



# IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

Juin 2015 • [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)



## Changement climatique

Faire la différence grâce aux techniques nucléaires

Et aussi :  
Infos AIEA



## Changement climatique

Faire la différence grâce aux techniques nucléaires

ET VOUS  
INFO IAEA

### LE BULLETIN DE L'IAEA

est produit par le Bureau de l'information et de la communication (OPIC).

Agence internationale de l'énergie atomique

B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : (43-1) 2600-21270

Fax : (43-1) 2600-29610

iaebulletin@iaea.org

Rédacteur : Miklos Gaspar

Rédactrice en chef : Aabha Dixit

Collaboratrice à la rédaction : Nicole Jawerth

Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible

› en ligne : [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

› comme application mobile :

[www.iaea.org/bulletinapp](http://www.iaea.org/bulletinapp)

Des extraits des articles du Bulletin peuvent être utilisés librement à condition que la source soit mentionnée. Lorsqu'il est indiqué que l'auteur n'est pas fonctionnaire de l'IAEA, l'autorisation de reproduction, sauf à des fins de recension, doit être sollicitée auprès de l'auteur ou de l'organisation d'origine.

Les opinions exprimées dans le Bulletin ne représentent pas nécessairement celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique, et l'IAEA décline toute responsabilité à cet égard.

Couverture :

La science nucléaire peut jouer un rôle important dans l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation à ces changements.

(Maquette : Ritu Kenn)

Découvrez cette édition sur iPad



L'Agence internationale de l'énergie atomique a pour mission de prévenir la dissémination des armes nucléaires et d'aider tous les pays – en particulier ceux du monde en développement – à tirer parti de l'utilisation pacifique, sûre et sécurisée de la science et de la technologie nucléaires.

Créée en tant qu'organisme autonome des Nations Unies en 1957, l'IAEA est la seule organisation du système de l'ONU à avoir les compétences requises dans le domaine des technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau et l'environnement.

L'IAEA sert aussi de plateforme mondiale pour le renforcement de la sécurité nucléaire. Elle a mis en place la collection Sécurité nucléaire, qui rassemble des publications d'orientations sur la sécurité nucléaire faisant l'objet d'un consensus international. Ses travaux visent en outre à réduire le risque que des matières nucléaires et d'autres matières radioactives tombent entre les mains de terroristes ou de criminels, ou que des installations nucléaires soient la cible d'actes malveillants.

Les normes de sûreté de l'IAEA fournissent un système de principes fondamentaux de sûreté et sont l'expression d'un consensus international sur ce qui constitue un degré élevé de sûreté pour la protection des personnes et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants. Elles ont été élaborées pour tous les types d'installations et d'activités nucléaires destinées à des fins pacifiques ainsi que pour les mesures de protection visant à réduire les risques radiologiques existants.

En outre, l'IAEA vérifie, au moyen de son système d'inspections, que les États Membres respectent leurs engagements, conformément au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et à d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques.

Le travail de l'IAEA est multiple et fait intervenir un large éventail de partenaires au niveau national, régional et international. Ses programmes et ses budgets sont établis sur la base des décisions de ses organes directeurs – le Conseil des gouverneurs, qui compte 35 membres, et la Conférence générale, qui réunit tous les États Membres.

L'IAEA a son siège au Centre international de Vienne. Elle a des bureaux locaux et des bureaux de liaison à Genève, New York, Tokyo et Toronto. Elle exploite des laboratoires scientifiques à Monaco, Seibersdorf et Vienne. En outre, elle apporte son appui et contribue financièrement au fonctionnement du Centre international Abdus Salam de physique théorique à Trieste (Italie).

# Lutter contre le changement climatique : les contributions de la science et de la technologie nucléaires

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

Le changement climatique est le plus grand défi environnemental de notre époque. À l'heure où les gouvernements du monde entier s'apprentent à négocier un accord universel juridiquement contraignant sur le climat à la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques, qui se tiendra à Paris à la fin de l'année, il est important de reconnaître les contributions que peuvent apporter la science et la technologie nucléaires à la lutte contre le changement climatique.

La science nucléaire et notamment l'électronucléaire peuvent jouer un rôle majeur tant dans l'atténuation du changement climatique que dans l'adaptation à ses conséquences.

## Atténuation

Avec l'éolien et l'hydroélectrique, l'électronucléaire est l'une des technologies disponibles pour produire de l'électricité dont les émissions de carbone sont les plus faibles. D'après les statistiques publiées dans la dernière édition des « Perspectives énergétiques mondiales », l'électronucléaire a déjà permis d'éviter le rejet d'environ 56 gigatonnes de dioxyde de carbone depuis 1971, soit l'équivalent de deux années d'émissions mondiales aux taux actuels. C'est là un résultat tout à fait remarquable qui témoigne des possibilités qu'offre l'électronucléaire pour atténuer le changement climatique.

L'AIEA s'emploie à mieux faire connaître, à l'échelle mondiale, le rôle de l'électronucléaire face au changement climatique, en veillant en particulier à ce que le rôle qu'il peut jouer ou qu'il joue effectivement en aidant les pays à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre soit dûment reconnu.

Conformément à son mandat, l'AIEA continuera d'aider les pays à utiliser la technologie nucléaire de façon sûre, sécurisée et respectueuse de l'environnement.

## Adaptation

Malgré les mesures d'atténuation mises en œuvre dans un certain nombre de pays, le réchauffement climatique est déjà une réalité

qui a de graves conséquences visibles dans de nombreux endroits du monde.

Comme le montrent les articles du présent numéro du Bulletin de l'AIEA, la science et la technologie nucléaires peuvent jouer un rôle primordial en aidant les pays à s'adapter aux conséquences du changement climatique. Une meilleure maîtrise des inondations aux Philippines, la mise au point de nouvelles techniques d'irrigation dans des régions de plus en plus arides du Kenya, l'élaboration de nouvelles technologies pour mesurer l'impact du changement climatique dans l'Antarctique – ce ne sont là que quelques-uns des domaines dans lesquels l'appui de l'AIEA est réellement décisif.

Le progrès scientifique dépend beaucoup du talent et de l'engagement de personnes passionnées. Nous sommes fiers du travail accompli par les chercheurs qui, avec le concours de l'AIEA, mettent au point de nouvelles variétés de plantes mieux adaptées aux conditions climatiques changeantes de leurs pays. Les travaux en Afghanistan, à Maurice et au Pakistan, des boursiers de l'AIEA, qui sont mis en avant dans le présent numéro, visent à améliorer les conditions de vie d'agriculteurs dont les moyens de subsistance et la sécurité alimentaire seraient autrement menacés par les effets du changement climatique.

Comme le montrent ces exemples, la science et la technologie nucléaires apportent une contribution majeure au développement durable dans le monde. J'ai espoir que les participants aux négociations de Paris sur le climat en reconnaîtront la valeur.



**“La science nucléaire et notamment l'électronucléaire peuvent jouer un rôle majeur tant dans l'atténuation du changement climatique que dans l'adaptation à ses conséquences.”**

*Par Yukiya Amano,  
Directeur général de l'AIEA*



(Photos : C. Brady/AIEA)

## Avant-propos

### **1 Lutter contre le changement climatique : les contributions de la science et de la technologie nucléaires**

#### Changement climatique



**4 L'électronucléaire est un pilier important des stratégies d'atténuation du changement climatique de nombreux pays**



**6 Formés à adapter : des chercheurs pakistanais, mauriciens et afghans créent des variétés mutantes pour faire face à un climat changeant**



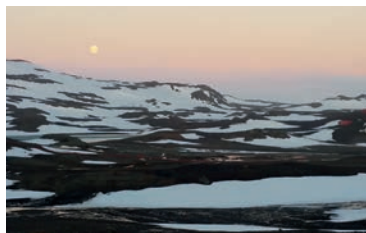
**8 Une agriculture adaptée au climat pour reverdir les terres arides du Kenya**



**10 Adaptation au changement climatique : produire plus de quinoa grâce aux techniques nucléaires**



**12 Mesurer pour changer les choses : appréhender les émissions de GES au Costa Rica**



**14 Un monde en mutation  
Utilisation des techniques nucléaires pour étudier l'impact du changement climatique dans les régions polaires et montagneuses**



**18** Quand à la montée des mers s'ajoutent de fortes pluies : des techniques nucléaires pour faire face aux inondations



**20** Acidification des océans : l'effet méconnu des émissions de CO<sub>2</sub>

Le changement climatique du point de vue mondial

**22** L'option nucléaire : plaidoyer en faveur de l'énergie nucléaire pour lutter contre le changement climatique

Par Robert Stone

Le changement climatique vu de l'intérieur de l'AIEA

**24** L'énergie nucléaire aide-t-elle vraiment à lutter contre le changement climatique?

Par Mikhail Chudakov

Infos AIEA

**25** Appel à candidatures pour des activités de recherche coordonnée de l'AIEA en 2015

**26** La Mongolie et l'AIEA : coopération fructueuse, regain d'intérêt pour la cancérothérapie

**27** Action en mer : un exercice sur la sécurité du transport effectué au large de la Suède

**28** Publications AIEA

**29** L'atome dans l'industrie

Un rayon d'espoir pour le développement

# L'électronucléaire est un pilier important des stratégies d'atténuation du changement climatique de nombreux pays

Par Miklos Gaspar

La nécessité d'atténuer le changement climatique est une des principales raisons pour lesquelles un nombre croissant de pays envisagent d'inclure l'électronucléaire dans leur bouquet énergétique national, estiment des experts de l'AIEA et des sources gouvernementales.

« Les préoccupations que suscite le changement climatique sont un des facteurs incitant des pays à introduire l'électronucléaire ou à y recourir davantage », a déclaré David Shropshire, chef de la Section de la planification et des études économiques de l'AIEA, ajoutant que parmi les autres facteurs figuraient notamment la demande croissante d'énergie et la volonté de gagner en sécurité énergétique et de réduire la dépendance à l'égard de la volatilité des prix des combustibles fossiles.



Centrale nucléaire en construction en Chine.

(Photo : C. Brady/AIEA)

La construction de nouvelles centrales nucléaires aidera le Royaume-Uni à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 80 % d'ici 2050 et à assurer son approvisionnement énergétique, peut-on lire dans le document d'orientation du gouvernement sur sa politique relative aux technologies bas carbone pour 2010-2015. « L'électronucléaire est faible en émissions de carbone, abordable, fiable, sûr, et il contribue à la diversification de l'approvisionnement énergétique », indique le document. La France est, parmi les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), le quatrième plus faible émetteur de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par unité de PIB, « grâce à son parc de centrales nucléaires », précise le document d'orientation du gouvernement français sur la politique énergétique durable.

D'après la dernière édition des Perspectives énergétiques mondiales de l'Agence internationale de l'énergie, l'électronucléaire a permis d'éviter le rejet d'une quantité de CO<sub>2</sub> estimée à 56 gigatonnes depuis 1971, soit près de deux années d'émissions mondiales aux taux actuels. D'ici 2040, le recours à l'énergie nucléaire aura permis d'empêcher le rejet de l'équivalent de quatre années d'émissions de CO<sub>2</sub>.

## L'électronucléaire, un élément clé du plan de la Chine pour une énergie propre

Accroître la capacité de l'électronucléaire et sa part dans le bouquet énergétique est une mesure qui aidera la Chine à honorer son engagement de réduire ses émissions de gaz à effet de serre à partir de 2030. Le pays, qui compte à lui seul plus d'un tiers des réacteurs nucléaires de puissance en construction dans le monde, voit dans l'électronucléaire une source d'énergie propre, qui lui permettra de lutter contre les problèmes environnementaux aux niveaux tant mondial que local, tout en contribuant à la croissance économique nationale, a déclaré Jingye Cheng, ambassadeur et représentant permanent de la Chine auprès de l'Organisation des Nations Unies et des autres organisations internationales sises à Vienne.

« Le changement climatique est un défi auquel tous les pays doivent faire face, et il est important que la communauté internationale conjugue ses forces pour le relever », a déclaré M. Cheng, ambassadeur de la Chine auprès de l'AIEA. « La Chine fera sa part, et l'énergie nucléaire fait partie de la solution »

Améliorer l'efficacité énergétique de l'économie et accroître la part des sources d'énergie renouvelable sont d'autres éléments importants des plans de la Chine pour atténuer le changement climatique, a-t-il ajouté.

« Si nous continuons pour le moment de nous appuyer sur des sources de combustibles fossiles, nous accordons une attention accrue au développement de ressources à faible intensité carbone », a dit M. Cheng. Selon l'objectif fixé par le plan national d'action stratégique en matière de développement énergétique, la part des sources d'énergie non fossile devrait atteindre 15 % à l'horizon 2020, contre un peu moins de 10 % à la fin de 2013.

La Chine exploite 23 réacteurs nucléaires de puissance ; 27 sont en cours de construction et plusieurs autres vont très prochainement être mis en chantier. D'autres réacteurs, dont certains comptent parmi les plus avancés au monde, sont

prévus, l'objectif étant de multiplier plus de trois fois la capacité nucléaire pour la porter à 58 gigawatts d'ici 2020. Les réacteurs en construction auront une capacité cumulée de 30 gigawatts.

