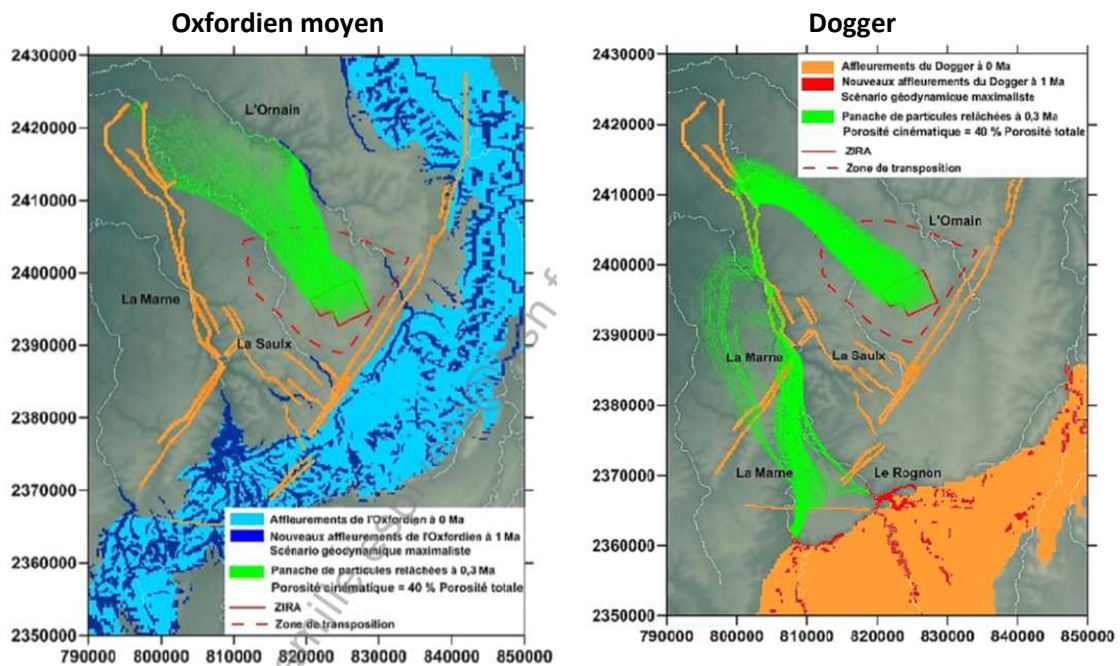
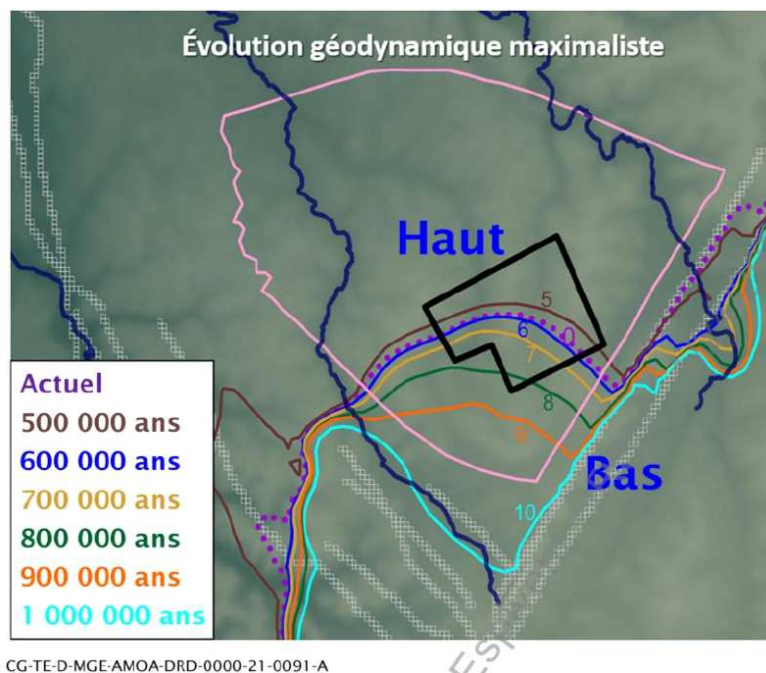


Figure T15-5. Trajectoires du panache de particules relâchées à 300 ka dans les encaissants selon un scénario d'évolution géomorphologique maximaliste. Calculs considérant une porosité cinématique égale à 40% de la porosité totale [137]



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0091-A

Figure T15-6. Évolution de la position de l'iso-gradient de charge au cours du prochain million d'années selon le scénario d'évolution géomorphologique maximaliste [137]

Annexe T16. Caractérisation hydrogéochimique des aquifères profonds

Les formations sus-jacentes à la roche hôte sont constituées, de haut en bas, des calcaires du Barrois, du semi-perméable marneux du Kimméridgien et des calcaires de l'Oxfordien. Les formations sous-jacentes à la roche hôte sont constituées des calcaires du Dogger, du semi-perméable du Lias et enfin des formations du Trias. Pour rappel, la nature des couches d'âge Mésozoïque constituant les 2 000 premiers mètres du sous-sol du site ainsi que celle des couches du Paléozoïque sous-jacent est présentée sur la Figure 2 du chapitre 2.1.

