

# Les campagnes d'investigations sismiques

menées par l'Andra en Meuse/Haute-Marne Historique & Connaissances acquises

Entre 1995 et 2016, l'Andra a mené de nombreuses séquences d'investigations sismiques en Meuse/Haute-Marne. Ces technologies, non intrusives, permettent d'avoir des connaissances sur de grandes zones à une résolution qui intéresse l'Andra. Celles-ci visaient à caractériser la géologie du sous-sol et ont participé au choix de l'implantation du futur Cigéo. Plusieurs campagnes sismiques se sont succédées pour atteindre une connaissance géologique la plus complète possible.

Ces investigations, au départ, réalisées par des sociétés pétrolières, ont permis à l'Andra d'obtenir des données sismiques, qu'elle a pu retraiter pour l'implantation du laboratoire scientifique souterrain. Plus tard, des méthodes géophysiques plus performantes (sismique 3D) ont servi à délimiter une zone préférentielle pour le projet Cigéo.

L'analyse des données, issues des campagnes sismiques successives (2D et 3D), a contribué à améliorer la compréhension de la géologie en profondeur et à réduire les incertitudes. Les données acquises sont stratigraphiques et structurales. L'apport de connaissances depuis 15 ans, contribue de façon déterminante, à la conception de Cigéo.

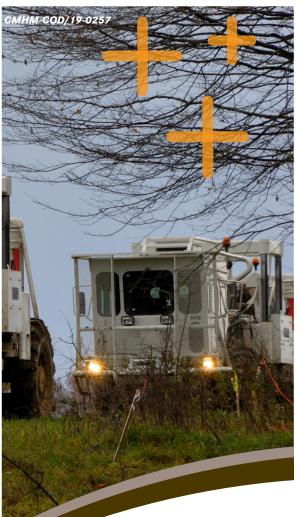
#### **DEFINITIONS**

1) Carottage: Technique de prélèvement d'échantillons qui consiste à forer un substrat. L'analyse permet d'identifier la nature et le degré de la fracturation, la présence de vide et de poches karstiques, la présence de joints; d'obtenir des informations physico-chimiques sur la nature du sol, sa composition et d'établir une chronologie.

2) SEG Y: Normes développées par la Society of Exploration Geophysicists pour stocker des données numériques.

3) Sismique réflexion: Méthode d'exploration dont le principe repose sur la génération d'un ébranlement à la surface du sol puis sur l'analyse de la propagation des ondes émises et de leur vitesse. Celle-ci se focalise principalement sur l'observation des ondes de compression P, réfléchies aux interfaces des couches. L'acquisition en 2D se fait ligne par ligne.

<u>4) Sismique 3D</u>: Technique d'investigation du sous-sol en trois dimensions, grâce à l'émission d'ondes depuis la surface. Ces ondes mettent en évidence des couches de caractéristiques différentes et identifient les obstacles avec grande précision. L'acquisition se fait simultanément sur plusieurs lignes qui forment une grille.





### 1994 - Exploitation des données sismiques pétrolières

En 1994, la région de Meuse/Haute-Marne est étudiée parmi 3 autres pour l'implantation d'un site de stockage de déchets radioactifs. Dans cette région, l'Andra analyse et retraite les données sismiques, déjà disponibles, issues essentiellement d'explorations pétrolières antérieures.

980 km de profils sismique réflexion<sup>3</sup> ont été retraités à cette période afin d'améliorer la définition des horizons entre 0 et 1000 mètres. Ces travaux ont permis à l'Andra de **caractériser et de préciser le contexte structural et stratigraphique** de la région et plus particulièrement de confirmer le caractère continu de la formation du Callovo-Oxfordien.

# CONCELLS CONCEL

#### 1995 - Identification de la zone du Laboratoire souterrain (LS)

Dans le cadre de la recherche de site, une nouvelle campagne de sismique réflexion est engagée pour identifier la localisation du futur Laboratoire de recherche.

3 profils 2D, totalisant 15 km de distance, et investiguant jusqu'à une profondeur de 850 m, ont été réalisés dans la zone supposée du futur Laboratoire souterrain.

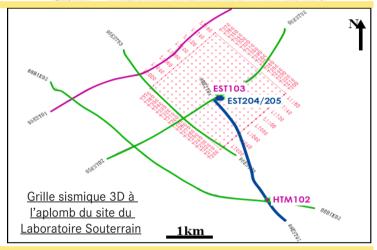
L'Andra effectue, dans la même période, des levés géologiques pour détailler les liens entre lithologie et hydrogéologie. Des forages sont aussi réalisés pour caractériser les formations sédimentaires, la série Callovo-Oxfordienne et ses encaissants. Des mesures in situ et sur échantillons sont aussi faites.



## 1999 - Caractérisation de la zone du Laboratoire souterrain (LS)

En 1999, l'Andra souhaite affiner ses connaissances du futur emplacement du laboratoire souterrain. Pour cela, CGG réalise une grille 3D sur 4,35 km² et un profil 2D de 3,7 km.

La sismique 3D<sup>4</sup> employée, a pour objectif de **délimiter les grands ensembles lithologiques, de détecter et de caractériser les discontinuités géométriques au sein des couches et d'établir un modèle géologique 3D.** De plus, elle permet, pour la suite, une extrapolation des données acquises au niveau du laboratoire, à un domaine d'extension pluri-kilométrique.

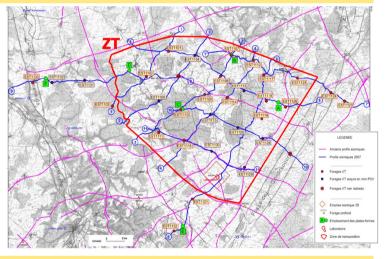


### 2007 - 2008 - Caractérisation de la zone de transposition (ZT)

En 2006, une zone d'intérêt de 250 km², dite de transposition, est identifiée. Celle-ci est délimitée par des entités structurales et possède des propriétés intrinséques équivalentes à celles mesurées au LS.