La Chine est confrontée à une situation écologique grave et prend des mesures pour faire face au changement climatique, a expliqué M. Cheng. Son plan national sur le changement climatique prévoit notamment la création d'un marché d'échange de droits d'émissions de CO<sub>2</sub>, ainsi qu'un renforcement de la coopération internationale en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, au nom du principe des « responsabilités communes mais différenciées ». Pour ce qui est du développement de l'énergie nucléaire, le pays concentre ses efforts sur la construction de grands réacteurs à eau sous pression et la mise au point et l'essai, au titre de pilote,

de réacteurs à haute température refroidis par gaz et de réacteurs à neutrons rapides, a ajouté M. Cheng.

Forte de son bilan en matière d'exploitation sûre et sécurisée de ses centrales nucléaires et de l'essai au titre de pilote de son nouveau modèle de réacteur de troisième génération, la Chine est devenue un acteur mondial dans le domaine de la technologie nucléaire, a déclaré M. Cheng. « Nous sommes disposés à partager nos compétences et notre technologie avec des pays primo-accédants et ceux qui développent leur programme électronucléaire et à leur apporter un soutien financier. »

Julie Sadler a également participé à la rédaction du présent article.

## Qu'est-ce que le changement climatique ?

Le changement climatique est un sujet dont tout le monde parle, mais qu'est-ce et pourquoi a-t-il lieu maintenant ?

Il est tout d'abord important de noter que le climat de la Terre change constamment ; les températures moyennes et les conditions météorologiques mondiales varient d'une année à l'autre, mais sur de longues périodes, les chercheurs peuvent mettre au jour et étudier des tendances climatiques. Dans le passé, les changements du climat ont été attribués à l'activité solaire, à la tectonique des plaques et à l'activité volcanique, voire à des facteurs biotiques. Toutefois, le changement climatique actuel dont parlent les médias n'est pas lié à de tels processus naturels. Ce phénomène, le changement climatique dit « anthropique » ou causé par l'homme, est en gestation depuis la révolution industrielle.

Les facteurs entrant en jeu dans le changement climatique anthropique sont divers, mais le Groupe d'experts intergouvernemental des Nations Unies sur l'évolution du climat, la plus haute autorité en la matière dans le monde, a déclaré que les gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), en sont la principale cause. Le CO<sub>2</sub> est un composé chimique gazeux qui est émis lors de l'utilisation de combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Les plantes absorbent du CO<sub>2</sub> au cours de la photosynthèse, mais les taux d'émission actuels sont tels que les végétaux et autres « puits de carbone » ne parviennent plus à éliminer le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère.

Depuis 1900, la température mondiale moyenne a augmenté de 0,7 degré Celsius et les effets du changement climatique sont déjà visibles. Parmi les incidences escomptées et observées des émissions de CO<sub>2</sub> et du changement climatique figurent notamment : modification des régimes

des précipitations, recul des glaciers, perte de masse de la calotte glaciaire du Groenland et de l'Antarctique, diminution de la superficie de la banquise arctique, fonte du pergélisol, catastrophes naturelles telles que canicules, sécheresses, inondations, cyclones et incendies, et acidification des océans.

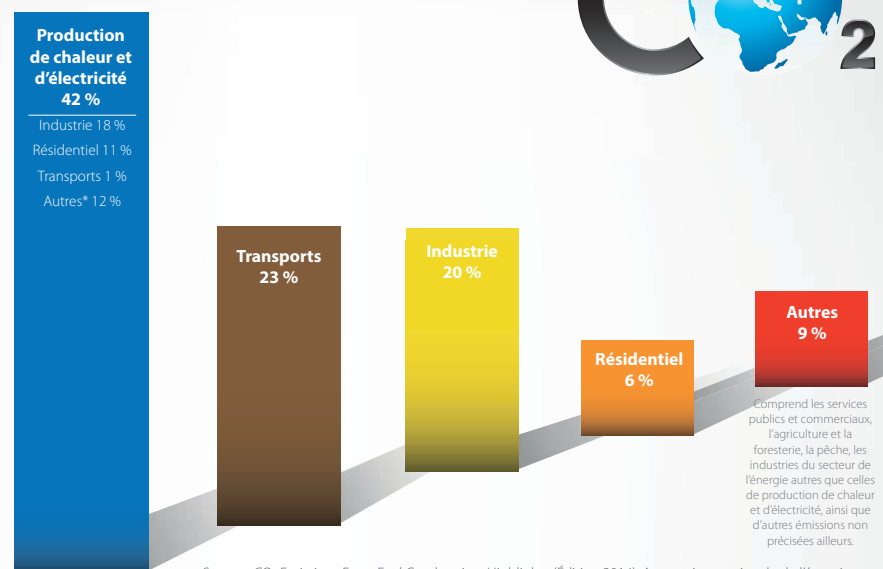
<sup>1</sup> GIEC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report, Summary for Policymakers*, [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).

<sup>2</sup> Les puits de carbone sont des réservoirs qui absorbent et stockent pour une durée indéfinie des composés chimiques contenant du carbone. Les océans, les forêts et les sols en font partie.

## Émissions mondiales de CO<sub>2</sub> par secteur en 2012

En 2012, deux secteurs totalisaient à eux seuls près des deux tiers des émissions mondiales : la production de chaleur et d'électricité, et les transports.

Note : l'infographie montre également la répartition de la production de chaleur et d'électricité par secteur.



# Formés à adapter : des chercheurs pakistanais, mauriciens et afghans créent des variétés mutantes pour faire face à un climat changeant

Par Nicole Jawerth

Du coton pakistanais aux tomates mauriciennes et au blé afghan, de nombreuses cultures dans le monde sont ravagées à cause de précipitations irrégulières, de sécheresses, de maladies et de canicules persistantes, autant de phénomènes qui sont exacerbés par le changement climatique. Alors qu'on continue dans le monde à rechercher des solutions

aux problèmes climatiques, trois chercheurs mettent à profit les formations qu'ils ont suivies auprès de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture pour créer de nouvelles variétés capables de supporter ces conditions hostiles et aider ainsi à préserver la croissance de la production agricole dans leurs pays.

## La culture du coton au Pakistan

« Au Pakistan, le changement climatique détériore gravement les cultures et a des effets néfastes sur la croissance, la maturation et le rendement des cotonniers, et donc sur la vie des agriculteurs, » a expliqué Mehboob-ur Rahman, chercheur principal et chef d'équipe au Laboratoire de génomique végétale et de phyto-génétique moléculaire de l'Institut national de biotechnologie et de génie génétique, qui dépend de la Commission pakistanaise de l'énergie atomique. « Je mets à profit ma formation dans le cadre de différents projets qui visent à créer de nouvelles variétés de plantes, notamment des lignés mutantes de coton et de blé capables de tolérer des températures plus élevées et de mieux résister aux maladies. Mon groupe a déjà mis au point sept variétés de cotonniers. » Le coton est une des principales cultures commerciales du Pakistan et une source majeure de devises pour le pays. Comme plus de 70 % de la

population vit dans les zones rurales, il constitue également un important moyen de subsistance pour beaucoup de gens.

M. Rahman a suivi des formations en juin 2012 et en février 2013 au Laboratoire de la sélection des plantes et de la phyto-génétique, un des cinq Laboratoires FAO/AIEA d'agronomie et de biotechnologie de Seibersdorf (Autriche). Il a appris à créer de nouvelles variétés au moyen de la sélection par mutation (voir l'encadré page 11) et a collaboré étroitement avec des experts de l'AIEA et des scientifiques du monde entier.

« Avant ma formation, je n'avais jamais pu participer à des travaux de recherche de ce type et j'ai été fasciné par la rapidité avec laquelle on pouvait créer de nouvelles variétés grâce à cet outil, qui est souvent plus efficace que les méthodes de sélection traditionnelles », a-t-il dit.

M. Rahman travaille maintenant au sein d'une équipe de l'Institut dans le cadre d'un projet de coopération technique de l'AIEA, et utilise ses compétences pour mettre au point de nouvelles variétés de cotonniers et de blé capables de résister aux stress environnementaux et à des maladies telles que l'enroulement de la feuille du cotonnier, due à un virus qui provoque le rabougrissement des cotonniers et en réduit radicalement le rendement.

« Chaque année, je crée des lignées mutantes de cotonniers et de blé », a expliqué M. Rahman. « Après une phase d'essai, les lignées les plus prometteuses sont sélectionnées et multipliées puis, une fois validées, elles sont distribuées aux agriculteurs. » Selon M. Rahman, les nouvelles lignées mutantes devraient être mises à l'essai à l'horizon 2016-2017 dans plusieurs exploitations. Elles contribueront à soutenir les rendements et à améliorer la situation socio-économique des populations rurales.



Mehboob-ur Rahman, chercheur principal à la Commission pakistanaise de l'énergie atomique (à gauche), et Bradley Till, Administrateur technique au Laboratoire de la sélection des plantes et de la phyto-génétique de la FAO/AIEA (à droite).

(Photo : A. Qaiser Khan/Commission pakistanaise de l'énergie atomique)



## La culture de la tomate à Maurice

« Si les fortes précipitations interrompent certaines activités socio-économiques, scolaires et touristiques, elles ont également des effets sur le secteur agricole car elles endommagent de nombreuses plantations. De même, la hausse des températures influe sur les modes de culture, la floraison et le rendement de certains fruits et légumes. Elle a des effets directs sur la phase de floraison des plants de tomates : les fleurs tombent, ce qui engendre une réduction du nombre de fruits, et donc une diminution des rendements », a expliqué Saraye Banumaty, chercheuse en chef à l'Institut de recherche et de développement agroalimentaires de Maurice. « Le programme de sélection par mutation des tomates vise à mettre au point une lignée mieux adaptée à des températures élevées, afin de faire face au changement climatique. »

M<sup>me</sup> Banumaty met à profit les formations qu'elle a suivies en 2011 et en 2014-2015 aux laboratoires FAO/AIEA pour progresser dans

les recherches qu'elle mène à Maurice. « Ces deux formations m'ont permis de mieux connaître les techniques nucléaires et autres utilisées pour l'induction de mutations aux fins de l'amélioration des cultures. Qui plus est, j'ai pu découvrir et mettre en pratique des applications de la biotechnologie pour la détection de mutants. La formation que j'ai reçue à l'AIEA m'a permis de renforcer mes capacités pour l'exécution de travaux de recherche dans mon pays. »

Les nouvelles variétés mutantes de tomates en sont encore au stade de l'évaluation et de la mise au point dans le cadre d'un projet financé par l'AIEA, mais les résultats préliminaires montrent que certaines lignées mutantes sont tolérantes au stress thermique. Ces variétés devraient être mises sur le marché d'ici la fin de 2016, et M<sup>me</sup> Banumaty espère qu'elles « contribueront à améliorer la production locale de tomates et à augmenter les revenus des petits exploitants ».



**Saraye Banumaty, chercheuse en chef à l'Institut de recherche et de développement agroalimentaires de Maurice.**

(Photo : D. Ndeye Fatou)

## La culture du blé en Afghanistan

« Un agriculteur afghan possède en moyenne un hectare de terres et une famille afghane compte en moyenne sept membres. Par conséquent, les 50 000 hectares de cultures de la nouvelle variété de blé que j'ai créée à la suite de la formation que j'ai reçue à l'AIEA ont permis à 350 000 personnes de bénéficier de meilleurs rendements et d'une résistance accrue de la plante aux maladies », a déclaré Sekander Hussaini, chef du Centre de recherche en chimie, en biologie et en agriculture de l'Académie des sciences d'Afghanistan. « Plus de 70 % des Afghans vivant de l'agriculture et du commerce lié à cette activité, la sélection de lignées mutantes adaptées au climat et l'exploitation de nouvelles variétés jouent un rôle très important en Afghanistan, car elles améliorent les conditions de vie des agriculteurs. »

M. Hussaini a suivi des formations sur les techniques nucléaires de sélection de plantes par mutation aux laboratoires FAO/AIEA en 1992 et en 2012. « Ces formations m'ont aidé à maîtriser les techniques de sélection et à reconnaître les variétés de blé les mieux

adaptées au climat et aux sols afghans », a-t-il expliqué. De nombreuses variétés de semences mises au point par M. Hussaini ont amélioré les rendements dans plusieurs provinces afghanes. Ces variétés et les travaux qu'il mène dans d'autres domaines de l'amélioration des plantes ont valu à M. Hussaini le Prix 2014 des réalisations en amélioration des cultures par mutagenèse induite, décerné par la FAO et l'AIEA, ainsi qu'une nomination au Prix mondial de l'alimentation en 2012-2014.

Il travaille à présent sur de nouvelles semences de blé qui sont toujours en cours d'évaluation mais pour lesquelles les premiers résultats semblent prometteurs. « Six variétés expérimentales ont été sélectionnées pour leur qualité, leurs rendements plus de deux fois supérieurs à ceux des variétés parentes et leur résistance accrue aux maladies », a-t-il dit. « Nous étudions maintenant ces semences et travaillons à la sélection de la prochaine génération. »



**Sekander Hussaini, chef du Centre de recherche en chimie, en biologie et en agriculture de l'Académie des sciences d'Afghanistan**

(Photo : FAO/AIEA)

# Une agriculture adaptée au climat pour reverdir les terres arides du Kenya

Par Rodolfo Quevenco



**Des pratiques agricoles adaptées au climat peuvent aider à transformer des terres marginales en champs productifs.**

(Photo : D. Calma/AIEA)

Les terres arides et semi-arides couvrent près de 80 % de la superficie du Kenya, et le changement climatique menace cet écosystème fragile.