T16-1. Oxfordien calcaire

D'après les données acquises en forages [34], l'aquifère de l'Oxfordien présente une transmissivité globale comprise entre 10^{-7} et 10^{-5} m²/s dans la ZT, et entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s dans la ZFD. L'Andra précise [137] que dans la ZFD, qui présente des fractures ouvertes orientées nord-ouest – sud-est, « les eaux souterraines de l'Oxfordien sont en relation avec des eaux de surface à travers des fractures et d'éventuels conduits karstiques au niveau des affleurements ». Au niveau de la ZT, les écoulements sont orientés vers le nord-nord-ouest avec un gradient hydraulique d'environ 0,4 % (Figure T16-1).

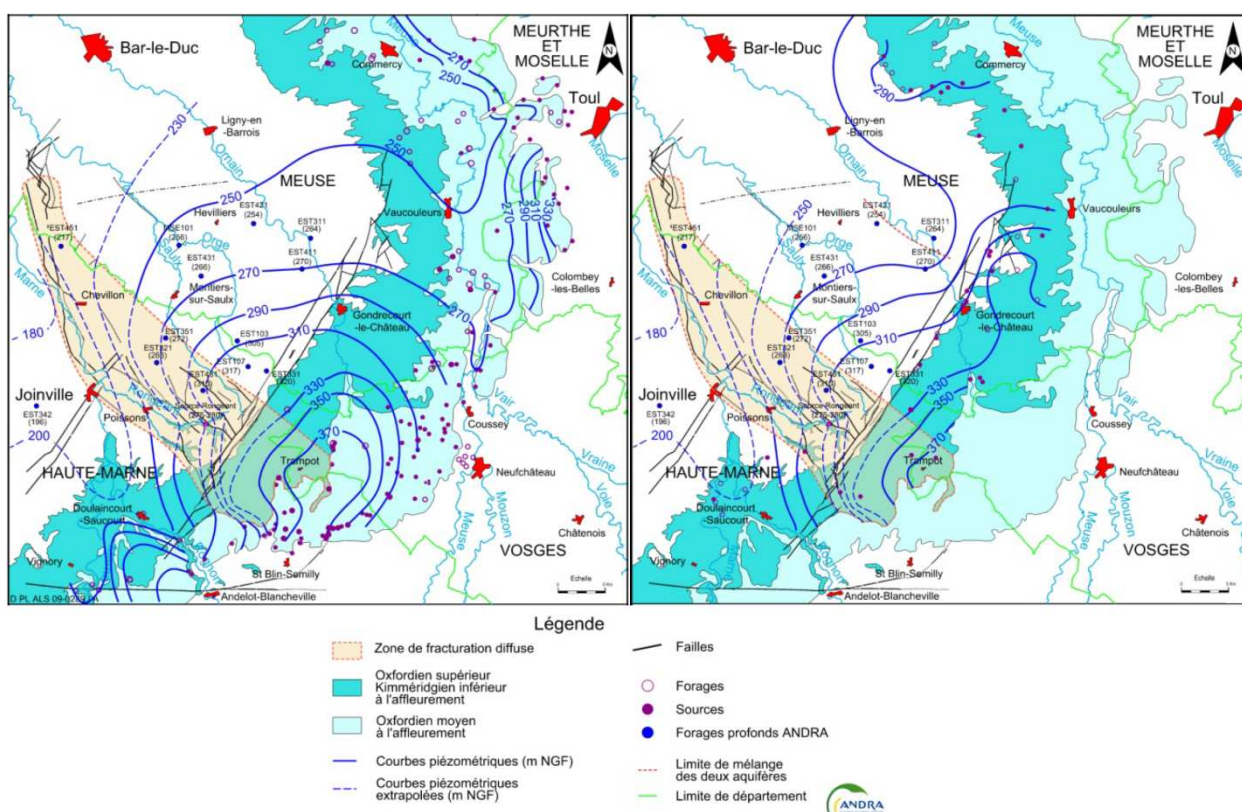


Figure T16-1. Esquisses piézométriques de l'Oxfordien moyen (gauche) et de l'Oxfordien supérieur (droite) [34]

Sur une zone s'étendant des affleurements de l'Oxfordien au nord-est du secteur jusqu'à la ZIOS, l'Oxfordien calcaire contient des couches marneuses appelées globalement « Série grise ». Dans son modèle pétrophysique et sédimentologique [34], l'Andra représente cette série en trois niveaux marneux séparant hydrauliquement les horizons producteurs de l'Oxfordien en quatre niveaux (Hp1-Hp4, Hp5, Hp6 et Hp7). Ces niveaux marneux, qui s'amincissent en allant vers le sud-ouest (cf. Figure T16-2), sont représentés dans le modèle hydrogéologique par des épaisseurs plurimétriques au nord-est de la ZT (e.g. comprises entre 6 m et 12 m pour chacun des trois niveaux marneux à l'emplacement du forage EST421) et inframétriques à métriques au droit de la ZIOS (jusqu'à 6 m pour le niveau inférieur) ; ils n'existent plus au-delà de cette zone. Selon l'Andra [37], la présence de la Série grise limite les transferts entre les différents horizons poreux de l'Oxfordien au niveau de la ZIOS.

