

## Introduction

CIGEO est un centre de stockage géologique implanté à 500m de profondeur dans lequel seront entreposés pendant un siècle des déchets HA-VL (Haute activité à vie longue) et MA-VL (Moyenne activité à vie longue). Un siècle d'entreposage, car ce centre a pour but d'être réversible CIGEO devra accueillir 171 530 colis MA-VL et 60 000 colis HA-VL répartis sur 265 Km d'ouvrages souterrains.

Les 171 530 déchets MA-VL dont **86 000 de type bitumeux** produisent plus de **9L/an/colis d'hydrogène**.

En cas de dépassement de plus de 4% d'H<sub>2</sub> dans un **espace mal ventilé, une explosion serait inévitable**. Pour pallier cette problématique, il faut maintenir en continue une ventilation des locaux afin d'évacuer les gaz d'hydrogène produits et ainsi limiter le risque d'explosion. La **ventilation fait partie des fonction de sûreté** car elle permet de confiner la radioactivité, d'évacuer les gaz de radiolyse et la puissance thermique des colis de déchets MA-VL notamment, et ceux à des fins de protection des opérateurs et de l'environnement en cas d'incident.

**Alors, quel système de ventilation pour limiter l'apparition d'une ATEX et ceux même en cas d'incident ?**

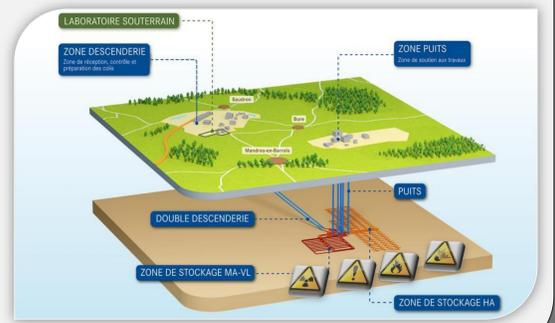


Figure 1: Centre de stockage CIGEO (Source: ANDRA)

## Le phénomène de radiolyse émis par les déchets MA-VL

Certains colis de déchets MA-VL (déchets bitumeux) émettent des gaz, depuis leur arrivée dans les installations de surface jusqu'à leur stockage en alvéole souterraine. Ces gaz ont pour origine un phénomène de radiolyse qui est lié à l'effet des rayonnements ionisants sur les produits hydrogénés présents dans les colis (matières organiques, eau de la matrice de conditionnement). Ces gaz de radiolyse sont l'hydrogène (plus de 90 % du dégagement gazeux) et en faible quantité, le méthane.

Concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail, les valeurs retenues pour les concentrations en hydrogène sont issues de la circulaire du 9 mai 1985.

Moyens de prévention:



Figure 2: Moyens de prévention des phénomènes de radiolyse (Source: Personnelle)

## Une Atmosphère Explosive

Une zone ATEX (atmosphère explosive) se traduit par un mélange dans les conditions atmosphériques, de l'oxygène de l'air et d'une substance inflammable (gaz, vapeur, poussières). Il ne peut y avoir explosion que lorsque les six conditions représentées par l'hexagone de l'explosion sont réunies (Cf. figure 2 ci-contre).

Les limites inférieure et supérieure d'inflammabilité (LII et LSI) définissent le domaine d'explosivité lui-même défini par des limites supérieure et inférieure d'explosivité (LIE et LES). Pour l'hydrogène, sa LIE est fixée à 4%.

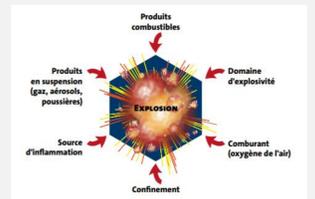


Figure 3: Hexagone de l'explosion (Source: IRSN)

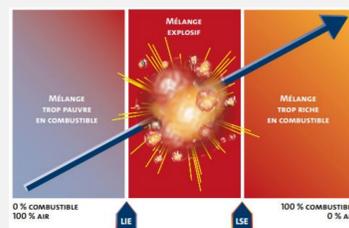


Figure 4: Domaine d'explosivité de l'hydrogène (Source: IRSN)

Dans CIGEO la zone ATEX se situe essentiellement dans les galeries des MA-VL car ils génèrent de l'H<sub>2</sub> gazeux sous l'effet de la radiolyse.