Dans un pays où les pratiques agricoles moins qu'optimales se traduisent déjà par une croissance médiocre des cultures, une faible couverture végétale, de faibles rendements et une grave dégradation des terres, les conditions météorologiques dues au changement et à la variabilité climatiques font que la sécheresse et la pénurie d'eau sont devenues des phénomènes courants.

En se servant de techniques nucléaires, l'AIEA aide le Kenya à améliorer la fertilité des sols et les technologies de gestion de l'eau dans le cadre d'une gestion intégrée de la fertilité des sols (voir encadré), qui peut contribuer à maintenir un bilan hydrique, nutritif et carbone approprié et à adapter au mieux les systèmes agricoles au changement climatique.

## Trouver un juste équilibre

Dans le cadre d'un projet quinquennal en cours, l'AIEA s'emploie avec des laboratoires et des scientifiques locaux à déterminer l'ampleur de la perte de carbone

par le sol et les effets de la sécheresse sur les plantes et les ressources en eau dans les régions arides et semi-arides du Kenya. Elle aide également à mesurer l'assimilation des engrais et l'utilisation de l'eau ainsi que le taux d'évaporation. Les données fournies par les essais en champ serviront à alimenter divers modèles en vue de générer des recommandations au sujet des systèmes appropriés d'exploitation agricole à introduire dans les régions touchées.

Plus de 300 exploitants agricoles ont, par exemple, été formés aux techniques de construction de terrasses, qui permettent de conserver les sols et l'eau et d'améliorer la productivité. La plupart d'entre eux ont été en mesure d'adopter ces techniques et ont obtenu depuis de bons rendements, a déclaré Isaya Sijali, chercheur principal et coordonnateur de la gestion de l'irrigation, du drainage et des sols difficiles à l'Organisation kényane de recherche sur les cultures et les troupeaux. Beaucoup peuvent maintenant récolter plus de 10 tonnes de fourrage à l'hectare sur des terres qui étaient improductives avant le lancement du projet.

L'AIEA fournit en outre du matériel et des experts à l'appui du projet. Afin de faciliter le transfert de connaissances aux contreparties

locales, elle a accordé plusieurs bourses et visites scientifiques et dispensé une formation à l'aide de bourses.

Un objectif essentiel est de lutter contre la dégradation des terres due au surpâturage et à de mauvaises pratiques de gestion des sols. Le projet vise également à stimuler la production agricole, a déclaré M. Sijali.

« Un recours aux techniques nucléaires pour valider les technologies de gestion de l'eau et des nutriments est essentiel pour que le Kenya réalise sa vision d'instaurer un secteur de l'agriculture et de l'élevage qui soit moderne et productif », a-t-il dit.

« Ces technologies nous aideront à utiliser au mieux les terres à fort et moyen potentiel et à poursuivre la mise en valeur de zones arides et semi-arides à la fois pour l'agriculture et pour l'élevage », a-t-il ajouté. « Les techniques nucléaires nous aideront aussi à adapter rapidement l'utilisation de ces terres pour mieux faire face aux effets du changement climatique ».

### Collaboration avec d'autres institutions

L'Institut international d'analyse systémique appliquée (IIASA) de Vienne (Autriche) collabore aussi au projet. Des experts de l'IIASA travaillent avec les contreparties kényanes et l'AIEA à l'évaluation de l'empreinte hydrique des cultures dans les comtés Central, Eastern et Rift Valley. Ces travaux devraient permettre de recueillir de précieuses données sur la quantité d'eau consommée par rapport aux précipitations et aux disponibilités en eaux superficielles ou souterraines.

Les évaluations des disponibilités en eau – abondance, besoins et/ou pénurie – permettront à leur tour de se faire une meilleure idée de l'impact de la sécheresse sur les ressources existantes et les communautés dans ces zones.

Il est à noter que dans le prolongement de ce projet, on prévoit de mettre au point une technologie mobile pour la diffusion d'informations auprès des exploitants. Une fois qu'elle sera en place, des informations pratiques concernant par exemple la quantité d'engrais à utiliser ou la fréquence des irrigations pourront être envoyées directement aux exploitants à partir d'un téléphone portable.



**Près de 80 % de la superficie du Kenya sont constitués de terres arides et semi-arides.**

(Photo : R. Quevenco/AIEA)

### Agriculture adaptée au climat

Ce modèle agricole adaptatif intégré est dénommé le plus souvent « agriculture adaptée au climat ».

« Nous ne serons peut-être pas en mesure de stopper complètement les effets ravageurs de la sécheresse, mais nous pourrions les réduire au minimum en employant des méthodes agricoles qui s'adaptent à l'évolution des conditions climatiques et accroissent la productivité tout en préservant la durabilité des ressources naturelles », a déclaré M. Sijali.

« En soutenant les exploitants et en leur donnant les moyens de recourir à des pratiques durables de gestion des terres, nous les aidons à contribuer à un écosystème favorable et au maintien d'un bilan hydrique, nutritif et carbone approprié et donc d'une meilleure qualité de vie pour tous ».

## LA SCIENCE

### Gestion intégrée de la fertilité des sols

Des essais en champ ont été mis en place dans différentes régions du Kenya en vue de déterminer les meilleures pratiques intégrées associant les principes de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), de l'agriculture de conservation et de la gestion de l'eau. Les résultats ont montré que dans la zone aride et semi-aride de l'est du Kenya, des ensembles

technologiques comportant un recours au billonnage cloisonné pour la conservation de l'eau, à des variétés améliorées, au fumier et au micro-dosage ont fait passer les rendements en maïs par hectare de moins de 500 kilogrammes à 1,2 tonne en moyenne.

# Adaptation au changement climatique : produire plus de quinoa grâce aux techniques nucléaires

Par Aabha Dixit



## Champ de lignées mutantes de quinoa.

(Photo : L. Gomez-Pando/Université agraire nationale de La Molina, Pérou)

Dans la bataille pour aider les pays en développement à vaincre les menaces d'une réduction de la production alimentaire à cause du changement climatique, une espèce de graine comestible a retenu l'attention de la communauté internationale en raison de sa valeur nutritionnelle sans égale. De nouvelles variétés améliorées de quinoa, plante cultivée à l'origine sur les hauts plateaux d'Amérique du Sud, seront mises à la disposition des exploitants sous forme de mutants adaptés aux environnements difficiles de la Bolivie et du Pérou.

Cet accroissement de la diversité génétique résulte du recours aux techniques nucléaires (voir encadré) en collaboration avec l'AIEA et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), a déclaré L. Gomez-Pando, professeur principal et chef du Programme national de recherche sur les céréales et les graines indigènes à l'Université agraire nationale de La Molina au Pérou. « On a sélectionné 64 lignées mutantes de quinoa sur la base de leur rendement potentiel et de leur qualité commercialisable », a-t-il dit. « Ces lignées mutantes seront évaluées plus avant, et les meilleures seront diffusées comme variétés nouvelles en 2015-2016. »

En utilisant de nouvelles variétés de quinoa à haut rendement, les exploitants pourront améliorer leur revenu et accroître leur propre ration protéique, a expliqué M. Gomez-Pando. Ces nouvelles variétés fourniront des graines à des prix abordables aux personnes exposées à la malnutrition, en particulier les enfants de moins de cinq ans.

« En raison de sa valeur nutritionnelle, agronomique et économique élevée, le quinoa est appelé à devenir un aliment de premier plan pour les générations futures et une culture de substitution importante, eu égard aux défis posés par le changement climatique », a déclaré Qu Liang, directeur de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. Le quinoa est désormais considéré comme tenant une place essentielle dans les efforts de lutte contre la faim, la malnutrition et la pauvreté.

## Protéger et accroître la production de quinoa grâce aux techniques nucléaires

La Division mixte a fait appel à des techniques nucléaires de pointe pour permettre aux exploitants d'Amérique latine et d'ailleurs d'accroître encore la production de quinoa. On y est parvenu en induisant des mutations et en détectant les génotypes améliorés, ce qui a permis d'obtenir de nouvelles variétés de quinoa.

Le quinoa a une composition nutritionnelle exceptionnelle, avec une teneur en protéines supérieure à celles du riz brun, de l'orge et du millet. Outre qu'il est dépourvu de gluten, le quinoa est une excellente source de fibres alimentaires et contient beaucoup de phosphore, de magnésium, de fer et de calcium. En outre, il est riche en vitamines.

## Intérêt mondial pour la culture du quinoa

Le quinoa est cultivé dans la région andine, depuis la Colombie au nord jusqu'en Argentine et au Chili au sud. Il est planté principalement à des altitudes comprises entre 3 000 et 4 000 mètres, où les conditions climatiques hostiles contrarient la croissance d'autres cultures. Les principaux pays producteurs sont la Bolivie, le Pérou et l'Équateur. Aux États-Unis d'Amérique, en France, en Angleterre, en Suède, au Danemark, en Hollande et en Italie, ainsi qu'au Maroc, en Égypte, au Kenya et dans le nord de l'Inde, des exploitants ont aussi commencé à cultiver cette plante, et ce avec de plus en plus de succès.

La reconnaissance de la valeur du quinoa a transformé cette culture négligée en une culture suscitant une forte demande au niveau international. On a mis au point diverses variétés de quinoa tolérant la salinité, la sécheresse ou le gel, et ces caractéristiques ont encore accru l'intérêt pour sa culture au niveau mondial. De précieuses ressources génétiques peuvent être obtenues au moyen de techniques de sélection par mutation en vue d'améliorer la productivité et la qualité du quinoa. « Le recours aux techniques nucléaires permet de réduire l'impact de caractères négatifs », a déclaré Ljupcho Jankuloski, généticien à la Division mixte FAO/AIEA. Les chercheurs ont maintenant mis au point des variétés qui sont plus courtes et donc plus aisées à récolter, qui ont des cycles végétatifs raccourcis et qui contiennent moins de saponine, détergent naturel donnant un goût amer aux graines. Les nouvelles variétés qui devraient être diffusées d'ici la fin de l'année contribueront à l'accroissement de la production de quinoa et à l'amélioration des moyens de subsistance des exploitants, a-t-il dit.



**Plants de nouveaux mutants de quinoa au Pérou.**

(Photo : L. Gomez-Pando/Université agraire nationale de La Molina, Pérou)

En hommage aux pratiques ancestrales des peuples andins qui sont parvenus à travers les siècles à conserver le quinoa à l'état naturel pour nourrir les générations présentes et futures, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé 2013 « Année internationale du quinoa ».

## LA SCIENCE

### Sélection des plantes par mutation

La sélection des plantes par mutation est un procédé consistant à exposer des semences, des boutures ou des feuilles déchiquetées à des rayonnements, par exemple gamma ou X, puis à planter les semences ou à cultiver la matière irradiée dans un milieu d'enracinement stérile pour obtenir une plantule. Les plants sont ensuite multipliés et l'on examine leurs caractères. La sélection assistée par marqueurs moléculaires, souvent appelée simplement sélection assistée par marqueurs (SAM), sert à accélérer la sélection des plants porteurs de gènes intéressants (caractères souhaités). La SAM fait appel à des marqueurs moléculaires pour sélectionner les plants porteurs de certains gènes exprimant les caractères souhaités. On poursuit la culture de ceux qui présentent ces caractères.

La sélection des plantes par mutation ne modifie pas les gènes, mais exploite le propre matériel génétique de la plante et imite le processus naturel de mutation spontanée, le moteur

de l'évolution, processus qui prendrait autrement des millions d'années. En recourant aux rayonnements, les chercheurs peuvent ramener le délai nécessaire pour observer des variations bénéfiques à un an. Les techniques de présélection ciblent certains caractères destinés à répondre aux besoins, tels que la tolérance à une forte salinité du sol ou la résistance à certaines maladies ou espèces nuisibles. On peut ainsi valider une nouvelle variété aux fins de son utilisation en un temps record.

# Mesurer pour changer les choses : appréhender les émissions de GES au Costa Rica

Par Michael Amdi Madsen

Le Costa Rica se préoccupe réellement du changement climatique. L'élévation du niveau de la mer, la variabilité climatique et les épidémies d'origine climatique sont susceptibles de nuire aux ressources en eau potable et de menacer les amphibiens et les organismes marins locaux. Le pays est résolu à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et prend maintenant des mesures pour déterminer la quantité de GES émise par les secteurs laitier et agricole afin d'arrêter les actions qu'il pourra mener pour atténuer l'impact du changement climatique.

« Le manque de formation et d'équipements de même que l'absence de laboratoire national font que le Costa Rica se sert des coefficients d'émission internationaux pour estimer les quantités de GES émises par l'agriculture » a déclaré Ana Gabriela Pérez, chercheuse à l'Université du Costa Rica, qui s'occupe de créer un laboratoire national de référence pour la mesure des GES dans le pays.