Dans son schéma conceptuel, l'Andra considère d'une manière plus générale :

- au niveau de la ZT et au-delà vers le nord-est, deux nappes distinctes à savoir la nappe de l'Oxfordien moyen (constituée des horizons Hp1 à Hp4) et la nappe de l'Oxfordien supérieur (horizons Hp5, Hp6 et Hp7) (cf. Figure T16-2),
- au sud-ouest de la ZT, une seule nappe pour l'ensemble des formations de l'Oxfordien calcaire.

Les porosités totales sont estimées de l'ordre de 20 % (entre 13 % et 22 % pour l'ensemble Hp1-4 sur la ZT). L'Andra a précisé, au cours de l'instruction, que des essais de traçage de sel réalisés en 2003 au nord de la ZT entre les forages EST311 (injection dans Hp7) et EST312/EST313 (récupération à une distance de 12 m) ont permis d'estimer une valeur de porosité cinématique de l'ordre de 8-9 %, qu'elle considère toutefois associée à une forte incertitude. Des mesures de diffusion de traceurs géochimiques (HTO, chlore, iode) indiquent par ailleurs que la porosité cinématique pourrait être très proche de la porosité totale.

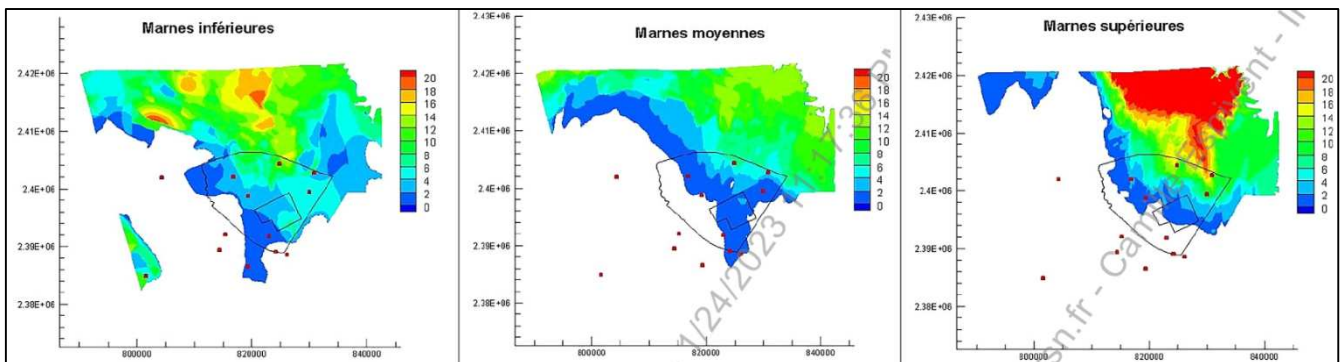


Figure T16-2. Extensions et épaisseurs (code couleur) des trois couches des marnes de la série grise telles que conceptualisées dans le modèle numérique de l'Andra [137, modifié]

Dogger

Au niveau de la ZT, les écoulements sont orientés globalement vers le nord-ouest avec un gradient hydraulique faible, d'environ 0,1 % (cf. Figure T16-3). L'Andra constate que le dôme piézométrique observé sur cette zone se superpose à une zone de calcaires granulaires (barrière récifale) délimitée en rouge sur la Figure T16-3.

En comparaison avec la piézométrie de l'Oxfordien, les charges du Dogger sont plus importantes dans la majeure partie du secteur de MHM, créant ainsi un gradient d'écoulement ascendant à travers le COX. Il existe cependant, dans la partie sud du secteur, une zone où ce gradient est inversé. La limite d'inversion de ce gradient forme une courbe orientée approximativement est-ouest, passant au niveau du tiers sud de la ZIOS.

Les mesures de transmissivités globales du Dogger en forages sont comprises entre $5 \cdot 10^{-9}$ et 10^{-5} m²/s au niveau de la ZT, et entre 10^{-6} et 10^{-4} m²/s dans la ZFD [34]. A l'exception de deux forages (EST210 et HTM102, cf. Figure 1 du présent rapport) qui ont fait l'objet d'un test global incluant le Bajocien (Dogger inférieur, cf. Figure 2), ces mesures correspondent au principal horizon producteur, situé dans le Bathonien supérieur (partie supérieure du Dogger). L'Andra précise [116] que la présence de calcaires granulaires très poreux, tels que ceux observés au niveau du forage EST432, pourraient consister en des îlots émergés sur des rides récifales en lien avec leur paléo-environnement de dépôt et que ceux-ci expliqueraient la forte transmissivité observée dans ce forage, et à plus grande échelle le gradient hydraulique faible observé au niveau de la ZT (correspondant au dôme piézométrique mentionné *supra*).

