

# IAEA BULLETIN

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

La publication phare de l'AIEA | Septembre 2018



## La technologie nucléaire et le climat atténuation, surveillance et adaptation

Les effets du changement climatique sur les ressources en eau au Costa Rica, p. 14

La Finlande mise sur l'électronucléaire pour atteindre les objectifs climatiques, p. 8

Aux Philippines, des algues irradiées renforcent la résistance du riz face aux typhons, p. 18



**IAEA**

Agence internationale de l'énergie atomique  
L'atome pour la paix et le développement

Et aussi :  
Infos AIEA



### Le Bulletin de l'IAEA

est produit par

le Bureau de l'information  
et de la communication (OPIC)

Agence internationale de l'énergie atomique

Centre international de Vienne

B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)

Téléphone : (+43 1) 2600-0

iaebulletin@iaea.org

Rédaction : Miklos Gaspar

Collaboratrice à la rédaction : Laura Gil

Conception et production : Ritu Kenn

Le Bulletin de l'IAEA est disponible à l'adresse suivante :  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

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 : A. Schlosman/IAEA

Suivez-nous sur :



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 1957 en tant qu'organe autonome, l'IAEA est le seul organisme des Nations Unies à être spécialisé dans les technologies nucléaires. Ses laboratoires spécialisés uniques au monde aident au transfert de connaissances et de compétences à ses États Membres dans des domaines comme la santé humaine, l'alimentation, l'eau, l'industrie 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, dans laquelle sont publiées des 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 définissent 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 l'engagement qu'ils ont pris, au titre du Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires et d'autres accords de non-prolifération, de n'utiliser les matières et installations nucléaires qu'à des fins pacifiques.

Les tâches de l'IAEA sont multiples et font intervenir un large éventail de partenaires aux niveaux national, régional et international. Les programmes et les budgets de l'IAEA 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 de Trieste (Italie).

# Faire face au changement climatique grâce à la science nucléaire

Par Yukiya Amano, Directeur général de l'AIEA

De plus en plus de pays utilisent la technologie nucléaire pour lutter contre les changements climatiques, le plus grand défi environnemental de notre temps. L'électronucléaire, aujourd'hui utilisé dans quelque 30 pays et envisagé dans presque autant d'autres, est une importante source d'énergie propre et à faible émission de carbone. Cette énergie a incontestablement un rôle majeur à jouer dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, il faut également remédier aux dommages déjà causés à l'environnement par les changements climatiques et lutter contre les menaces qu'ils font peser sur les moyens de subsistance de communautés entières.

Des applications non énergétiques de la science et de la technologie nucléaires apportent déjà une importante contribution. Afin de mettre en valeur cette contribution, ainsi que l'utilisation de l'énergie nucléaire, le Forum scientifique 2018 de l'AIEA porte sur « *La technologie nucléaire au service du climat : atténuation, surveillance et adaptation.* »

## Atténuation

L'atténuation des changements climatiques – l'objectif ultime – nécessitera des politiques, des approches et des technologies visant à réduire la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'AIEA aide activement ses 170 États Membres à déterminer les avantages que peut leur apporter la technologie nucléaire pour atteindre cet objectif.

Dans ce numéro, nous étudions les plans de la Finlande pour faire passer la part de l'énergie nucléaire d'un tiers à la moitié de sa production énergétique globale d'ici 2030, en partie afin de tenir ses engagements liés aux changements climatiques (lire en page 8).

L'agriculture est également une source importante de gaz à effet de serre, notamment à cause de la production et de l'utilisation d'engrais chimiques. L'Argentine, le Brésil et le Kenya font partie des pays que l'AIEA aide, en coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), à appliquer des techniques isotopiques pour aider les agriculteurs à utiliser jusqu'à 90 % d'engrais synthétiques en moins (lire en page 10).

## Surveillance

La science nucléaire fournit des données précieuses qui aident les scientifiques à mieux comprendre les changements climatiques. Grâce à ces données, les responsables politiques sont mieux à même d'adopter des politiques appropriées pour protéger l'environnement et pour suivre les effets de ces politiques à l'aide de techniques nucléaires et isotopiques.

La prolifération d'algues toxiques et les toxines qu'elles produisent menacent les écosystèmes et les communautés dont les moyens de subsistance dépendent de l'océan. Alors qu'on ne les trouvait auparavant que dans des régions tropicales et subtropicales, elles sont de plus en plus présentes dans des climats tempérés aussi.