« Le Costa Rica ambitionne de devenir carboneutre en 2021, mais les coefficients internationaux d'émission de GES ne sont pas très exacts pour nous. Le pays a besoin de données plus fiables sur ses propres émissions et il doit pouvoir rassembler ces données lui-même » a-t-elle dit. Un des moyens de rassembler des données sur les émissions de GES dues aux différentes utilisations des terres consiste à s'associer à l'AIEA pour développer les capacités analytiques et matérielles du Costa Rica dans le domaine des techniques nucléaires.

## Solutions atomiques

Les techniques nucléaires offrent des avantages substantiels par rapport aux techniques classiques pour mesurer l'impact du changement climatique (voir encadré). « Les analyseurs d'isotopes stables nous donnent la possibilité d'assurer un suivi dynamique des processus agricoles. Ils nous permettent de quantifier les modes de capture et d'émission de carbone des pratiques agricoles et, ainsi, de trouver des moyens d'améliorer celles-ci » a expliqué M<sup>me</sup> Pérez.

La séquestration du carbone joue un rôle clé pour contrebalancer l'accroissement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'agriculture. Il s'agit d'un processus consistant à modifier les pratiques agricoles en vue de réduire les émissions de carbone au minimum et d'aider à éliminer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère en reconstituant les réserves de dioxyde de carbone qui s'appauvrissent dans les sols dégradés – en augmentant ainsi leur productivité et leur résilience à des conditions climatiques difficiles.

La quantification des émissions de CO<sub>2</sub> du sol est irremplaçable pour donner un idée des taux de décomposition du carbone et du bilan respiratoire microbien – qui peuvent à leur tour être utilisés pour induire des modifications des pratiques agricoles influant sur les processus liés au sol et le rejet de CO<sub>2</sub>. Grâce à son exactitude et à sa robustesse, la technologie des faisceaux laser dans l'infrarouge proche permet de quantifier avec précision les processus liés au sol et au carbone dans les terres cultivées.

## Comment les GES provoquent-ils un réchauffement global ?

Les GES sont des gaz qui piègent la chaleur dans l'atmosphère terrestre. Ils absorbent et émettent un rayonnement infrarouge en provoquant ce que l'on appelle « l'effet de serre » – processus par lequel le rayonnement thermique de la terre est absorbé et réfléchi vers sa surface, ce qui accroît sa température d'environ 33 °C par rapport à celle qu'elle serait en l'absence totale de tels gaz. Ce processus est nécessaire au maintien d'un climat tempéré sur la planète, mais l'accumulation

croissante de GES conduit maintenant à un réchauffement global.

Les principaux GES présents dans notre atmosphère sont la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub>, le méthane, le N<sub>2</sub>O et l'ozone.



**Analyse d'échantillons prélevés en champ à l'aide d'un chromatographe gazeux avec autoéchantillonneur d'espace de tête.**

(Photo : Ana Gabriela Pérez, chercheuse, Université du Costa Rica)

L'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) est un GES dont le potentiel de réchauffement global est 298 fois supérieur à celui du  $CO_2$  et est produit naturellement dans les sols par les processus microbiens de nitrification, de co-dénitrification et de dénitrification. « Nous pouvons recourir aux techniques nucléaires pour déterminer si le  $N_2O$  est produit à partir de l'azote des engrais ou de l'azote du sol » a expliqué Pérez. On sait grâce aux mesures effectuées à l'aide de  $^{15}N$  que 10 à 40 % des émissions totales de  $N_2O$  peuvent être attribuées aux engrais et que 60 à 90 % d'entre elles proviennent du sol, a ajouté M<sup>me</sup> Pérez.

### Une évolution réelle pour le changement climatique

Ces données nouvelles, qui sont propres au Costa Rica, aideront à concevoir un changement d'orientation dans le pays. Les émissions de GES, et en particulier les effets des engrais, sont à la base de calculs de coûts-avantages qui peuvent servir à déterminer les quantités et les types appropriés d'engrais à appliquer pour progresser vers la carboneutralité dans le secteur laitier.

Le projet aide à changer les choses grâce à une participation du secteur privé sous la forme d'exposés et d'études de terrain à

l'Université du Costa Rica ainsi qu'à la Commission conjointe sur l'élevage du Programme de recherche et de transfert de technologie.

Le projet mené au Costa Rica est un des nombreux projets de recherche coordonnée exécutés actuellement par l'AIEA en coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en vue de dresser un tableau plus précis et plus complet des émissions de GES dans le monde, a déclaré Mohammad Zaman, pédologue à la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture. Mis à part le Costa Rica, le projet contribue également à rendre des chercheurs de l'Allemagne, du Brésil, du Chili, de la Chine, de l'Espagne, de l'Estonie, de l'Éthiopie, de l'Iran et du Pakistan mieux à même de mesurer les émissions de GES avec plus de précision et de déterminer leur origine exacte dans les sols en vue d'appliquer des mesures d'atténuation, a dit M. Zaman.

## LA SCIENCE

### Utilisation d'isotopes pour étudier la production de GES

Les isotopes sont des éléments chimiques (comme le carbone ou l'azote) qui ont le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. Ils réagissent chimiquement de la même manière, mais ils se distinguent par leurs poids atomiques différents. L'utilisation d'isotopes comme traceurs permet aux chercheurs de suivre la circulation d'éléments à travers des cycles complexes et de voir comment ils participent à la formation de molécules particulières comme celles que l'on trouve dans les GES.

Dans le cas du  $N_2O$ , les chercheurs peuvent analyser les isotopomères (molécules ayant le même nombre d'isotopes de chaque élément mais dans des positions chimiquement distinctes) dans les processus de nitrification, de dénitrification et de co-dénitrification dans le sol pour étudier comment les molécules à base d'azote évoluent au cours de ces processus et quels sont les différents facteurs qui influencent la production de ce puissant GES.

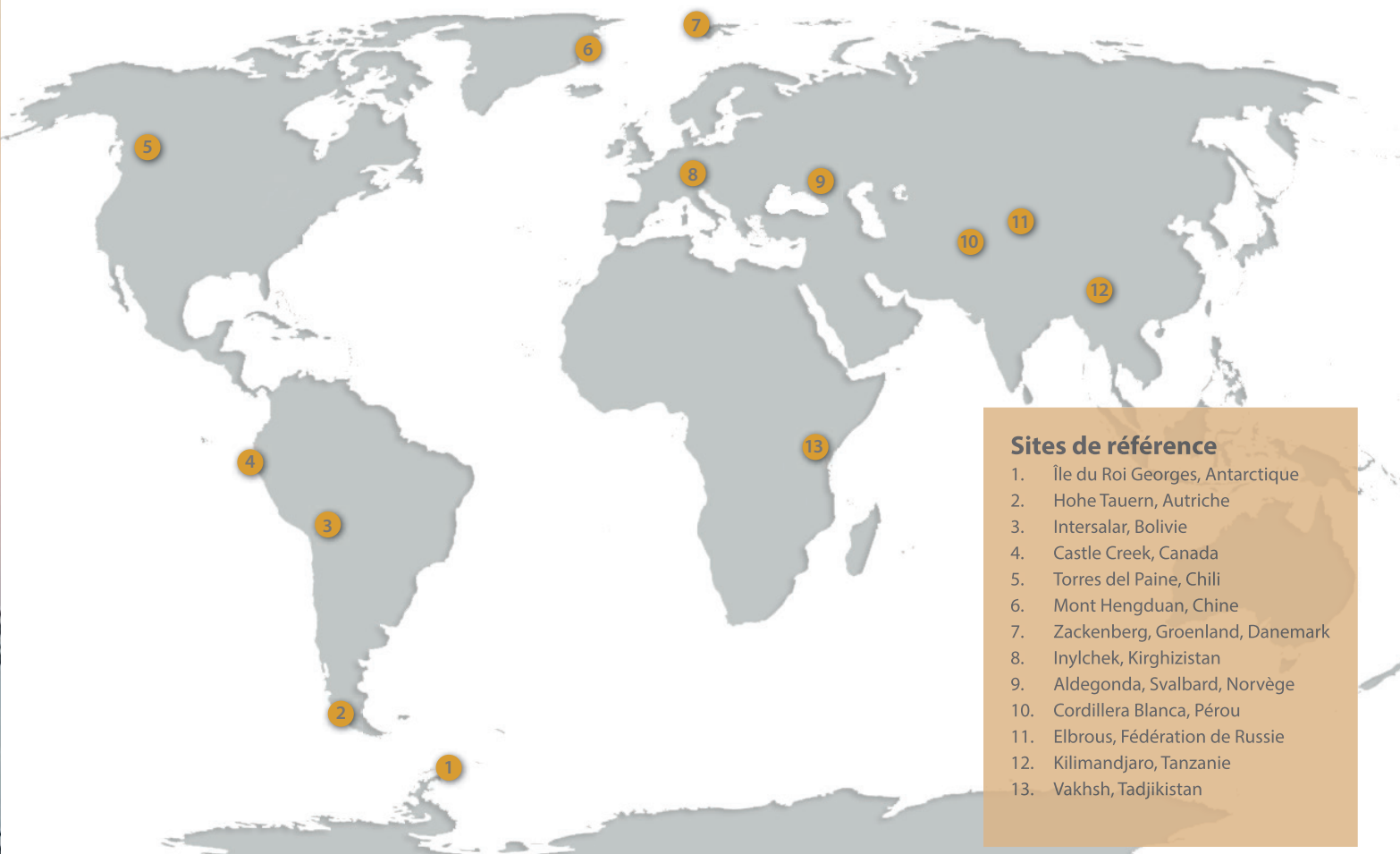
# Un monde en mutation

Utilisation des techniques nucléaires pour étudier  
l'impact du changement climatique dans les régions  
polaires et montagneuses

Par Sasha Henriques







Des techniques nucléaires sont utilisées dans les régions polaires et montagneuses pour étudier le changement climatique et son impact sur la qualité des terres, de l'eau et des écosystèmes afin de mieux conserver et gérer ces ressources.

Des chercheurs du monde entier utiliseront des données provenant de 13 sites de référence pour tirer des conclusions quant aux effets du changement climatique rapide sur l'Arctique, les montagnes et la partie occidentale de l'Antarctique, qui ont alarmé les communautés, les écologistes, les scientifiques et les responsables politiques. Entre juillet 2015 et juillet 2016, grâce à des techniques isotopiques et nucléaires ainsi qu'à des méthodes d'analyse géochimiques et biologiques relevant d'autres disciplines scientifiques, ils pourront effectuer un suivi de l'eau dans les sols ainsi que du mouvement des sols et des sédiments et évaluer les effets de la fonte du permafrost sur l'atmosphère, de même que sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, notamment les écosystèmes fragiles, des régions montagneuses et polaires. Ces activités font suite à de nombreux essais effectués sur le terrain depuis novembre 2014 pour perfectionner la technique d'échantillonnage.

Nombreux sont ceux qui craignent qu'à cause du changement climatique, les sols deviennent instables et que les communautés vivant dans des zones montagneuses aient moins d'eau à leur disposition. On s'inquiète aussi du fait que les gaz à effet de serre piégés dans les sols de ces régions depuis des millénaires vont à présent être libérés dans l'atmosphère, ce qui modifiera encore le climat de la Terre.

L'AIEA a entrepris un projet de coopération technique de quatre ans (2014-2017) auquel participent 23 pays et six organisations internationales pour déterminer si ces préoccupations concernant le changement climatique sont justifiées et, dans l'affirmative, définir ce qui peut être fait.

Bien que le projet soit mené dans des régions polaires et montagneuses, les résultats, en particulier ceux concernant le permafrost et le carbone dans l'atmosphère, pourront être exploités au niveau mondial.

Gerd Dercon, chef du Laboratoire de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture, a fait remarquer que l'impact du changement climatique dans les régions montagneuses et polaires n'était pas toujours bien compris. « C'est une des raisons pour lesquelles ce projet est si important. Il est aussi très utile pour comprendre ce qui se passe en cas de modification de la cryosphère, constituée par la couverture neigeuse, les inlandsis, les glaciers et le permafrost, et quelles en sont les conséquences en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, la disponibilité d'eau dans le sol, les sédiments et la répartition sédimentaire, la stabilité des pentes et l'érosion des côtes ».

### Sonder le passé grâce aux isotopes

D'après Heitor Evangelista da Silva, paléo-climatologue à l'Université d'État de Rio de Janeiro (Brésil), un des aspects clés du projet réside dans l'utilisation de techniques nucléaires pour

comprendre le climat du passé afin de pouvoir prédire celui de l'avenir.

Les techniques isotopiques et nucléaires permettent aux scientifiques de connaître l'histoire de la Terre préservée dans les archives de la nature. Ces archives sont les glaciers et les calottes glacières des pôles, le sol et les sédiments des lacs et des océans ainsi que la matière organique de la terre et des arbres. Les isotopes sont diverses formes d'un même élément qui diffèrent par leur nombre de neutrons.

En mesurant la composition et les rapports isotopiques de couches de sédiments et de glace, il est possible de reconstituer l'histoire du climat et de déterminer les variations des concentrations de gaz à effet de serre sur des périodes extrêmement longues. Des techniques identiques peuvent être utilisées pour analyser le sol afin de recueillir des informations concernant l'incidence du changement climatique dans les régions polaires et montagneuses sur le mouvement et la qualité du sol et la production de gaz à effet de serre.