Enfin, la porosité des niveaux aquifères du Dogger est de l'ordre de 5 % à 18 % [34].

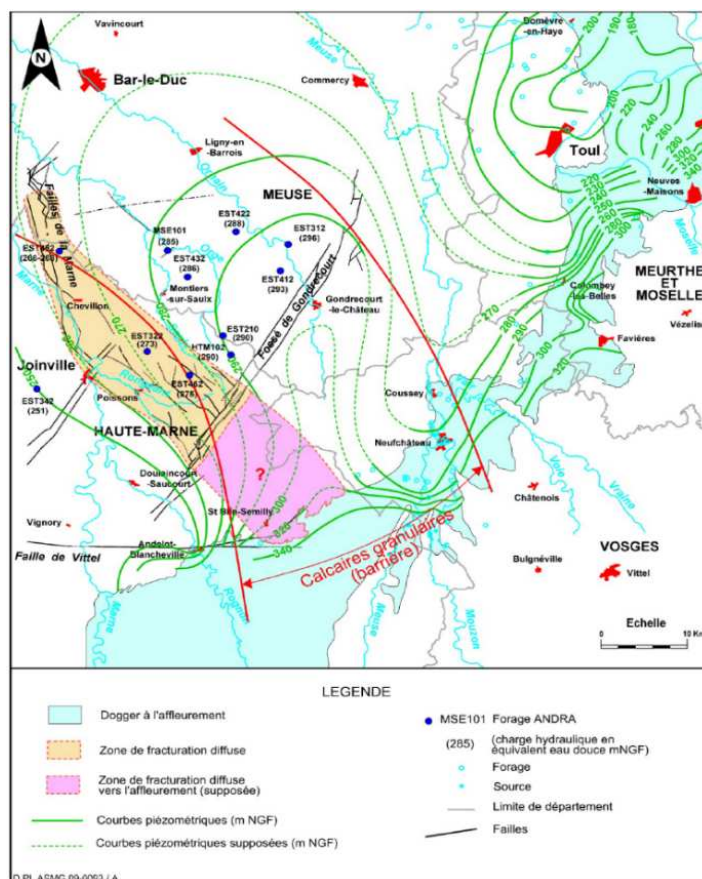


Figure T16-3. Esquisse piézométrique du Dogger [Version de 2012 de [34]]

T16-2. Aquifères plus profonds

L'Andra indique [34] que le Lias peut renfermer des niveaux aquifères mais est essentiellement marneux et argileux dans le secteur de MHM et peut donc être considéré comme un ensemble semi-perméable.

S'agissant du Trias, recoupé par le forage EST433 et comprenant de haut en bas les étages du Rhétien, du Keuper, du Muschelkalk puis du Buntsandstein (cf. Figure 2 du chapitre 2.1) les niveaux aquifères présentent des perméabilités comprises entre 10^{-8} et 10^{-6} m/s. D'après le référentiel du site de 2012, une salinité de 178 g/L et une charge hydraulique corrigée de cette salinité de 233 m NGF ont été mesurées dans le Buntsandstein. L'Andra précisait toutefois, au cours de l'instruction du DOS, que cette unique valeur de charge hydraulique ne pouvait pas être confirmée et qu'aucune valeur de charge n'avait été obtenue dans les aquifères du Muschelkalk et du Rhétien.

T16-3. Hydrogéochimie des aquifères encaissants du COX

Les analyses géochimiques et isotopiques réalisées par l'Andra sur des eaux prélevées dans les forages du secteur de MHM [34] ont pour objectif de consolider le schéma hydrogéologique conceptuel, notamment en termes de représentation des transferts verticaux entre les différentes couches et des vitesses d'écoulement horizontales dans les aquifères.

Pour ce qui concerne la conceptualisation des transferts verticaux, pour les aquifères sous couverture, l'Oxfordien affiche un faciès bicarbonaté sulfaté magnésien à sodique tandis que le Dogger présente un faciès chloruré sulfaté sodique [34]. Pour chacun de ces aquifères, les valeurs de salinité les plus faibles sont mesurées principalement dans les forages de la ZFD ; l'Andra les explique par une participation d'eaux météoriques transportées plus rapidement par cette zone fracturée depuis les aires d'affleurement situées à l'est de la ZT.

Pour ce qui concerne plus particulièrement la géochimie des eaux de l'Oxfordien et ainsi qu'évoqué *supra*, les données ont mis en évidence une différenciation du faciès géochimiques des eaux entre les niveaux supérieur et

moyen de l'Oxfordien, avec la présence de phases sulfatées uniquement dans les niveaux supérieurs de l'Oxfordien au niveau des forages EST311 et EST421. Cette différenciation apparaît moindre au niveau du forage EST411 et n'existe pas dans les autres forages. Linard *et al.* [139] imputent ce phénomène à la présence de la couche des marnes de la Série grise située au Nord-Est du secteur dont la limite, vers le Sud-Ouest, se situerait d'après les auteurs⁷ en amont du forage EST411.