Les laboratoires de l'environnement de l'AIEA travaillent avec de nombreux pays à la caractérisation et à la surveillance de la prolifération d'algues toxiques (lire en page 12).

Le Costa Rica utilise l'hydrologie isotopique pour étudier les régimes de précipitations et gérer les ressources en eau souterraines de façon durable face à l'évolution du climat (lire en page 14). L'interaction entre neutrons animés de grandes vitesses et molécules d'eau permet aux scientifiques de mesurer la teneur en eau des sols sur de vastes zones. Cela aide les agriculteurs à gérer leurs ressources en eau et permet aux responsables politiques de mettre au point des mesures de conservation appropriées (lire en page 16).

## Adaptation

Tandis que le travail sur l'atténuation continue, le monde doit s'adapter aux conséquences des changements climatiques qui se font déjà sentir. Parmi celles-ci figurent une pénurie croissante d'eau, des catastrophes naturelles plus fréquentes et des températures saisonnières anormalement élevées, qui sont autant de menaces pour la biodiversité et peuvent entraîner une baisse importante du rendement agricole. À cet égard, des nouvelles pratiques agricoles peuvent être très bénéfiques.

Ainsi, aux Philippines, des scientifiques ont utilisé le rayonnement pour mettre au point un nouveau type d'activateur de croissance qui rend le riz plus robuste, lui permettant de résister aux rafales des typhons (lire en page 18). Les agriculteurs zimbabwéens ont réussi à faire face à un temps plus sec, en partie grâce à une nouvelle variété de niébé élaborée dans les laboratoires administrés par l'AIEA et la FAO (lire en page 20). L'irrigation au goutte-à-goutte, une technique utilisée à travers le monde pour conserver l'eau, peut être rendue plus efficace par l'utilisation de techniques isotopiques (lire en page 22).

L'AIEA est déterminée à aider les pays utiliser de façon optimale de la science et de la technologie nucléaires pour protéger l'environnement et lutter contre les changements climatiques.



## Avant-propos

### 1 Faire face au changement climatique grâce à la science nucléaire



### 4 L'AIEA et les changements climatiques : adaptation, surveillance et atténuation

## Atténuation



### 6 L'AIEA aide ses États Membres à mettre en œuvre l'Accord de Paris sur le climat



### 8 La Finlande mise sur l'électronucléaire pour atteindre les objectifs climatiques



### 10 La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture grâce aux techniques nucléaires

## Surveillance



### 12 Prolifération d'algues toxiques : des techniques nucléaires comme moyen de réduire la toxicité et de prévenir les effets sur la santé



### 14 Les effets du changement climatique sur les ressources en eau au Costa Rica



## 16 Mesurer les niveaux d'humidité dans le sol grâce aux rayons cosmiques

### Adaptation



## 18 Aux Philippines, des algues irradiées renforcent la résistance du riz face aux typhons



## 20 Une nouvelle variété mutante de niébé aide les agriculteurs du Zimbabwe dans les zones sujettes à la sécheresse



## 22 L'irrigation au goutte-à-goutte, comment ça marche ?

### Dans le monde

## 24 Le rôle des techniques nucléaires dans l'agriculture éco-intelligente

— Par Christoph Müller, Institut d'écologie végétale, Université Justus Liebig, à Giessen (Allemagne)

## 26 Le rôle de l'énergie nucléaire dans la réalisation des objectifs climatiques de l'Accord de Paris

— Par Tom M. L. Wigley, climatologue, Université d'Adélaïde

### Infos AIEA

## 28 Des donateurs institutionnels de trois pays contribuent à la modernisation des laboratoires de l'AIEA

## 28 Réduire l'obésité infantile en Europe grâce aux techniques nucléaires : colloque de l'AIEA au Congrès européen sur l'obésité

## 29 Les orientations de l'AIEA sur la gestion des sources radioactives retirées du service sont désormais disponibles

## 30 États Membres primo-accédants et États Membres exploitants discutent du financement de la gestion des déchets radioactifs et du déclassé lors d'une réunion de l'AIEA

## 32 Publications

# L'AIEA et les changements climatiques : adaptation, surveillance et atténuation

Par Noah Mayhew

Les changements climatiques sont l'une des principales menaces environnementales à frapper l'humanité aujourd'hui, provoquant une dangereuse élévation du niveau de la mer et des perturbations du cycle hydrologique, et entraînant la survenue plus fréquente d'événements météorologiques extrêmes. L'AIEA aide les États Membres à lutter contre les changements climatiques sur divers fronts : atténuer la production et le rejet de gaz à effet de serre (GES), surveiller leurs effets négatifs et s'y adapter.

