

DISCRIMINER UN ESSAI NUCLÉAIRE D'UN ÉVÈNEMENT NUCLÉAIRE CIVIL

G. LE PETIT, P. ACHIM, P. HEINRICH, Y. GRILLON, X. BLANCHARD, P. ARMAND
CEA – DAM – ÎLE-DE-FRANCE

Depuis la signature par la France du *Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE)*, le CEA-DAM participe à la mise en place d'un réseau mondial de capteurs incluant la détection de radionucléides qui seraient produits lors d'un essai nucléaire. Pour un essai souterrain confiné, seuls les gaz nobles sont susceptibles d'être relâchés dans l'atmosphère du fait de leur très faible interaction avec le milieu de confinement. Parmi ces gaz nobles, quatre isotopes radioactifs du xénon permettent de discriminer entre un essai nucléaire et un évènement civil. La mesure de ces radionucléides, notamment des rapports isotopiques, associée à la modélisation du transport atmosphérique, permet de conforter avec un bon niveau de confiance cette discrimination.

La mesure des isotopes radioactifs du xénon

Le CEA-DAM a développé un dispositif nommé Spalax® (système de prélèvement automatique avec l'analyse du xénon [1]) entièrement automatisé. Le dispositif extrait et purifie le xénon à partir d'un prélèvement d'air (80 m³), le concentre d'un facteur supérieur à 10⁶ pour

fournir un volume de 25 cm³, et mesure la quantité de radionucléides par une spectrométrie d'émission X et γ . La limite de détection obtenue pour l'isotope ^{133}Xe est de 0,15 mBq/m³. L'analyse de l'échantillon d'air, prélevé et traité par Spalax®, exploite simultanément l'ensemble de l'information spectrale caractérisant les quatre radionucléides : raies γ résultant de la désintégration β et raies X résultant de la conversion interne pour les isotopes (métastables) ^{131m}Xe (demi-vie : 11,9 jours) et ^{133m}Xe (2,2 jours) ; raies γ résultant de la désintégration β pour les isotopes ^{133}Xe (5,3 jours) et ^{135}Xe (9,1 heures). Un traitement statistique spécifique des données permet d'obtenir le meilleur estimateur des activités des différents radionucléides par la détermination des maximums de vraisemblance. La figure 1 donne un exemple de résultats obtenus pour les isotopes métastables ^{131m}Xe et ^{133m}Xe . L'association du dispositif Spalax® et de cette méthode de traitement permet d'obtenir des activités minimales détectables du même ordre de grandeur pour les quatre radionucléides.

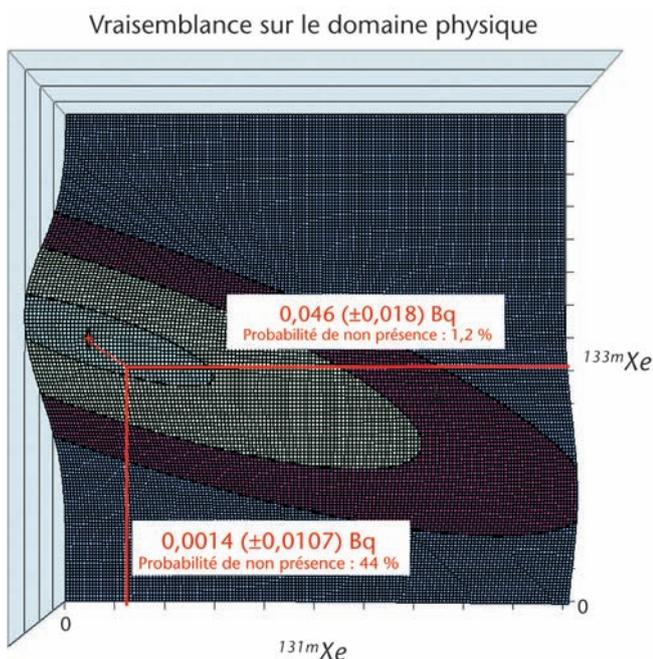


Figure 1
Détermination des activités des isotopes métastables ^{131m}Xe et ^{133m}Xe par la méthode du maximum de vraisemblance (axes X et Y : activités estimées de ^{131m}Xe et ^{133m}Xe respectivement, axe Z : probabilité conjointe des deux radionucléides).

La discrimination d'un évènement nucléaire

La mesure de plusieurs isotopes radioactifs du xénon donne accès à des rapports isotopiques susceptibles de discriminer un évènement nucléaire. À titre d'exemple un rapport isotopique $^{135}\text{Xe}/^{133}\text{Xe} > 0,2$ ou $^{133m}\text{Xe}/^{133}\text{Xe} > 0,06$, mesuré trois jours après un rejet atmosphérique, serait caractéristique d'un essai. En parallèle, à partir de l'origine de la détection, une chaîne de modélisation du transport atmosphérique permet d'estimer le rejet en termes de localisation et de quantité de xénon émise.