Durant son exploitation le grand nombre de véhicules, d'engins de manutention ou d'éclairages présentent une source d'inflammation qui pourraient produire une étincelle fatale en présence de l'H<sub>2</sub> dans des zones non ou mal ventilée (alvéole, hotte, galerie, colis).

En vue de limiter l'apparition de ce risque il faut maintenir la concentration du combustible hors de son domaine d'explosivité, soit inférieure à 4%. Pour ce faire il faut:

Une dilution à l'air → système de ventilation

Un contrôle des concentrations en combustible grâce aux dispositifs de détection et de surveillance → Balises ATEX

Figure 5: Moyens de prévention d'une zone ATEX lié à un dégagement gazeux (Source: Personnelle)

## Ça s'est passé la bas !

Le WIPP (Nouveau Mexique, USA) est un site d'enfouissement en profondeur de déchets nucléaires. Au sein d'une cavité creusée dans le sel, il a été conçu pour accueillir 176 000 m<sup>2</sup> de déchets transuraniens (issus d'activités nucléaires de défense). En exploitation depuis 1999, c'est AREVA en 2007 qui a été retenu pour assurer sa gestion et son exploitation. Mais en 2014 une explosion se produit et entraîne une contamination en surface.

Un fût retrouvé ouvert dans la zone 7 (stockage FA-VL, Cf. image ci-contre) met en avant le manque de stabilité chimique pour ce type de déchets provoqué par un équilibre gazeux dans le colis avec environ un tiers d'hydrogène et une élévation de température de l'ordre de 600°C atteignant alors la plage d'auto-inflammation (520°C-750°C) de l'hydrogène. Cette explosion est survenue après fermeture provisoire de la zone.

Désormais c'est une zone devenue inaccessible en raison de forte irradiation.

Au Japon, un autre accident due à l'explosion d'un fût d'enrobés bitumeux (FEB) s'est produit en 1997. Dans un premier temps il y a eu une inflammation de fûts de déchets bitumés chauds, suivie d'une explosion plus tard dans le bâtiment de production des FEB. Bien que les causes de ce dernier accident n'aient pas été complètement élucidées, un mécanisme d'emballage des réactions exothermiques a été proposé à la suite des travaux de recherches menés par des chercheurs japonais. Les espèces mises en jeu seraient le couple nitrate-nitrite de sodium, le second ayant une action prépondérante malgré une très faible teneur.



Figure 6: Fût zone 7 après explosion (Source: Sortir du nucléaire n°62)

En effet la question de réaction oxydant/réducteur soit bitumes/nitrates d'ammonium pour les déchets MAVL dans CIGEO, se pose.

## Le système de ventilation pour pallier au risque d'explosion

Pour éviter qu'un tel phénomène n'arrive, entraînant des pertes humaines et un lourd impact environnemental, comme sur le WIPP (visible dans l'encart « ça s'est passé là bas »), une ventilation en continue permet l'évacuation de l'hydrogène produit et ainsi limite la concentration des vapeurs.

La conception des systèmes de ventilation nucléaire est réalisée sur la base de la RFS II.2 et de la norme ISO 17878 pour l'ensemble des installations nucléaires (surface, transfert et souterraines) mais dans le cadre de CIGEO elle doit aussi suivre la directive ATEX 2014/34/EU fixant les règles spécifiques pour la prévention du risque d'explosion.

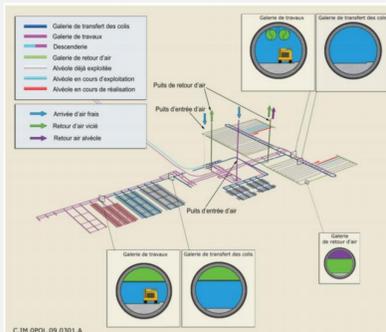


Figure 7: Schéma de ventilation (Source: ANDRA, rapport d'options de sûreté du stockage en formation géologique profonde)

En exploitation, en cas de perte de la ventilation l'atmosphère ATEX va augmenter et le risque d'explosion avec, il faut dans ce cas un système de renouvellement d'air satisfaisant vis-à-vis d'exigences permettant de garantir l'accomplissement de ces fonctions. Ces exigences sont cités dans le tableau ci-contre.