Les niveaux de GES dans l'atmosphère fluctuent depuis des milliards d'années, essentiellement en raison des activités naturelles orbitales, solaires et volcaniques. Depuis la moitié du dix-huitième siècle, des facteurs anthropiques ont entraîné une hausse régulière de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère de la Terre, passant d'environ 278 parties par million à plus de 400 parties par million en 2016 selon la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. À cela s'ajoute une hausse sensible de la concentration d'autres puissants GES, comme le méthane et l'oxyde nitreux.

Selon Martin Krause, Directeur au Département de la coopération technique de l'AIEA, « Un pays seul ne peut faire face aux effets des changements climatiques, c'est l'affaire de la planète tout entière. C'est pourquoi l'AIEA aide ses États Membres à mieux comprendre comment la science et la technologie nucléaires peuvent pallier quelques-unes des conséquences des changements climatiques. »

## Adaptation

La hausse des pénuries d'eau et de nourriture enregistrée au niveau mondial, la perte de biodiversité et la fréquence

plus élevée de catastrophes naturelles d'origine climatique figurent parmi quelques-uns des effets les plus graves des changements climatiques. Des températures élevées pour la saison en hiver et au printemps, un temps imprévisible et des saisons des pluies très courtes contribuent à la pénurie d'eau dans de nombreuses régions, ce qui a de graves conséquences sur les systèmes agricoles, les chaînes alimentaires mondiales et, en particulier, les petits agriculteurs et éleveurs.

Pour aider les communautés et les pays à s'adapter, l'AIEA appuie des activités liées à la sélection des plantes, la gestion des sols et des cultures, la production animale et la lutte contre les insectes ravageurs. Ainsi, le Soudan utilise la science nucléaire et l'assistance de l'AIEA pour aider plus de 35 millions de personnes à faire face aux changements climatiques. Les activités portent sur la sélection de nouvelles variétés de plantes résistant à la sécheresse et à la chaleur ; la mise en place et l'optimisation de systèmes d'irrigation permettant d'économiser de l'eau et des engrais ainsi que d'améliorer le rendement des cultures ; et la lutte contre des insectes vecteurs de maladies grâce à une méthode nucléaire de lutte contre les insectes ravageurs appelée la technique de l'insecte stérile (TIS).

## Surveillance

Dès lors que la communauté internationale œuvre pour trouver des solutions à long terme aux conséquences des changements climatiques, il est fondamental de disposer de données fiables sur la façon dont les GES sont à l'origine des changements se produisant sur la terre, dans les océans

**« L'AIEA a aidé le Soudan à utiliser des technologies nucléaires pour lutter contre les effets des changements climatiques. »**

(Photo : N. Jawerth/AIEA)





**L'AIEA aide les pays à utiliser les sciences et technologies nucléaires pour lutter contre les changements climatiques.**

(Infographie : R. Kenn/AIEA)

et dans l'atmosphère. L'AIEA utilise diverses techniques nucléaires, principalement isotopiques, afin d'identifier et de surveiller les menaces et les risques liés aux émissions de GES et partage ensuite ces données avec les États Membres pour aider à faire avancer la recherche et contribuer à l'élaboration de politiques climatiques durables. Le Costa Rica, par exemple, a travaillé avec l'AIEA pour quantifier la capture du carbone et surveiller les émissions de GES provenant des secteurs laitier et agricole. Les données que les scientifiques du Costa Rica obtiennent à partir des analyseurs d'isotopes stables, qui contribuent à quantifier les émissions de carbone, facilitent la progression vers la carboneutralité du secteur agricole.

**Atténuation**

L'objectif à long terme est d'atténuer les changements climatiques, ce qui exige des approches et des technologies qui réduiront les émissions de GES. L'AIEA fournit un appui aux

États Membres pour évaluer la mise en place de leur système énergétique et les aide à étudier la façon dont l'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle dans la production d'énergie. Un groupe de professionnels bien informés et compétents est essentiel pour l'élaboration et l'application de politiques énergétiques nationales durables.

L'AIEA mène un projet de recherche coordonnée avec les États Membres sur la manière dont les politiques énergétiques nationales peuvent contribuer à satisfaire aux obligations qui incombent aux pays dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat de 2015. Dans le cadre de l'adaptation aux conséquences négatives du changement climatique et de la surveillance de celles-ci et de l'atténuation des émissions de GES, l'AIEA œuvre avec ses États Membres à préserver et à restaurer l'environnement et à protéger les systèmes énergétiques de phénomènes météorologiques et de catastrophes liés au climat.