Enfin, l'estimation des temps de résidence des eaux, c'est-à-dire l'âge de leur composants (espèces dissoutes et molécule d'eau) au niveau d'un forage depuis leur infiltration en zone d'affleurement, est une donnée pouvant être utilisée pour calibrer les vitesses de transfert simulées dans les aquifères encaissants. L'Andra considère, du fait des incertitudes associées aux différentes méthodes de datation, que seules les datations au ³⁶Cl acquises au niveau des forages EST331 et EST351, visant l'Oxfordien dans la ZFD et donnant des âges apparents de 190 ka et 400 ka respectivement, sont valables.

⁷ Ces auteurs synthétisent les données hydrogéologiques et géochimiques acquises dans les forages du secteur de MHM et proposent un schéma conceptuel des écoulements dans l'Oxfordien et le Dogger.

Annexe T17. Simulations hydrogéologiques de l'IRSN

L'IRSN a réalisé des simulations hydrogéologiques qui montrent qu'il est possible d'obtenir un calage en charges hydrauliques d'une précision comparable à celui obtenu par l'Andra tout en retenant un paramétrage différent de celui de l'Andra. Ainsi, pour l'IRSN, les écarts moyens entre valeurs mesurées et simulées sont d'environ 1 m pour l'Oxfordien supérieur ainsi que pour l'Oxfordien moyen et de 2 m pour le Dogger (cf. Tableau T17-1 ci-dessous).

	Charge Oxfordien (m NGF)					Charge Dogger (m NGF)		
	Mesurée	Oxfordien sup		Oxfordien moy		Mesurée	Calculée	Écart
		Calculée	Écart	Calculée	Écart			
MSE101	256	253	-3	253	-3	285	284	-1
EST107/HTM102	317	318	1	318	1	290	288	-2
EST103	305	306	1	306	1			
EST311/EST312	264	263	-1	263	-1	296	295	-1
EST342	196	197	1	197	1	251	252	1
EST321/EST322	268	269	1	269	1	272	272	0
EST331	320	319	-1	319	-1			
EST351	272	271	-1	271	-1			
EST411/EST412	270	269	-1	269	-1	293	294	1
EST421/EST422	254	255	1	255	1	288	288	0
EST431/EST432	266	265	-1	265	-1	286	284	
EST451/EST452	217	218	1	218	1	267	266	
EST461/EST462	310	311	1	311	1	275	274	-1
Ecart moyen			1,2		1,2			2,1

Tableau T17-1. Résultats du calage en charge du modèle de l'IRSN

La différence de charges simulées entre les deux aquifères de l'Oxfordien est inférieure à 20 cm au niveau de chaque forage du fait de la faible épaisseur retenue pour représenter la Série grise dans le modèle de l'IRSN. Ces épaisseurs sont précisées sur la Figure T17-1.