Une meilleure connaissance des événements climatiques passés et de leurs conséquences sur l'environnement est extrêmement utile pour comprendre les changements climatiques actuels et futurs et concevoir des réponses appropriées.

### La grande question c'est l'adaptation

En juillet 2015, l'AIEA organisera un cours au Svalbard (Norvège) à l'intention d'une vingtaine de boursiers venant de différents sites de référence pour leur apprendre à utiliser les méthodes d'essai nécessaires. Par la suite, des experts se rendront sur les divers sites pour donner des instructions complémentaires, selon que de besoin.

Cette approche assurera l'intercomparabilité de l'échantillonnage et de l'analyse des résultats, aspect important de ce projet multinational.

La collecte des échantillons et l'analyse des données seront effectuées de juillet 2015 à juillet 2016. « Si cette phase du projet se passe bien, lors d'une phase suivante



Chercheurs allant prélever des échantillons de sol sur l'Île du Roi Georges, en Antarctique.



Les scientifiques pénètrent dans une grotte de glace pour atteindre les meilleurs emplacements d'échantillonnage.

nous examinerons comment nous pouvons nous adapter au changement climatique. En effet, évaluer l'impact est une chose, mais la grande question est de savoir comment nous pouvons mettre les informations obtenues à profit pour aider les communautés des régions montagneuses à s'adapter », a dit Gerd Dercon.

### Collaboration et changement de politique

« Je pense que le succès de ce projet suscitera une collaboration entre des pays de tous les continents et entre différentes disciplines scientifiques, ce qui nous aidera à mieux étudier et mieux comprendre le changement climatique dans les régions montagneuses et polaires », a dit Bulat Mavlyudov, coordonnateur du projet interrégional et glaciologue à l'Institut de géographie de l'Académie des sciences de Russie. À son avis, les résultats seront utiles au Groupe d'experts



intergouvernemental sur l'évolution du climat pour la formulation de recommandations concernant la politique d'adaptation au changement climatique.

**Membres de l'équipe de recherche scientifique qui s'est rendue sur l'île du Roi Georges, en Antarctique.**

(Photos : G. Dercon/AIEA et B. Mavlyudov/ Académie des sciences de Russie)



Un petit cours d'eau charrie une grande quantité de sédiments venant de hautes altitudes.



En analysant l'âge et la qualité de la matière organique du sol, les scientifiques apprennent beaucoup sur le changement climatique dans l'avenir.

# Quand à la montée des mers s'ajoutent de fortes pluies : des techniques nucléaires pour faire face aux inondations

Par Rodolfo Quevenco

Les scientifiques estiment que dans de nombreuses régions du monde, les pluies exceptionnellement abondantes sont une conséquence du changement climatique. L'air chaud pouvant contenir davantage d'eau, il est logique que des températures plus élevées augmentent la probabilité de fortes pluies. Lorsque celles-ci s'ajoutent à la montée des mers, il est quasiment certain que cela entraîne des inondations.

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus fréquentes, et l'Asie du Sud-Est y est particulièrement vulnérable. On prévoit que le changement et la variabilité climatiques augmenteront la fréquence des typhons et entraîneront une élévation du niveau de la mer, ainsi que des pluies de mousson hors saison, dans cette région et dans d'autres. Il pourra en résulter des inondations dévastatrices dans des pays comme le Cambodge, le Laos, le Pakistan, les Philippines, la Thaïlande et le Viet Nam.

Pour les habitants de ces pays qui ont survécu aux ravages de grandes inondations, le relèvement peut être long et difficile. Lorsque les eaux se retirent, ce sont les préoccupations et les soucis qui les envahissent, puisqu'ils doivent reconstruire leur maison et leur ville et reprendre leur vie en main. Les gouvernements aussi doivent faire face à d'énormes difficultés pour reconstruire les routes, les bâtiments publics, l'infrastructure et les ressources naturelles détruits ou pollués par les inondations.

## Reconstruire avec des outils scientifiques

Une région touchée par des inondations doit se relever avant de pouvoir se développer. À cet égard, la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture a lancé dans la région des projets pluriannuels de grande envergure pour aider des pays touchés par des inondations à restaurer les ressources essentielles et à mettre en place des mesures qui permettront de réduire l'impact des inondations futures.

Ces projets feront appel à des techniques nucléaires et isotopiques pour permettre de définir une solution intégrée de gestion des inondations avant et après de grands épisodes de crues (voir encadré).

« L'utilisation de techniques nucléaires va nous permettre de mieux étudier les sources et les voies de transmission des maladies, les nutriments, les sols et le mouvement des eaux dans les zones touchées par des inondations », a affirmé Raymond Sugang, spécialiste de la recherche scientifique à l'Institut philippin de recherche nucléaire.

« Les connaissances acquises seront très utiles pour aider le pays concerné à mettre au point une solution intégrée de gestion des inondations et de réhabilitation, fondée sur de solides connaissances scientifiques », a-t-il ajouté.

Des experts venant d'Australie et de Nouvelle-Zélande se sont récemment rendus dans les zones les plus touchées par le super-typhon Haiyan, qui a dévasté la côte est des Philippines en novembre 2013. « Dans le cadre d'un projet appuyé par l'AIEA, ils ont examiné les zones touchées, proposé des techniques nucléaires pour identifier les sources des sédiments et formé des contreparties locales à l'utilisation de techniques isotopiques et autres », a expliqué Raymond Sugang.

Les responsables locaux souhaitent évaluer les changements survenus dans la circulation, la dynamique et la qualité des eaux souterraines à la suite du typhon Haiyan dans la ville de Tacloban, étudier la dynamique du processus naturel de restauration de la région et essayer d'accélérer la remédiation de l'environnement touché.

Nombreux sont ceux qui pensent que les inondations causées par l'onde de tempête risquent d'avoir contaminé les eaux souterraines et les systèmes aquifères de la ville avec des matières organiques en décomposition, des cadavres et de l'eau de mer. Les champs alentour pourraient aussi être devenus impropres à l'agriculture en raison de la présence dans le sol de sel et de contaminants amenés par les eaux d'inondation.

Néanmoins, les autorités locales doivent pouvoir avoir accès à des données scientifiques fiables et valides sur lesquelles fonder leurs plans, leurs politiques, leurs mesures et leurs stratégies d'atténuation. Les techniques nucléaires offrent des outils puissants qui permettent de recueillir ces données indispensables.

## Une approche régionale de la gestion des inondations

Les résultats des travaux effectués aux Philippines seront exploités pour fournir une assistance à d'autres pays de la région.

« L'objectif global est d'améliorer la capacité des pays d'Asie à utiliser les techniques nucléaires pour mettre au point des systèmes agricoles robustes pouvant s'adapter aux inondations », a affirmé Lee Kheng Heng, chef de la Section de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation

et l'agriculture. « L'utilisation efficace des techniques nucléaires et isotopiques permettra à ces pays de mettre au point des cultures résistant aux inondations, d'améliorer les pratiques de gestion des nutriments des sols et de l'eau en vue de l'adaptation aux inondations et de la réhabilitation, d'optimiser l'utilisation des ressources locales pour l'alimentation du bétail et le diagnostic rapide des maladies animales, de procéder à des évaluations approfondies des ressources en eau pour prévoir les crues potentielles et d'élaborer des stratégies pour exploiter la capacité des plaines d'inondation à absorber les eaux de crues », a-t-elle expliqué.

Les activités prévues comprennent : un cours aux laboratoires de l'AIEA sur la détection précoce des maladies animales dans un environnement post-inondation, qui portera notamment sur les maladies transmises par l'eau ou par des vecteurs ; un cours en Chine sur l'utilisation des radionucléides provenant des retombées et d'isotopes stables à composés spécifiques et d'autres techniques pertinentes pour atténuer le risque d'inondations et entreprendre des activités de réhabilitation après une inondation en Asie ; et un cours régional en Thaïlande sur l'utilisation d'applications isotopiques et géochimiques pour atténuer le risque de crues. En outre, le Laboratoire national d'Argonne, aux États-Unis, finance un atelier s'adressant aux décideurs pour les sensibiliser à l'importance de la gestion et de l'atténuation des inondations.



« L'ensemble de ces activités aideront à renforcer la capacité des États Membres à utiliser les techniques nucléaires en combinaison avec les approches classiques, ainsi que la collaboration nationale et régionale dans le cadre de la gestion des inondations. De plus, grâce à elles, les États Membres disposeront des connaissances scientifiques qui leur permettront de prévoir la prochaine inondation, ainsi que son ampleur possible », a indiqué Lee Heng.

**Pour les habitants des Philippines qui ont survécu à de grandes inondations, le relèvement peut être long et difficile.**

(Photo : Institut international de recherche sur le riz)

## LA SCIENCE

### Utilisation d'isotopes stables pour la défense contre les inondations et la réhabilitation

En utilisant des techniques nucléaires et isotopiques en combinaison avec des méthodes classiques, les scientifiques peuvent étudier efficacement les effets des inondations sur les eaux souterraines et les systèmes aquifères, et déterminer le temps nécessaire à ces ressources pour qu'elles se régèrent et retrouvent leur état antérieur à la crue. Ils ont largement recours à des techniques isotopiques pour mettre au point ou identifier des cultures résistant aux inondations, étudier les tendances en matière d'érosion des sols et les voies de la pollution due aux eaux d'inondation, et améliorer les pratiques de gestion des sols, de l'eau et des cultures afin d'atténuer au maximum les pics d'inondation et de s'adapter aux crues.

Ces techniques font normalement appel à des isotopes stables, c'est-à-dire qui ne sont pas radioactifs, mais peuvent aussi utiliser des radio-isotopes très peu radioactifs, comme le tritium.

Parallèlement, l'utilisation de techniques isotopiques pour la surveillance, à l'échelle d'une zone, des sols et de l'eau stockée dans le cadre de systèmes d'irrigation contribue à renforcer la capacité d'un pays à prévoir les futures inondations et les dégâts potentiels qu'elles pourraient causer.

# Acidification des océans : L'effet méconnu des émissions de CO<sub>2</sub>

Par Michael Amdi Madsen



(Photo - M. Madsen/AIEA)

Comme le réchauffement climatique, l'acidification des océans est une conséquence grave de l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et elle constitue une menace croissante pour les communautés côtières. Scientifiques et économistes plaident pour que tout accord international sur le changement climatique conclu à l'avenir intègre des plans visant à atténuer l'acidification des océans et à permettre l'adaptation à ce phénomène, au motif que cela renforcerait l'accord en question et faciliterait sa mise en œuvre. L'AIEA utilise des techniques nucléaires pour mesurer l'acidification des océans et communique des informations objectives aux scientifiques, aux économistes et aux responsables politiques afin qu'ils prennent des décisions en connaissance de cause.

« Reconnaître que le bien-être et le développement économique de milliards de personnes dépendent de la santé des océans est la première étape », a affirmé Alexandre Magnan, de l'Institut du développement durable et des relations internationales, à Paris, lors d'un atelier organisé cette année par l'AIEA. « En prenant acte, dans le texte juridique d'un accord sur le climat, des menaces qui pèsent sur les océans, nous pourrions offrir aux communautés côtières qui subissent les conséquences de l'acidification des océans la possibilité de bénéficier d'un financement au titre d'un accord sur le changement climatique », a-t-il ajouté. À son avis, cela permettrait à ces communautés de s'adapter à l'évolution des contextes sociaux et économiques, de mieux comprendre les changements écologiques et biophysiques attendus et de faire pression sur les gouvernements pour qu'ils prennent d'autres mesures concrètes.

Les données disponibles montrent que depuis le début de l'ère industrielle, l'acidité des océans a augmenté de 26 % en raison

du rejet de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, et que le rythme actuel de l'acidification des océans est plus de dix fois supérieur à celui correspondant à n'importe quelle autre période des 55 derniers millions d'années.

D'après des experts, la Conférence annuelle des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP de la CCNUCC), tenue à Lima (Pérou) en décembre 2014, a permis de progresser de manière significative vers la conclusion d'un nouvel accord multilatéral, mais la situation des océans et des communautés côtières qui dépendent de services liés aux écosystèmes marins n'a malgré tout pratiquement pas été abordée.