Ces informations permettent de consolider la discrimination et de vérifier la cohérence entre les niveaux d'activité émis et la nature de l'évènement. Par exemple, les quantités de ^{133}Xe rejetées par une centrale nucléaire sont de l'ordre de quelques GBq (10^9 Bq), de quelques TBq (10^{12} Bq) pour une usine de production d'isotopes à usage médical, tandis que la quantité instantanée relâchée lors d'un essai serait de l'ordre du PBq (10^{15} Bq) [2], [3].

Recherche des sources potentielles par modélisation du transport atmosphérique

Pour répondre au besoin de localisation, le CEA-DAM utilise des modèles météorologiques couplés à des modèles lagrangiens de simulation du transport atmosphérique. L'exécution des codes de calcul sur de longues périodes temporelles et / ou sur des domaines d'études de grandes étendues spatiales, nécessite des moyens adaptés, comme les machines massivement parallèles du CCRT.

Les simulations sont réalisées en mode direct ou en mode rétrograde. Dans le cas où les caractéristiques de la source sont connues, le mode direct consiste à calculer l'évolution temporelle et la répartition spatiale des rejets issus de cette source. Dans les cas où nous ne disposons que de mesures sur des capteurs, le problème consiste à rechercher la source (*spatialement et temporellement*) en inversant le temps. Dans cette méthode, une rétro-espèce est émise depuis le détecteur qui a fait la mesure, et son évolution est suivie en remontant le temps. Les zones géographiques survolées par le rétro-panache sont autant de localisations potentielles pour le rejet. Nous estimons alors les termes sources nécessaires pour conduire à la mesure.

La figure 2 illustre la recherche par rétro-transport de sources à l'origine d'une détection de ^{133}Xe au CEA-DAM Île-de-France en novembre 2004. Pour cette détection le rapport $^{135}\text{Xe}/^{133}\text{Xe}$ était de l'ordre de 10^{-2} , donc compatible avec des rejets civils. La source la plus probable est l'usine de production de radionucléides située à Fleurus (Belgique). Le rapport isotopique calculé et le terme source estimé par la simulation (20 à 30 TBq) sont compatibles avec les rejets atmosphériques autorisés pour cette installation.

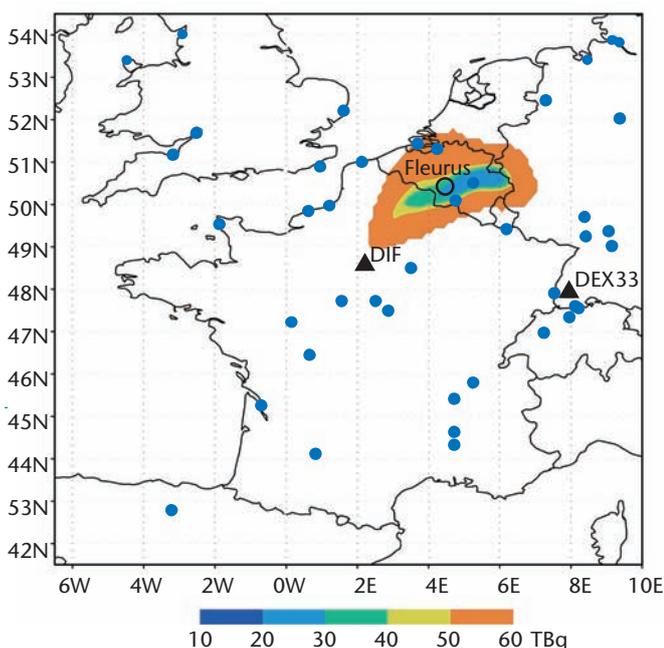


Figure 2
Rétro-propagation d'un panache depuis le CEA-DAM - Île-de-France (DIF) se dirigeant vers le site industriel de Fleurus (Belgique).
Triangles noirs : stations Spalax. Cercle noir : Fleurus.
Ronds bleus : centres nucléaires de production d'électricité.

Conclusion

Le système Spalax® associé à une mesure performante des isotopes radioactifs du xénon et le couplage avec un modèle de transport atmosphérique permettent de fournir une expertise fiable, notamment dans le cas d'évènement du type nord-coréen survenu en octobre 2006, ou de la surveillance de pays ou d'installations suspectes.

Références

[1] J.-P. FONTAINE, F. POINTURIER, X. BLANCHARD, T. TAFFARY, "Atmospheric xenon radioactive isotope monitoring", *Journal of Environmental Radioactivity*, **72**, p. 129-135 (2004).
[2] G. LE PETIT, R. CHIAPPINI, T. TAFFARY, J.-P. FONTAINE, "Analyse des radioxénons atmosphériques par une spectrométrie d'émission X-γ", *chocs*, **35**, p. 32-41 (2007).
[3] G. LE PETIT, P. ARMAND, G. BRACHET, T. TAFFARY, J.-P. FONTAINE, P. ACHIM, X. BLANCHARD, J.-C. PIWOWARCZYK, F. POINTURIER, "Contribution to the development of atmospheric radioxenon monitoring", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **276**, p. 391-398 (2008).