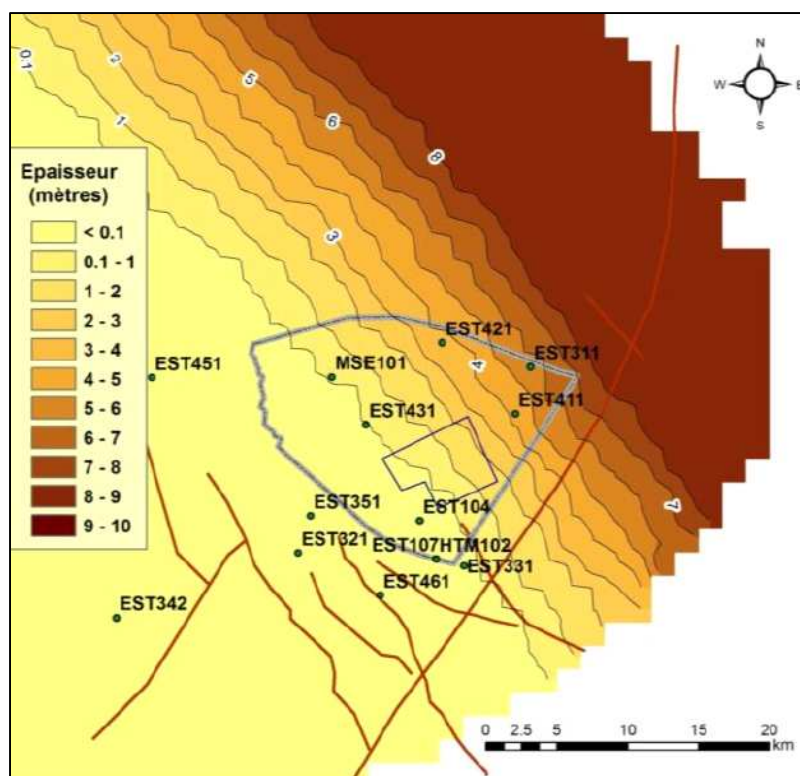


Figure T17-1. Epaisseurs retenues pour la Série grise dans le modèle de l'IRSN

Ces simulations mettent en évidence, pour des particules injectées au toit et au mur du COX, des temps de transfert d'environ 300 000 ans pour atteindre la zone des failles de la Marne dans l'Oxfordien et des temps de transfert supérieurs au million d'année pour atteindre cette zone dans le Dogger (cf. Figure T17-2). Les vitesses de transfert dans l'Oxfordien, d'environ 10 km par 100 000 ans, sont ainsi légèrement plus rapides que dans le modèle de l'Andra (500 000 ans). Dans le Dogger, les vitesses de transfert dans le modèle de l'IRSN sont inférieures au km par 100 000 ans, soit largement inférieures à celles obtenues par l'Andra. Elles sont également inférieures aux vitesses de transfert simulées dans l'Oxfordien.

Les simulations de l'IRSN ne mettent en revanche pas en évidence d'exutoire pour la formation du Dogger.

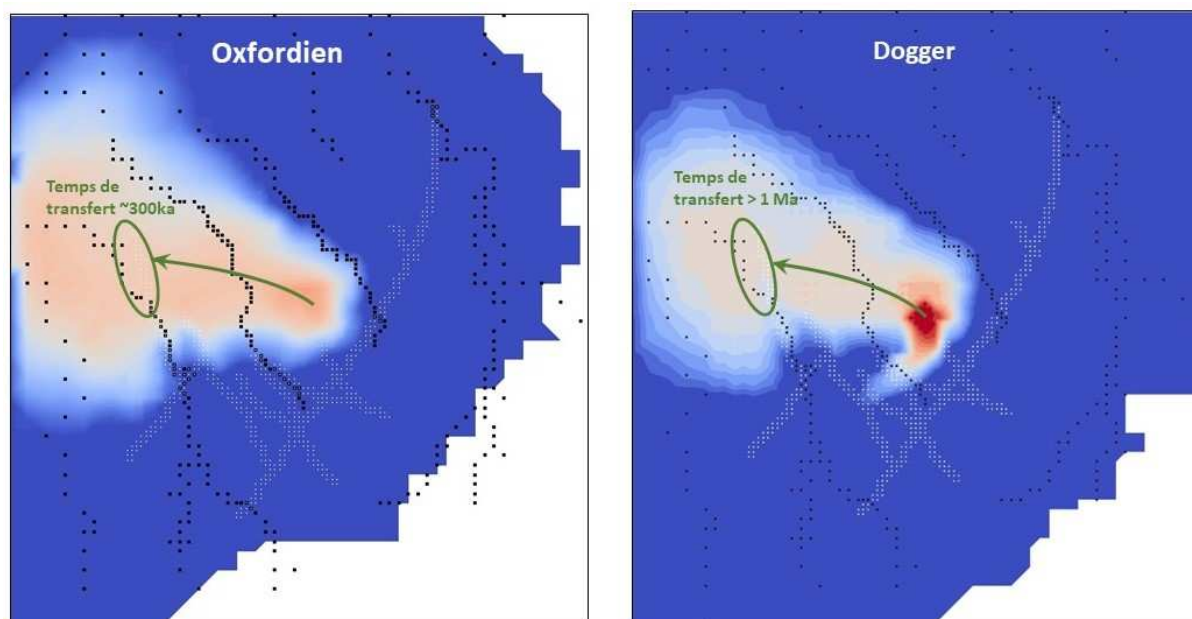


Figure T17-2. Temps de transfert pour atteindre la zone des failles de la Marne dans l'Oxfordien (gauche) et le Dogger (droite) dans le modèle de l'IRSN.

Annexe T18. Modèles de relâchement retenus pour le SEN

Cette annexe synthétise les modèles de relâchement retenus par l'Andra, pour toutes les familles de colis primaires de l'inventaire de référence et de l'inventaire de réserve, en situation de référence et en situation enveloppe du SEN.

T18-1. Déchets MA-VL (inventaire de référence)

Tableau T18-1 : Modèles de relâchement pour les déchets salins non bitumés [143]

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
COG-430		Modèle labile

Tableau T18-2 : Modèles de relâchement pour les déchets salins bitumés [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
CEA-1000		
CEA-1010		
CEA-1020B ⁸	Modèle COLONBO (1 000 ans) puis modèle basé sur la solubilité du NaNO ₃	Modèle basé sur la solubilité du NaNO ₃
COG-020A ⁹ (97 % des colis)		
COG-420A/F/G ¹⁰		
CEA-1020A ⁸	Modèle basé sur la solubilité du NaNO ₃	
COG-020A ⁹ (3 % des colis)		
COG-020B/C/D ⁹	Modèle labile	
COG-420B/C/D/E ¹⁰		

⁸ La sous-famille CEA-1020A correspond aux fûts issus du reconditionnement des fûts de 225 L contenant des enrobés bitumineux produits avant 1995 sur l'extrudeuse Werner A. La sous-famille CEA-1020B correspond au même type de fûts, mais provenant de l'extrudeuse Werner B.