## Un système en déclin

Ove Hoegh-Guldberg, de l'Institut du changement climatique de l'Université du Queensland, a fait remarquer que certains effets de l'acidification des océans et du réchauffement climatique étaient déjà visibles. Il a expliqué que la taille de la Grande barrière de corail de l'Australie, qui constitue une barrière de protection en cas de tempête, attire les touristes et sert de nourricerie naturelle pour les jeunes poissons, avait été réduite

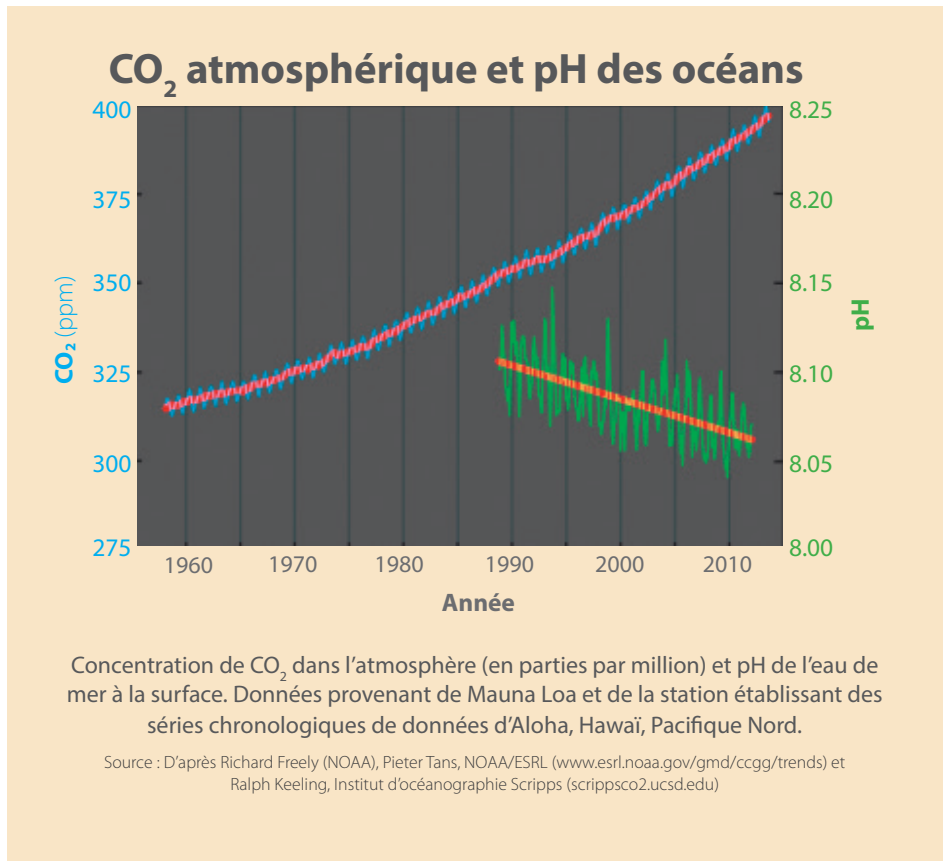
<sup>1</sup> GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT, « *Social, economic and ethical concepts and methods* » et « *Drivers, trends and mitigation* », *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, IPCC, Cambridge University Press, New York (2014), chap. 3 et 5.*

<sup>2</sup> HÖNISCH B. et al., *The geological record of ocean acidification, Science 335 (2012) 1058, 1063.*

de moitié au cours des 30 dernières années, et qu'on ne savait pas encore quelle proportion du récif pouvait encore disparaître sans que cela entraîne des conséquences de plus grande ampleur.

Ove Hoegh-Guldberg et ses collègues mettent au point des modèles destinés à montrer dans quelle mesure l'acidification des océans et la disparition du récif auront un impact sur l'ensemble de l'écosystème et sur les personnes, et ce dans le but d'aider les responsables politiques dans leur prise de décisions.

De nombreux scientifiques pensent que la prochaine étape de la recherche sur l'acidification des océans consiste à en étudier les effets sur les écosystèmes. « L'examen de certaines espèces prises isolément ne fournit pas suffisamment d'informations pour déterminer la quantité de dioxyde de carbone que les océans peuvent absorber sans que cela ait un impact important sur leur flore et leur faune. Il faut étudier des systèmes entiers, pas seulement quelques espèces », a indiqué Sam Dupont, chercheur au Département des sciences biologiques et environnementales de l'Université de Göteborg.



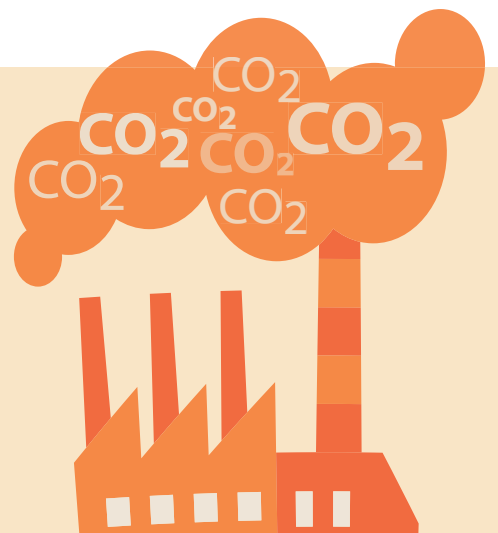
## Le rôle de la science nucléaire

La science nucléaire peut nous aider à comprendre les effets du changement climatique et de l'acidification sur les océans. Le Centre international de coordination sur l'acidification des océans de l'AIEA, situé à Monaco, a recours à des techniques nucléaires pour comprendre les processus marins et les changements subis par l'environnement marin. L'utilisation de radio-isotopes comme le calcium 45 et le carbone 14 permet en effet d'obtenir des informations utiles sur la vitesse de l'acidification des océans et les effets de celle-ci. Le Centre international de coordination sur l'acidification des océans met aussi en œuvre des activités internationales et facilite la communication au niveau mondial pour que la science soit mise à profit de manière optimale.

« Les techniques nucléaires, utilisées dans de nombreux centres de recherche à travers le monde, permettent d'obtenir des données très spécifiques grâce auxquelles la communauté scientifique comprend mieux les effets de l'acidification des océans et la gravité de ce phénomène, ce qui est essentiel pour en prévoir les impacts économiques et sociaux », a affirmé David Osborn, directeur des Laboratoires de l'environnement de l'AIEA.

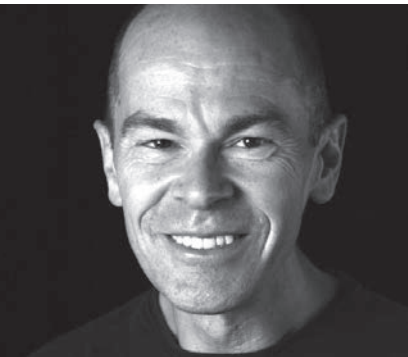
## Qu'est-ce que l'acidification des océans ?

Une partie du CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère est absorbé par les océans. Le CO<sub>2</sub> réagit avec des molécules d'eau (H<sub>2</sub>O) pour former de l'acide carbonique. Celui-ci est un acide faible, mais des variations, mêmes minimales, de l'acidité des océans peuvent avoir une incidence grave sur certains organismes et des répercussions sur l'ensemble de la chaîne alimentaire. Les conséquences peuvent aussi concerner l'homme, le phénomène pouvant avoir un impact sur les moyens d'existence et la sécurité alimentaire de milliards de personnes.



# L'option nucléaire : plaidoyer en faveur de l'énergie nucléaire pour lutter contre le changement climatique

Par Robert Stone



Robert Stone est un réalisateur de films documentaires de renommée internationale et nommé aux Oscars. Son dernier film « La promesse de Pandore » (Pandora's Promise) retrace le parcours de plusieurs écologistes de renom qui d'opposants à l'énergie nucléaire en sont devenus des partisans dans le contexte du changement climatique, et met en avant le caractère prometteur de la technologie des réacteurs de prochaine génération. Il a récemment cofondé l'organisation à but non lucratif « Energy for Humanity », qui est un groupe de défense de l'environnement pro-nucléaire basé à Londres.

En décembre 2015, les dirigeants du monde se réuniront à Paris pour négocier un traité mondial destiné à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère causées par l'utilisation de combustibles fossiles. J'encourage vivement chaque délégué, à son arrivée dans sa chambre d'hôtel, à sortir sur le balcon, respirer profondément, regarder les lumières de Paris, dont toute l'électricité est d'origine nucléaire, et s'en inspirer pour imaginer ce à quoi pourrait ressembler l'énergie propre à l'avenir. Grâce à la décision prise par la France il y a une trentaine d'années de déployer l'énergie nucléaire à grande échelle, les émissions de carbone du réseau électrique du pays sont aujourd'hui quasi nulles. Ce fait est d'autant plus remarquable que la majeure partie de cette transition a été menée à bien en seulement 11 ans (1969-1980), à l'aide de la technologie de l'époque. En France, la pollution de l'air due à la production d'électricité a aujourd'hui quasiment disparu et l'électricité est la moins chère d'Europe de l'Ouest.

Les défenseurs du climat et les délégués vont-ils tenir compte de ce que la France a accompli et la considérer comme un pionnier de ce qui pourrait être possible à l'échelle mondiale ? Lors des négociations préliminaires menées fin 2014 à Lima, l'énergie nucléaire a été retirée de l'ordre du jour des débats sur le climat. Les principaux groupes de militants écologistes du monde, qui en déterminent pour l'essentiel l'ordre du jour, partent du principe que l'énergie nucléaire est une distraction inutile sur la route qui mène vers un avenir axé sur les énergies renouvelables. Pour justifier leur position, ils avancent qu'il est possible de réduire la demande mondiale d'énergie tout en fournissant simultanément assez d'énergie aux trois milliards de personnes qui vivent actuellement avec peu ou pas d'électricité, et de prendre en charge les trois milliards de personnes supplémentaires qui naîtront d'ici à 2050. Ils estiment que nous sommes bien partis pour pouvoir remplacer l'ensemble de l'infrastructure actuelle reposant sur les combustibles fossiles, renoncer complètement à l'énergie nucléaire et satisfaire aux besoins mondiaux en énergie grâce aux seules énergies renouvelables. Or, nous avons à peine commencé à parler de l'énergie supplémentaire qui sera nécessaire pour électrifier les transports dans le monde entier et répondre à la demande croissante de dessalement de l'eau, qui est un gros consommateur d'énergie.

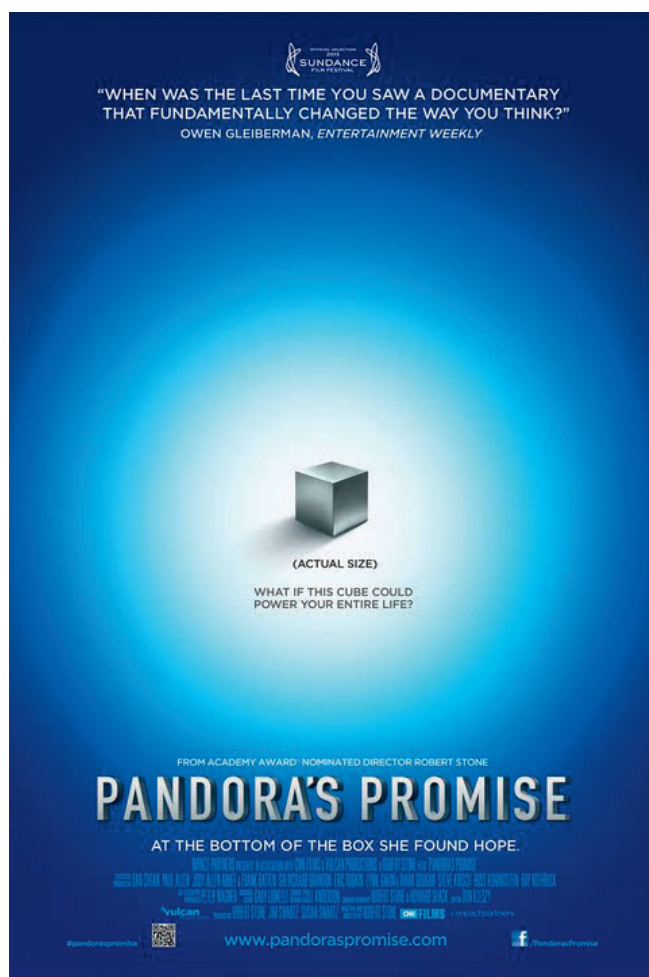
N'est-ce pas une vision merveilleusement séduisante que d'imaginer qu'il est à notre portée de vivre dans un monde où l'humanité toute entière pourrait bénéficier d'une énergie propre et disponible en quantité illimitée grâce au vent et au soleil ? Un grand nombre de militants écologistes ont consacré leur vie à la réalisation de ce rêve. Le problème est qu'il n'y a guère de preuves indiquant qu'il serait réalisable. Quelques études universitaires souvent citées démontrent comment moyennant une volonté politique sans borne, des ressources illimitées, et une forte chute escomptée de la demande mondiale d'énergie, il est possible, du moins en théorie, d'imaginer que ce rêve pourrait devenir une réalité. L'Allemagne, qui renonce à l'énergie nucléaire, est souvent citée en exemple par les écologistes comme un pays en bonne voie pour être alimenté quasi entièrement par des énergies renouvelables. En réalité, elle tire 5 % de son électricité de l'énergie solaire et environ 8 % de l'énergie éolienne (plus que n'importe quelle autre grande puissance industrielle), ce qui veut dire que les 87 % restants de ses besoins en électricité continuent d'être couverts par d'autres sources, notamment l'hydroélectricité et la biomasse, mais surtout par des



combustibles fossiles. L'Allemagne est aussi l'un des seuls pays européens qui continue de construire de nouvelles centrales à charbon.