# L'AIEA aide ses États Membres à mettre en œuvre l'Accord de Paris sur le climat

Par Noah Mayhew



**Centrale nucléaire en chantier en Chine.**

(Photo : C. Brady/AIEA)

L'AIEA a conclu un partenariat avec 12 États Membres en vue d'élaborer des stratégies efficaces d'atténuation des changements climatiques dans le cadre d'un projet de recherche coordonnée (PRC). Ce PRC vise à aider à évaluer, à l'échelle nationale, le rôle que peut jouer l'électronucléaire dans l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES), dans le cadre de l'élaboration de stratégies nationales au titre de l'Accord de Paris, conclu en 2015 par les Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

Le PRC s'appuie sur des initiatives précédentes, notamment un projet, mené durant la période 2006-2009, destiné à aider les États Membres à élaborer des stratégies d'atténuation des émissions de GES et des options énergétiques en vue d'atteindre les objectifs du Protocole de Kyoto d'ici 2008-2012.

L'un des principaux objectifs de l'Accord de Paris est de contenir l'élévation de la température moyenne de la planète

nettement en dessous de 2 °C, voire 1,5 °C, par rapport aux niveaux pré-industriels. Bien qu'ambitieux, cet objectif est techniquement réalisable. Cependant, avec les politiques climatiques actuelles, d'ici 2100, les températures de la planète pourraient être supérieures de 2,6 °C à 4,0 °C aux niveaux pré-industriels, selon l'organisme de recherche Climate Action Tracker. Malgré les engagements déjà pris par les Parties à l'Accord de Paris, les températures pourraient augmenter de 3,2 °C d'ici 2100. Les équipes de recherche nationales participant au PRC s'emploient à étudier l'évolution du secteur national énergétique et à analyser les options permettant de réduire la hausse de la température de la planète

## Promouvoir l'échange de connaissances

Dans le cadre du PRC, l'AIEA appuie l'échange d'informations et de données d'expérience en accueillant régulièrement des réunions de coordination de la recherche. Ces réunions ont permis des discussions approfondies sur



l'élaboration de stratégies énergétiques nationales et l'échange d'informations entre les États Membres et les experts de l'AIEA et d'autres organisations.

La deuxième des trois réunions a eu lieu à Vienne en juin 2018, c'est-à-dire à mi-parcours du PRC. Les équipes de recherche ont fait des présentations sur les politiques climatiques, l'état d'avancement des travaux de recherche et les résultats préliminaires. De nombreuses équipes utilisent les outils de planification énergétique mis au point par l'AIEA pour étudier d'autres options énergétiques adaptées à leur contexte national. Le PRC se conclura fin 2019 avec une troisième et dernière réunion, lors de laquelle les pays participants présenteront leurs constatations détaillées sur le rôle que peut jouer l'énergie nucléaire dans l'atténuation des changements climatiques à l'échelle nationale au cours des prochaines décennies.

Tant les résultats concrets que les données recueillies dans le cadre de ce PRC devraient contribuer à l'établissement en cours des contributions déterminées au niveau national et à l'examen régulier de celles-ci au titre de l'Accord de Paris.

« Le PRC a été une excellente occasion d'encourager la recherche sur l'électronucléaire en Afrique du Sud et de réfléchir à ce sujet », souligne Tara Caetano, chercheuse principale au Centre de recherche sur l'énergie de ce pays, ajoutant que les réunions annuelles du PRC permettent aux chercheurs de faire part de leurs travaux et de tirer des enseignements de l'expérience d'autres pays.

### L'utilisation d'outils de l'AIEA aux fins de l'atténuation des changements climatiques et de la planification énergétique

Les outils mis au point par l'AIEA aident les États Membres, y compris ceux qui participent au PRC, à évaluer différentes options et stratégies pour leur secteur énergétique, notamment le rôle que l'électronucléaire peut jouer à l'avenir.

« Par le passé, la Croatie a participé à diverses activités de l'AIEA qui l'ont aidée à renforcer ses capacités en matière de planification énergétique et à utiliser des outils d'évaluation des options énergétiques de l'AIEA », affirme Mario Tot, conseiller à l'Institut croate de l'énergie. « Nous apprenons de l'expérience des autres et vice-versa », poursuit-il.