⁹ La sous-famille COG-020A correspond aux fûts produits suivant la spécification 300 AQ 027. La sous-famille COG-020B correspond à huit fûts expérimentaux de forte activité. La famille COG-020C correspond à 34 fûts contenant des déchets technologiques. La famille COG-020D correspond à cinq fûts instrumentés (présence de thermocouples).

¹⁰ Les fûts des sous-familles COG-420 sont tous des fûts STE2 provenant de la reprise partielle du silo 550-14. Les fûts des sous-familles COG-420A (non instrumentés) et COG-420B (instrumentés) ont été produits en 2002. Les fûts de la sous-famille COG-420C ont été produits en 2005. Les fûts des sous-familles COG-420D, COG-420E, COG-420F et COG-420G ont été produits en 2007 (phase 1 pour COG-420D et COG-420F et phase 2 préindustrielle pour COG-420E et COG-420G) ; les sous-familles COG-420D et COG-420E sont composées de fûts instrumentés.

Tableau T18-3 : Modèles de relâchement pour les déchets métalliques [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN	
COG-100	Modèle basé sur la corrosion généralisée des éléments massifs activés (avec des paramètres plus pénalisants en situation de référence qu'en situation enveloppe)		
COG-110			
COG-120			
CEA-1050			
CEA-1060			
COG-040			
COG-070			
COG-450		Modèle labile	
COG-530			
COG-540			
COG-550			
EDF-080			
EDF-090			

Tableau T18-4 : Modèles de relâchement pour les déchets MA-VL vitrifiés [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
CEA-1120	Modèle $V_0 \rightarrow V_R$	Modèle V_0
CEA-340		Modèle V_0
COG-470		
COG-475	Modèle labile	

Tableau T18-5 : Modèles de relâchement pour les autres déchets MA-VL de l'inventaire de référence [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
AND-000 ; CEA-050 ; CEA-060 ; CEA-070 ; CEA-080 ; CEA-090 ; CEA-100 ; CEA-110 ; CEA-120 ; CEA-140 ; CEA-150 ; CEA-231 ; CEA-232 ; CEA-270 ; CEA-280 ; CEA-290 ; CEA-300 ; CEA-310 ; CEA-320 ; CEA-330 ; CEA-360 ; CEA-370 ; CEA-380 ; CEA-400 ; CEA-410 ; CEA-420 ; CEA-430 ; CEA-440 ; CEA-450 ; CEA-460 ; CEA-480 ; CEA-1040 ; CEA-1090 ; CEA-1100 ; CEA-1110 ; CEA-1140 ; CEA-1151 ; CEA-1152 ; CEA-1180 ; CEA-1200 ; CEA-1510 ; COG-030 ; COG-050 ; COG-400 ; COG-440 ; COG-460 ; COG-480 ; COG-490 ; COG-500 ; COG-510 ; COG-560 ; EDF-100 ; EDF-110 ; EDF-120 ; EDF-250 ; ITER-010 ; ITER-020		Modèle labile

T18-2. Déchets HA (inventaire de référence)

Tableau T18-6 : Modèles de relâchement pour les déchets HA vitrifiés [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
CEA-350		
CEA-1070		
CEA-1080-SAN-55-20-20-DS ¹¹		
CEA-1080-S'21 ¹¹		
CEA-1080-SAN-60-15-22 ¹¹		
COG-140		
COG-200	Modèle $V_0 \rightarrow V_R$	Modèle V_0
COG-800		
COG-810A ¹²		
COG-820A ¹²		
COG-830		
COG-880		
COG-890		
COG-900		
CEA-200		
CEA-1080-SAN-55-20-20 ¹¹		Modèle V_0
COG-150		
CEA-1080-SPNM ¹¹	Modèle V_0	Modèle labile
CEA-1190		
COG-160		
COG-810B ¹²		Modèle labile
COG-820B ¹²		

Tableau T18-7 : Modèles de relâchement pour les autres déchets HA de l'inventaire de référence [143].

Identifiant	Situation de référence du SEN	Situation enveloppe du SEN
CEA-1500		
COG-850		Modèle labile
COG-870		

¹¹ Les verres des sous-familles CEA-1080-SAN-55-20-20-DS, CEA-1080-S'21 et CEA-1080-SAN-60-15-22 ont des compositions différentes, mais qui entrent dans le domaine de la spécification de production de la famille CEA-1070. La composition des verres de la sous-famille CEA-1080-SAN-50-20-20 n'entre pas dans le domaine de composition de la spécification de production de la famille CEA-1070. Les verres de la sous-familles CEA-1080-SPNM ont été produits lors de la campagne de vitrification SG8, avec une composition particulière riche en molybdène.

¹² Les sous-familles COG-810A et COG-820A regroupent les colis vitrifiés élaborés avec la fritte de verre FNOC 57, tandis que ceux des sous-familles COG-810B et COG-820B ont été élaborés jusqu'en 2000 à partir d'un mélange de deux frittes de verre en proportion variable (CE22 et FNOC 57).