Certes, rien ne dit que nous serons capables d'inverser les tendances actuelles qui nous mènent à une possible catastrophe climatique. Mais je pense que nous compromettons de façon irresponsable nos chances de succès, et nous les réduisons même très probablement à néant, si nous nous évertuons à résoudre ce problème sans déployer l'énergie nucléaire à grande échelle. Dans un monde où vient s'ajouter chaque année l'équivalent énergétique d'un pays comme le Brésil et où le charbon reste la source d'énergie non seulement la plus utilisée, mais aussi celle dont la croissance est la plus rapide, l'énergie nucléaire peut apporter une contribution notable au type de bouquet d'énergies propres qui sera nécessaire si nous voulons réduire sérieusement notre dépendance à l'égard des combustibles fossiles à l'échelle mondiale. Le nucléaire n'est en aucun cas la panacée. L'éolien, l'énergie solaire, l'hydroélectrique, le recours accru au gaz naturel à court terme et d'éventuelles avancées technologiques dans la capture et le stockage du carbone, sont autant d'éléments d'une transition générale vers les énergies propres. Mais en supprimant de l'équation le potentiel unique qu'offre le nucléaire, comme semblent vouloir le faire les défenseurs du climat qui doivent se réunir à Paris, on risque la catastrophe.

Les détracteurs de l'énergie nucléaire font valoir que la version actuelle de grand réacteur à eau ordinaire est imposée, pour des raisons politiques et économiques comme une solution durable et viable aux défis énergétiques mondiaux. Or, ce que l'on ignore souvent c'est que de nombreux modèles avancés de réacteurs de nouvelle génération, résultant de recherches scientifiques de nombreuses décennies, sont presque prêts à être commercialisés (et le seraient aujourd'hui si des groupes antinucléaires n'avaient pas fait bloc il y a des années pour suspendre le financement des activités de recherche-développement). Les centrales nucléaires de la prochaine génération peuvent jouer un rôle transformateur en fournissant une énergie propre en très grande quantité et suffisamment pour atteindre les nouveaux objectifs en matière de climat. L'utilisation des déchets nucléaires actuellement produits comme combustible, associée à la capacité d'extraire de l'uranium à partir de l'eau de mer ou de passer à un cycle du combustible fondé sur l'abondance du thorium, donne accès à des sources quasi inépuisables de matières fissiles pour répondre aux besoins en électricité de toute la planète de manière pratiquement illimitée, tout en éliminant presque entièrement l'accumulation de déchets radioactifs à longue durée de vie. Les systèmes avancés à sûreté passive, comme les réacteurs à sels fondus et les petits réacteurs modulaires, promettent une amélioration sensible de la rentabilité de l'énergie nucléaire, en réduisant au minimum la nécessité de recourir à des systèmes de sûreté coûteux et complexes comme ceux dont les centrales nucléaires ont besoin aujourd'hui. La production en masse de composants modulaires sur des chaînes de montage, plutôt que leur construction sur site, peut permettre de rationaliser le processus de production et de faire passer la technologie rapidement à une échelle supérieure et à des coûts considérablement moindres. Les techniques utilisées aujourd'hui pour fabriquer un avion à réaction commercial encore plus



complexes, mais remarquablement sûres et fiables, pourraient bientôt permettre de fabriquer rapidement des centrales nucléaires modulaires et standardisées. Cela est possible.

J'encourage les délégués lorsqu'ils se réuniront bientôt à Paris de regarder par la fenêtre et d'admirer la vue. La preuve qu'une nation toute entière peut passer des énergies fossiles aux énergies propres leur sautera aux yeux.

# L'énergie nucléaire aide-t-elle vraiment à lutter contre le changement climatique ?

Par Mikhail Chudakov



M'étant occupé de l'exploitation de réacteurs de puissance pendant une bonne partie de ma carrière, j'appréhende fort bien le potentiel de l'énergie nucléaire. J'ai été témoin de nombreuses améliorations de la technologie et de la sûreté d'exploitation, ainsi que des avantages financiers et environnementaux qu'elles ont apportés.

La communauté internationale doit faire face à un double défi : la population mondiale, le niveau de développement et partant, la demande énergétique ne cessent d'augmenter ; dans le même temps, nous devons comprendre le changement climatique, conséquence fâcheuse de l'accroissement de la consommation d'énergie, en atténuer les effets et nous y adapter.

L'électronucléaire est la seule technologie bas carbone disponible aujourd'hui qui peut être déployée à grande échelle et dans des installations de grande capacité pour aider à relever le défi climatique et énergétique mondial. Premièrement, les émissions de gaz à effet de serre provenant directement des centrales nucléaires sont négligeables. Deuxièmement, si l'on tient compte des émissions au cours de l'ensemble du cycle de vie, l'hydroélectricité, l'électricité nucléaire et l'électricité éolienne sont les plus faibles émettrices de CO<sub>2</sub>. L'énergie nucléaire est donc dans une position idéale pour permettre d'atténuer les effets du changement climatique de la manière la plus rentable.

De plus en plus d'États Membres de l'AIEA soucieux du changement climatique envisagent aujourd'hui d'inclure le nucléaire dans leur bouquet énergétique national ou d'y recourir plus largement. L'AIEA dispose de toute une panoplie d'outils pour les aider à comprendre la problématique climat-énergie ainsi que le défi que représente le lancement d'un programme électronucléaire. Notre travail vise essentiellement à fournir une évaluation factuelle de l'électronucléaire. Nous aidons les décideurs à envisager toutes les options technologiques pour la production d'énergie. Nos outils de planification, qui sont utilisés par 130 pays et 20 organisations régionales et internationales, tiennent compte de toutes les options énergétiques. Toutefois, lorsqu'un État Membre en fait la demande, nous lui fournissons une assistance pour mettre en œuvre son programme électronucléaire de manière sûre, sécurisée et durable.

Notre assistance couvre de nombreux domaines allant de la planification énergétique à l'extraction responsable de l'uranium, de l'examen des infrastructures nationales à la formation, de la performance d'exploitation à la gestion des déchets radioactifs, au déclassement et à la remédiation environnementale.

Environ 11 % de l'électricité mondiale est d'origine nucléaire. D'après nos projections, l'électronucléaire continuera de jouer un rôle central dans le bouquet énergétique mondial dans les décennies à venir. L'accident nucléaire de Fukushima Daiichi a ralenti sa croissance, mais ne l'a pas inversée. La poursuite de cette croissance semble indiquer que les bases justifiant de continuer de recourir à l'électronucléaire n'ont pas changé. Plus les réacteurs sont sûrs et performants, moins ils émettront de CO<sub>2</sub>. Pendant la seule année 2011, on estime que 2,1 gigatonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> ont été évitées grâce au recours au nucléaire pour la production d'électricité.

Je suis convaincu que des modèles innovants et avancés de réacteurs et de combustibles joueront un rôle de plus en plus grand pour faire face à ce défi mondial. Le recours à des réacteurs refroidis par gaz et à des réacteurs à neutrons rapides, par exemple, permettra d'améliorer l'utilisation du combustible, d'optimiser les cycles du combustible nucléaire, de réduire la quantité d'eau de refroidissement nécessaire et de restreindre au minimum la production de déchets radioactifs à longue période.

Le Département de l'énergie nucléaire joue un rôle moteur dans les efforts de l'AIEA pour promouvoir l'innovation dans le domaine de l'électronucléaire. Nous nous employons à établir des liens entre les nombreux aspects liés aux réacteurs avancés, allant du financement jusqu'à une meilleure utilisation des ressources, en passant par la performance d'exploitation, la gestion des déchets et la résistance à la prolifération. L'électronucléaire est une source fiable de production d'électricité dans le monde depuis plus de 50 ans. Par conséquent, ma réponse à la question cruciale de savoir si l'énergie nucléaire aide vraiment à lutter contre le changement climatique est clairement OUI. Nous continuerons d'aider les États Membres à utiliser l'électronucléaire de manière sûre et durable.

## Appel à candidatures pour des activités de recherche coordonnée de l'AIEA en 2015

Les établissements et organismes de recherche qui souhaitent accéder à de vastes bases de données mondiales contenant des résultats de recherche et contribuer à des articles destinés à des revues à comité de lecture de haut niveau peuvent désormais soumettre une proposition de contrat ou d'accord de recherche en vue de participer cette année à des activités de recherche coordonnée de l'AIEA.

Plus de 1 600 établissements de recherche travaillent déjà en collaboration dans le cadre de plus d'une centaine d'activités de recherche coordonnée en cours portant sur un large éventail de sujets notamment : améliorer le diagnostic et le traitement du cancer et des maladies cardio-vasculaires, mieux comprendre le changement climatique et la pollution côtière à l'aide d'outils isotopiques, mettre au point des systèmes de sûreté pour les réacteurs et accroître les rendements agricoles.

Les projets de recherche coordonnée de l'AIEA ont pour objet de favoriser l'acquisition et la diffusion des nouvelles connaissances et technologies résultant de l'utilisation des technologies nucléaires et des techniques isotopiques, ainsi que l'adaptation de ces technologies dans les États Membres de l'AIEA. Les résultats obtenus dans le cadre de ces projets sont diffusés aux États Membres et à la communauté scientifique internationale au moyen de publications. Les conclusions de ces projets trouvent souvent des applications pratiques importantes.

L'AIEA propose plus de 50 nouveaux projets cette année et invite tous les établissements intéressés à soumettre des propositions de recherche sur les sujets présentés à l'adresse : <http://cra.iaea.org/cra/info-letter.html>.

« Ces projets de recherche coordonnée permettent aux établissements de recherche d'élargir leur champ d'action, indépendamment de leur taille ou du

lieu où ils se trouvent », a déclaré le Directeur général adjoint de l'AIEA, Aldo Malavasi. « Ils sont une excellente occasion de mettre en commun une base de connaissances approfondies et d'y contribuer, et de travailler en coordination dans le cadre de certaines des études scientifiques les plus importantes menées actuellement sur les applications diverses, pacifiques et bénéfiques de la technologie nucléaire. »

Des fonds sont disponibles pour financer l'achat de petit matériel et comme capitaux d'amorçage, la majeure partie des dépenses étant couvertes par des États Membres. La subvention est en moyenne d'environ 6 500 euros par an.

L'AIEA invite tous les intéressés à soumettre une proposition afin d'étudier ensemble les possibilités qu'offrent la technologie nucléaire et les techniques isotopiques. Le processus de candidature est accessible à l'adresse : <http://cra.iaea.org/cra/forms.html>.

*Par John Brittain et Nicole Jawerth*

**Plus de 1 600 établissements de recherche travaillent en collaboration dans le cadre de plus de 100 activités de recherche coordonnés par l'AIEA.**

(Photos : AIEA)



## La Mongolie et l'AIEA : coopération fructueuse, regain d'intérêt pour la cancérothérapie

Le remplacement d'unités de radiothérapie existantes et l'installation prochaine de deux nouveaux accélérateurs linéaires donneront un nouvel élan important au programme national de la Mongolie sur le cancer et permettront de réduire le temps d'attente des patients, selon des responsables nationaux. On a assisté ces dernières années à une augmentation du nombre de cancers et « en tant que pays en développement, nous avons besoin de tout l'appui que l'AIEA peut nous fournir », a dit Minjmaa Minjgee, radio-oncologue du Centre national du cancer à Oulan-Bator, capitale de la Mongolie.

### Traitement efficace grâce à un diagnostic rapide

Le concours de l'AIEA a été crucial en Mongolie pour l'acquisition d'un système de radioprotection contre les faisceaux gamma et d'un système d'étalonnage des appareils de radiographie, afin d'appuyer le programme mis en place par le pays pour diagnostiquer et traiter le cancer ainsi que pour lutter contre cette maladie. L'AIEA aide également le pays à moderniser un système d'imagerie médicale par tomographie à émission monophotonique et par tomographie d'émission monophotonique à l'hôpital général d'Oulan-Bator. En outre, il est prévu d'installer deux accélérateurs linéaires dans une nouvelle annexe de l'hôpital qui sera inaugurée dans le courant de l'année. On envisage également d'installer en 2016 des appareils avancés de curiethérapie 3D.

« Le temps joue un rôle essentiel lorsqu'il s'agit du cancer ; un diagnostic rapide et un traitement efficace en temps voulu peuvent aider les patients, et nous avons besoin de ces appareils de radiothérapie pour atteindre cet objectif que nous nous sommes fixé », a dit M<sup>me</sup> Minjgee. Par ailleurs, grâce à l'assistance fournie par l'AIEA en matière de mobilisation de ressources, la Mongolie a reçu

une aide financière importante du Japon et de Monaco pour améliorer les logiciels et matériels du système de planification de la radiothérapie du Centre national du cancer.

### Progrès obtenus

La Mongolie est un des pays les moins densément peuplés du monde, ce qui rend la fourniture universelle de soins anticancéreux particulièrement difficile.

« Notre objectif est de permettre à des personnes vivant en milieu rural d'avoir accès au diagnostic et au traitement du cancer afin de sauver des vies », a déclaré M<sup>me</sup> Minjgee. « Nous apprécions énormément la coopération et l'appui fournis à l'échelle internationale, y compris par l'AIEA, en vue de nous aider à améliorer la qualité des soins et des services médicaux pour le traitement du cancer. »

Depuis 1995, l'AIEA aide la Mongolie à renforcer son programme national sur le cancer, grâce à la fourniture de conseils stratégiques, de matériel et de formations techniques.

La Mongolie a également bénéficié d'une assistance dans le cadre du programme d'action en faveur de la cancérothérapie de l'AIEA dans les domaines de l'oncologie pédiatrique, des soins palliatifs et de la formation à la médecine radiologique. Grâce à l'assistance stratégique fournie en 2010, le pays a mis au point et adopté le plan d'action général sur la prévention du cancer et la lutte contre cette maladie pour 2011-2021.