Une nouvelle campagne sismique réflexion à grande échelle, via 10 nouveaux profils 2D et le retraitement de 10 anciens profils, est ouverte et couvre cette ZT. L'objectif est de **vérifier la continuité et la géométrie de la couche Callovo-Oxfordienne**, de consolider les connaissances des encaissants et des formations plus profondes et de préciser la nature et l'extension des failles ceinturant la zone.

Ces travaux apportent des connaissances complémentaires pour les évaluations de sûreté et l'implantation des infrastructures souterraines.

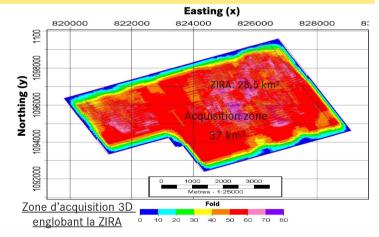


# 2009 - 2010 - Définition de la zone d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (ZIRA)

En 2009, une Zone d'intérêt pour une reconnaissance approfondie de 28 km² est définie sur la base de critères géologiques et de sûreté pour l'implantation de Cigéo.

Une campagne de sismique 3D, sur 37 km², encadrant la ZIRA, est menée. Son objectif est de disposer d'un modèle 3D détaillant la géométrie et les propriétés des couches. Les données acquises sont traitées, sous format SEG Y².

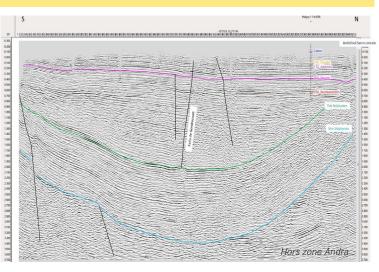
En parallèle, une cinquantaine de forages de surfaces sont réalisées pour caler la sismique.



# Depuis 2016 - Travaux complémentaires

L'Andra mène une veille active en lien avec les avancées technologiques concernant l'acquisition sismique, d'une part prospective et d'autre part sur le traitement des données. Dans ce sens, l'Andra procède à un retraitement des données préalablement acquises et à une révision des profils. Ceci a pour objectif de confirmer l'état des connaissances et de réduire les incertitudes.

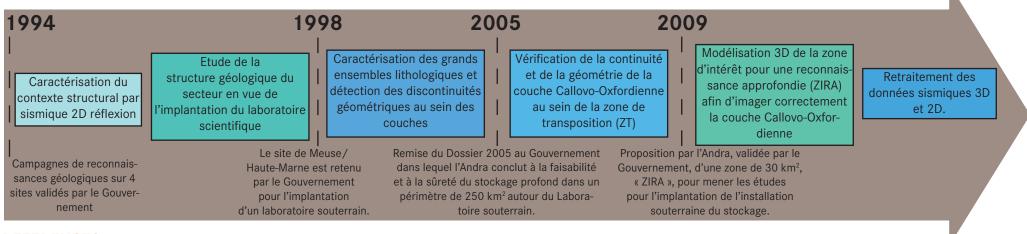
Par exemple, un retraitement récent du bloc sismique 3D de la ZIRA, a permis d'affiner la géométrie horizontalement et latéralement des couches en profondeur. De plus, le retraitement des profils pétroliers, acquis régionalement, avec des nouvelles méthodes de traitement a permis de vérifier l'abscence de toute ressource à caractère exceptionnel entre 4000 et 5500 mètres de profondeur dans le secteur du site de stockage Cigéo.



#### **CONCLUSION**

Au fil des années, les différentes campagnes sismiques et le traitement des données acquises ont permis de caractériser lithostratigraphiquement et structuralement la géologie de la région du site de Meuse/Haute-Marne. Chaque phase parcourue, au fil des campagnes, a apporté un niveau de connaissances supplémentaires et la sismique a contribué majoritairement à obtenir un modèle 3D géologique de haute résolution, qui constitue une donnée d'entrée fondamentale à la conception et à la sûreté de Cigéo.

Récapitulatif des étapes clés des campagnes sismiques menées par l'Andra en lien avec les jalons du projet Cigéo :



#### **REFERENCES**

- 3D multiscale structural analysis of the eastern Paris basin : the Andra contribution
- P. Elion et al, publié dans les Mémoires de la Société Géologique de France, nouvelle série, n° 178, pp 15-35
- The application of high resolution 3D seismic data to model the distribution of mechanical and hydrogeological properties of a potential host rock for the deep storage of radioactive waste in France
- J.L. Mari (IFP School) & B. Yven (Andra) publié dans Marine and Petroleum Geology 53 (2014) pp 133-153
- Imaging geological structures up to the acquisition surface using a hybrid refraction-reflection seismic method

  M. Mendes (IS, Department of Physics, Lisbon), J.L. Mari (IFP School) & M. Hayet (Andra) publié dans Oil and Gas Science and Technology (revue IFPEN) Vol
  69, N° 2, pp 351-361 en 2014
- Hybrid seismic imaging
- M. Mendes, J.L. Mari (IFP School) & M. Hayet (Andra); chapitre 6 dans Seismic Imaging: a practical approach publié en 2019 chez EDP Sciences
- Integrated seismic study- Focus on « Cigéo », the French geological repository project (J.-L. Mari, IFP) , B. Yven, Andra) ; chapitre 7 dans Seismic Imaging : a practical approach publié en 2019 chez EDP Sciences