Alors en cas de défaillance les délais disponibles pour rétablir la ventilation en cas d'arrêt avant d'atteindre le critère de 1 % d'hydrogène dans l'alvéole sont variable:

- pour une valeur moyenne de **10 l/fût/an, le délai est de 10 jours**
- pour une alvéole de colis B4.1 (FEB) relâchant **100 l/fût/an, le délai disponible est à une valeur inférieure à 6 jours**

### Exigence d'un système de ventilation pour les zones ATEX dans CIGEO

Confiner la radioactivité afin de limiter le risque de dispersion (refroidissement, confinement dynamique)
Maintenir une hygrométrie basse favorable à la durabilité des bétons (maintien du confinement statique)
Une protection de l'Homme contre l'irradiation (gaines des ventilations, filtre THE)
Evacuer les gaz de radiolyse afin de limiter l'apparition d'une ATEX
Fonction de sûreté/criticité (gestion de l'accumulation des matières fissiles)
Assurer la sectorisation des effets des agressions d'origine interne ou externe (explosion, incendie, séisme)
Evacuer la puissance thermique des colis de déchets MA-VL et HA-VL (maintien de la tenue des équipements + bon fonctionnement des matériels électriques et électroniques)



Figure 8: Système de ventilation créé par Cmévia pour le bâtiment 459 du CEA (Source: Clévia)

Clévia, une filiale du groupe Eiffage conçoit des systèmes de ventilation sur mesure et adaptés pour le domaine du nucléaire, des industries pharmaceutique ou encore pour des ouvrages souterrains.

Les caractéristiques de leurs systèmes de renouvellement d'air possèdent les caractéristiques suivantes:

- Un débit de **3 200 à 10 000 m<sup>3</sup>/h** > au 500 m<sup>3</sup>/s demandé pour éviter l'apparition d'ATEX,
- La possibilité d'adapter un **filtre THE** pour garantir la perméabilité aux particule radioactives,
- Un **système réfrigérant** permettant de maintenir la température d'ambiance < à 40°C, température limitant le risque d'explosion,
- Raccordé à un report d'alarme afin de suivre en temps réel le bon fonctionnement du système
- Un système relais, permettant d'assurer une continuité du renouvellement de l'air en cas de perte d'électricité.

## Conclusion

Le risque d'explosion est à prendre en compte sur le site de CIGEO et ce durant la période d'exploitation du site. En effet la présence de déchets instable chimiquement (MA-VL producteurs d'hydrogène) entraîne la formation d'une Atmosphère explosive qui si une explosion viendrait à se produire aurait un lourd impact économique, environnemental et humain. Pour éviter l'apparition de ce risque il faut mettre en œuvre certains nombre d'action:

→ Une surveillance en continue de la concentration de gaz dans l'air ambiant,

→ Une ventilation en continue afin d'assurer un renouvellement d'air de l'ordre de 500 à 650m<sup>3</sup>/s garantissant le respect de la LIE et ce même en cas d'incendie).

D'après notre étude c'est le système de ventilation Clévia qui permet d'assurer l'absence d'une zone ATEX en fonctionnement normal et incidentel et ce tout au long de l'exploitation de CIGEO.

### Bibliographie

IRSN\_Rapport-2017-0013\_GPDO-Cigeo\_Tome-1.pdf, n.d.; IRSN\_Rapport-2017-0013\_GPDO-Cigeo\_Tome-2.pdf, n.d.; Flachet - 2015 - Les risques d'explosion pendant l'exploitation de .pdf, n.d.; Les risques d'exploitation du Centre industriel de stockage géologique (CIGEO), 2016. . Encyclopédie de l'énergie. URL https://www.encyclopedie-energie.org/les-risques-d-exploitation-du-centre-industriel-de-stockage-geologique-cigeo/ (accessed 10.16.20). ; dossier-options-surete-exploitation.pdf, n.d. ; dossier-options-surete-apres-fermeture\_0.pdf, n.d.; Maignon et al. - 2006 - Influence de la température initiale sur la struct.pdf, n.d.