### Projets pour l'avenir

Depuis son adhésion à l'AIEA en 1973, la Mongolie a reçu une assistance pour tirer parti des applications nucléaires afin d'améliorer les conditions de vie de la population dans divers secteurs,



Minjmaa Minjgee, radio-oncologue, Centre national du cancer, Oulan-Bator (Mongolie).

(Photo : S. Henriques/AIEA)

comme le diagnostic et le traitement des maladies animales.

« Les mesures concrètes prises dans le cadre de projets de l'AIEA visant à fournir un appui à la Mongolie dans différents domaines grâce aux applications pacifiques des techniques nucléaires ont aidé notre pays et ses habitants », a déclaré Tamir Nyambayar, ancien assistant national de liaison de l'AIEA.

En mars dernier, la Mongolie a mis la dernière main à son programme-cadre national pour 2016-2021, qui intègre l'application de la technologie nucléaire dans les plans de développement du pays.

*Par Aabha Dixit*

## Action en mer : un exercice sur la sécurité du transport effectué au large de la Suède

Comme dans un film d'action, des bateaux, des hélicoptères et des personnes en uniforme ont planté le décor au large de la Suède le 6 mai 2015, lorsque les autorités du pays ont effectué un exercice sur la sécurité pendant le transport de combustible nucléaire usé.

L'exercice s'inscrivait dans un projet conjoint avec l'AIEA visant à tester et à évaluer un nouveau guide de celle-ci concernant la planification, la conduite et l'évaluation d'exercices sur la sécurité du transport. Il portait sur le cadre de sécurité du système national de transport nucléaire de la Suède, pays qui transporte régulièrement du combustible usé provenant de centrales nucléaires le long de la côte, jusqu'à son installation d'entreposage provisoire de combustible nucléaire usé.

« L'exercice de terrain a constitué une excellente occasion de formation dans une situation réaliste, non seulement pour l'organisme de réglementation, les gardes-côtes et l'unité de police antiterroriste, mais aussi pour la compagnie chargée des opérations de transport », a affirmé Tommy Nielsen, directeur de l'exercice, de l'Autorité suédoise de sûreté radiologique. « Il a aussi permis à la Suède d'améliorer encore son système national de sécurité du transport », a-t-il ajouté.

L'AIEA a examiné le système de sécurité du transport nucléaire de la Suède en 2011 et a donné des conseils sur la mise en œuvre des normes internationales et des orientations de l'AIEA relatives à la protection physique des matières nucléaires, des autres matières radioactives et des installations associées, concernant notamment les bonnes pratiques, les recommandations d'amélioration et les activités de suivi.



Un hélicoptère aide à reprendre le contrôle du navire lors de l'exercice sur le terrain.  
(Photo : police suédoise)

### Un scénario en mer

L'exercice sur le terrain, grandeur réelle, a suivi un scénario complet, qui attribuait aux autorités nationales la surveillance du M/S Sigrid, navire spécialement construit transportant un chargement de faux combustible nucléaire usé provenant de la centrale nucléaire de Forsmark. Comme le prévoyait le scénario, le navire, qui avait mis le cap sur le sud, se dirigeait vers une installation d'entreposage provisoire, a été intercepté par un groupe armé non identifié qui en a pris le contrôle et a forcé l'équipage à obéir à ses instructions.

Les autorités sont alors entrées en action. Grâce aux plans préparés, à une coordination étroite et à une formation poussée, le personnel de l'Autorité suédoise de sûreté radiologique, de la police nationale, des gardes-côtes et de la Société suédoise de gestion du combustible et des déchets nucléaires ont collaboré pour reprendre le contrôle du navire. Leurs plans d'action avaient été

minutieusement élaborés sur la base de la réglementation nationale et de la formation suivie, ainsi que des principes directeurs de l'AIEA sur la sécurité du transport nucléaire et des exercices préparatoires. La stratégie de sécurité du transport était aussi fondée sur les résultats d'un exercice sur table, organisé en février 2015 dans le cadre de la préparation de l'exercice, auquel avaient pris part quelque 100 participants et observateurs.

« Il est essentiel que mon personnel puisse s'exercer dans des conditions réalistes », a affirmé Göran Kessell, chef de la police suédoise. « La coopération avec les gardes-côtes et l'appui fourni par les autres parties prenantes ont été cruciaux pour la planification de notre action et la reprise du contrôle du navire en pleine mer », a-t-il ajouté.

Tout au long de la journée, des informations en temps réel sur le déroulement de l'exercice sur le terrain ont été envoyées à des observateurs de l'AIEA et de 15 pays qui ont suivi

et analysé l'exercice depuis une installation à terre située à proximité. Les participants des différents pays, qui étaient plus d'une quarantaine, ont beaucoup appris sur les exercices de ce type.

Steve Skelton, inspecteur principal du Bureau de la réglementation nucléaire du Royaume-Uni, a fait remarquer que des activités comme celle-ci aidaient à renforcer les normes de sécurité dans les différents États et contribuaient à une approche cohérente, sûre et sécurisée du transport des matières nucléaires.

### Un guide pratique sur les exercices qui arrive en temps opportun

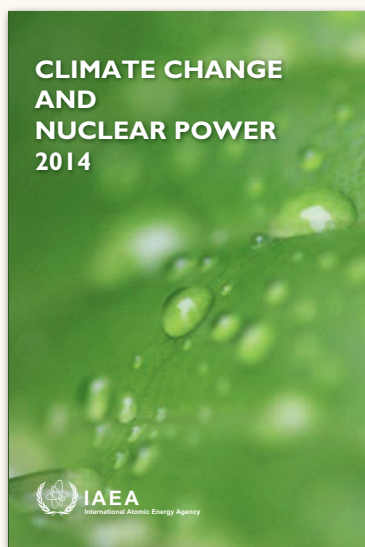
Les résultats de l'exercice pilote, effectué du 5 au 7 mai 2015, serviront à améliorer le guide de l'AIEA, car ils complèteront ceux obtenus dans le cadre de l'exercice sur table et les contributions d'experts de plusieurs États Membres et d'autres organisations partenaires.

« Le guide concernant l'exercice sur la sécurité du transport sera un outil utile à l'AIEA pour aider les États qui le souhaitent à mettre en œuvre ses

recommandations et ses orientations en matière de sécurité du transport », a affirmé Khammar Mrabit, directeur de la Division de la sécurité nucléaire de l'AIEA. « Des exercices sur table et sur le terrain devraient être effectués pour tester et valider les plans de sécurité du transport. Aucun plan ne peut être meilleur que celui qui aura été testé lors d'un exercice. L'Agence est prête à continuer à aider les États dans ce domaine » a-t-il indiqué.

*Par Stig Isaksson et Nicole Jawerth*

## Nouvelles publications



Le rapport intitulé

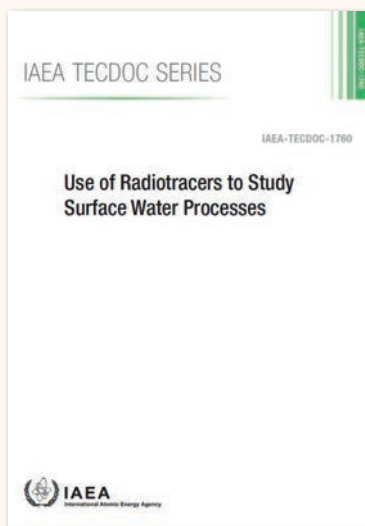
### The 2014 Climate Change and Nuclear Power

présente une analyse approfondie du rôle de l'énergie d'origine nucléaire dans l'atténuation du changement climatique et la façon dont l'électronucléaire aide à faire face à d'autres défis en matière de développement et d'environnement. Il examine les avantages que présente pour l'environnement l'utilisation de l'énergie nucléaire pour aider à réduire la pollution de l'air au niveau local et régional, ainsi que des mesures d'adaptation au changement climatique, comme le dessalement de l'eau de mer ou la protection contre les fluctuations de l'énergie hydroélectrique.

Le rapport examine également des questions plus vastes, comme les coûts, la sûreté, la gestion des déchets et les faits nouveaux en matière de technologie. De plus, il présente les projections faites par l'AIEA en 2014 en matière d'électronucléaire et traite de questions nouvelles qui auront un impact sur le lien entre le changement climatique et l'électronucléaire au cours des prochaines décennies.

L'édition de 2015 sera publiée au cours du dernier trimestre de cette année.

[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10771/Climate-Change-and-Nuclear-Power-2014](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10771/Climate-Change-and-Nuclear-Power-2014)



La publication intitulée

### Use of Radiotracers to Study Surface Water Processes

est un document de référence clé pour toutes les personnes qui sont directement ou indirectement concernées par les processus liés aux eaux de surface. Elle constitue une base de connaissances permettant d'effectuer des études à l'aide de radiotraceurs dans des environnements marins et terrestres. Les traceurs radioactifs, ou radiotraceurs, sont des composés chimiques dans lesquels un ou plusieurs atomes ont été remplacés par un radio-isotope. Ils peuvent être extrêmement utiles pour étudier des processus naturels et anthropiques, comme le changement climatique, qui modifie le flux et la qualité des eaux et ont un impact direct sur les vies humaines. Cette publication décrit en détail la technologie des radiotraceurs, ainsi que les méthodologies, les conceptions d'études, les mesures et les analyses faisant appel aux radiotraceurs. De plus, elle donne des orientations relatives à la formation à l'utilisation des radiotraceurs et relate des expériences liées à l'environnement dans cinq États Membres (l'Australie, le Brésil, la France, la République de Corée et la Suède), lesquelles fournissent des informations sur la manière d'effectuer des études en utilisant des traceurs radioactifs.

[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10689/Use-of-Radiotracers-to-Study-Surface-Water-Processes](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10689/Use-of-Radiotracers-to-Study-Surface-Water-Processes)

# L'ATOME DANS L'INDUSTRIE

## Un rayon d'espoir pour le développement

Quelles sont les applications de la technologie des rayonnements et quels avantages nous procurent-elles au quotidien ? Mises à part la production d'électricité et le traitement du cancer, le large éventail d'applications des techniques nucléaires est méconnu du public.

Cette année, le forum scientifique, qui se tiendra les 15 et 16 septembre 2015, en marge de la 59<sup>e</sup> Conférence générale de l'AIEA, montrera que la technologie des rayonnements trouve des applications dans de nombreuses industries.

Ce forum, intitulé « L'atome dans l'industrie – La technologie des rayonnements au service du développement », permettra aux participants, à savoir des experts, des industriels et des chercheurs, d'examiner les meilleures pratiques industrielles dans le monde et servira de cadre pour l'échange d'idées sur la manière dont cette technologie peut être appliquée pour stimuler le développement.

« L'AIEA s'emploie essentiellement à aider les pays à tirer profit de l'utilisation pacifique de la technologie nucléaire. Nous offrons une assistance dans des domaines tels que la santé humaine et animale, la sécurité alimentaire, la gestion de l'eau, la production d'électricité et la protection de l'environnement, pour ne citer que quelques exemples », a déclaré Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA.

En 2014, plus de 130 pays ont bénéficié d'un appui dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA. Les gens associent souvent la technologie nucléaire à la production d'électricité, alors que 80 % des États Membres de l'AIEA n'ont pas de programme électronucléaire.

Que ce soit dans les voitures, les trains ou les avions que nous prenons chaque jour, dans les câbles qui fournissent l'électricité nécessaire à nos activités quotidiennes ou dans les instruments servant à mesurer la sûreté de nos habitations, les techniques nucléaires sont largement utilisées pour répondre aux besoins de la vie moderne.

Les rayonnements offrent un moyen efficace de tuer les microbes et les organismes nuisibles dans le secteur des soins de santé et dans l'industrie alimentaire. De plus, les techniques radiologiques permettent de mesurer et d'éliminer de manière écologique les polluants des cours d'eau, et de tester et modifier les propriétés de matériaux afin d'améliorer leur structure et leur résilience.

Le forum scientifique sera aussi l'occasion d'examiner les applications innovantes de la technologie des rayonnements, par exemple pour la conservation du patrimoine culturel et la transformation de matières écologiques nouvelles, et d'analyser comment les techniques faisant appel aux rayonnements peuvent contribuer à accroître la productivité.

« Nous voulons étudier de plus près le rôle que les techniques nucléaires peuvent jouer dans l'industrie des pays en développement et déterminer, en coopération avec les États Membres et d'autres partenaires, comment nous pouvons fournir une aide dans des domaines prioritaires où ces techniques peuvent apporter une valeur ajoutée », a dit M. Amano.

Pour plus d'informations, consultez le site [www-pub.iaea.org/iaemeetings/46532/Scientific-Forum-Atoms-in-Industry-Radiation-Technology-for-Development](http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/46532/Scientific-Forum-Atoms-in-Industry-Radiation-Technology-for-Development)

*Par Luciana Viegas*



International Atomic Energy Agency Scientific Forum

# ATOMS IN INDUSTRY

## Radiation Technology for Development

15–16 September 2015, Vienna, Austria  
Boardroom D, C Building, 4th Floor



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

*Atoms for Peace*



CN-230