T18-3. Déchets FA-VL (inventaire de réserve)

L'Andra retient un modèle de relâchement labile pour toutes les familles de colis primaires de l'inventaire de réserve [62].

T18-4. Combustibles usés (inventaire de réserve)

Les modèles retenus sont d'abord présentés pour les alliages métalliques constitutifs des éléments de structure (Tableau T18-8), puis pour les matrices combustibles (Tableau T18-9).

Tableau T18-8 : Modèles de relâchement pour les alliages métalliques des combustibles usés [62].

Type de combustible	Identifiant	Situation de référence du SEN adaptabilité	Situation enveloppe du SEN adaptabilité	
REP-UOX	EDF-2000	Modèle de relâchement congruent à la corrosion (sauf pour la fraction associée à la couche de zircone, modèle labile)		
	EDF-2010			
	EDF-2020			
	EDF-2030			
	EDF-2040			
	EDF-2050			
REP-MOX	EDF-2100	Modèle de relâchement congruent à la corrosion (sauf pour la fraction associée à la couche de zircone, modèle labile)		
	EDF-2110			
	EDF-2120			
	EDF-2130			
RNR	EDF-2200	Sans objet (matériaux métalliques non activés)		
	EDF-2210	Modèle de relâchement congruent à la corrosion (sauf pour la fraction associée à la couche de zircone, modèle labile)		
	EDF-2220	Sans objet (matériaux métalliques non activés)		
	EDF-2230	Modèle de relâchement congruent à la corrosion (sauf pour la fraction associée à la couche de zircone, modèle labile)		
EL4	EDF-2300		Modèle labile	
Osiris	CEA-2100		Modèle labile	
Expérimentaux	CEA-2210			
	CEA-2220			
	CEA-2230			
	CEA-2240			
	CEA-2250			
	CEA-2260			Modèle labile
	CEA-2270			
	CEA-2400			
	CEA-2500			
	CEA-2600			
CEA-2700				
UNGG	CEA-2000		Modèle labile	
CEA défense	CEA-2300		Modèle labile	
	CEA-2350			

Tableau T18-9 : Modèles de relâchement pour les matrices des combustibles usés [62].

Type de combustible	Identifiant	Situation de référence du SEN adaptabilité	Situation enveloppe du SEN adaptabilité
REP-UOX	EDF-2000	Cas 1 : IRF et modèle de dissolution radiolytique Cas 2 : IRF et modèle de dissolution électrochimique	IRF et modèle de dissolution radiolytique
	EDF-2010		
	EDF-2020		
	EDF-2030		
	EDF-2040		
	EDF-2050		
REP-MOX	EDF-2100	Cas 1 : IRF et modèle de dissolution radiolytique Cas 2 : IRF et modèle de dissolution électrochimique	IRF et modèle de dissolution radiolytique
	EDF-2110		
	EDF-2120		
	EDF-2130		
RNR	EDF-2200		Labile
	EDF-2210		
	EDF-2220		
	EDF-2230		
EL4	EDF-2300	Pour 98 % de l'inventaire : IRF et modèle de dissolution radiolytique. Pour 2% de l'inventaire (assemblages non étanches): modèle labile	
Osiris	CEA-2100	Modèle labile	
Expérimentaux	CEA-2210		Modèle labile
	CEA-2220		
	CEA-2230		
	CEA-2240		
	CEA-2250		
	CEA-2260		
	CEA-2270		
	CEA-2400		
	CEA-2500		
	CEA-2600		
CEA-2700			
UNGG	CEA-2000	Modèle labile	
CEA défense	CEA-2300	Modèle labile	
	CEA-2350	IRF et modèle de dissolution radiolytique	

Références

Ne sont listées ici que les références non mentionnées dans le rapport

REF T2-1 : Avis IRSN 2013-57 du 13 février 2013 – « Commentaires de l'Andra sur le rapport de l'IEER de mars 2011 »

REF T13-1 : Macaudière J. Analyse structurale en tectonique de couverture - Les fractures de Riedel Site de Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur de l'Université de Lorraine (univ-lorraine.fr)

REF T13-2 : Trincal V.2015, Interactions fluide-roche, conditions physico-chimiques et transferts de matière dans des zones de failles en milieux sédimentaires - Exemple de failles chevauchantes Pyrénéennes. Thèse Univ. Franche-Comté, 2 juin 2015, 215 p.

REF T14-1 : Delmas J., Houel P., Vially R., 2002. Paris Basin, Petroleum Potential. Institut Français du Pétrole. Rapport régional d'évaluation pétrolière du bassin de Paris. 106 pl., 13 tabl.

REF T16-1 : Note Andra D.RP.ALS.08.1356/B – « Synthèse du programme de reconnaissance de la zone de transposition 2007-2008. Centre de Meuse/Haute-Marne »

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

31 av. de la division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

COURRIER
B.P 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses

TÉLÉPHONE
+33 (0)1 58 35 88 88

SITE INTERNET
www.irsn.fr

MEMBRE DE
ETSON