### La centrale nucléaire de Barakah, aux Émirats arabes unis.

(Photo : AIEA)

Au cours des quarante dernières années, l'AIEA a mis au point une série d'outils analytiques, dont :

- **EBS** (logiciel Energy Balance Studio) – pour faciliter la collecte et l'organisation de données sur l'énergie ;
- **MESSAGE** (Modèle pour l'étude de stratégies d'approvisionnement énergétique et de leur impact général sur l'environnement) – pour analyser les stratégies d'approvisionnement énergétique ;
- **MAED** (Modèle pour l'analyse de la demande d'énergie) – pour étudier la demande d'énergie future ;
- **WASP** (logiciel de planification de systèmes) – pour prévoir le développement du secteur de la production électrique ;
- **FINPLAN** (Modèle d'analyse financière des plans de développement de l'énergie électrique) – pour évaluer les incidences financières d'un projet énergétique ;
- **SIMPACTS** (méthode simplifiée pour l'estimation de l'impact de la production d'électricité) – pour analyser les incidences d'un projet énergétique sur la santé humaine et l'agriculture ;
- **IDED** (indicateur du développement énergétique durable) – pour analyser et surveiller les stratégies de développement énergétique durable et ;
- **CLEW** (climat, sols, énergie et eau) – pour analyser les interactions entre les principaux systèmes de ressources.

# La Finlande mise sur l'électronucléaire pour atteindre les objectifs climatiques

Par Jeffrey Donovan



**Le nouveau réacteur européen à eau sous pression, construit par un consortium franco-allemand sur l'île d'Olkiluoto, dans le sud-ouest de la Finlande. Il devrait fournir 10 % de l'électricité finlandaise lorsqu'il sera mis en service, probablement fin 2018.**

(Photo : S. Slavchev/AIEA)

C'est le long des côtes bucoliques bordées de pins du littoral occidental de la Finlande que se dessine peu à peu l'avenir du pays nordique en matière d'énergie propre. Sur la petite île d'Olkiluoto, les travailleurs mettent la touche finale au réacteur européen à eau sous pression (EPR) qui devrait répondre aux besoins en électricité de la Finlande à hauteur de 10 %. Comme tous les réacteurs nucléaires de puissance, la très grosse tranche de 1 600 MW n'émettra pratiquement aucun gaz à effet de serre (GES), tout en produisant de l'électricité destinée à alimenter des millions de foyers.

« Bienvenue dans le monde du futur », s'enthousiasme Pasi Tuohimaa, un responsable de Teollisuuden Voima Oyj, l'entreprise finlandaise privée qui possède et exploite les deux anciens réacteurs d'Olkiluoto ainsi que le nouveau réacteur EPR. Debout dans la salle du réacteur de la nouvelle tranche qui devrait être mise en service fin 2018, il ajoute avec philosophie : « Chaque matin, quand je me regarde dans le miroir, ce que je pense réellement, c'est que je vais sauver le monde – avec le nucléaire. »

Le pays de 5,5 millions d'habitants a longtemps été tributaire de l'atome pour alimenter en électricité et en chauffage les foyers et les industries à forte intensité énergétique – notamment pendant les longs et sombres hivers. Aujourd'hui, dans le cadre d'une stratégie nationale sur l'énergie et le climat qui définit la contribution de la Finlande à l'Accord de Paris de 2015 pour lutter contre le réchauffement climatique,

le gouvernement envisage d'utiliser à la fois des sources d'énergie renouvelable et l'énergie nucléaire, condition sine qua non pour atteindre son objectif le plus important : devenir une société neutre en carbone d'ici 2050.

« De nos jours, on ne peut pas faire de distinction entre les politiques climatiques et énergétiques ; et l'objectif principal de la politique énergétique de la Finlande consiste à réduire les émissions de gaz à effet de serre, » a déclaré Riku Huttunen, Directeur général du Département de l'énergie du Ministère de l'emploi et de l'économie. « Pour ce faire, les sources d'énergie renouvelable sont l'instrument le plus important, mais nous devons bien évidemment utiliser toutes les possibilités permettant de réduire nos émissions, et l'énergie nucléaire est une bonne solution à cet égard. »

La Finlande a adopté l'électronucléaire à la fin des années 1970, avec la mise en service du premier des quatre réacteurs nucléaires de puissance qu'elle possède actuellement, et qui produisent un tiers de l'électricité finlandaise. D'après Riku Huttunen, la Finlande a certes commencé à utiliser l'électronucléaire pour compenser les faibles ressources en combustible du pays, mais la raison principale était de garantir une quantité d'énergie suffisante pour faire face aux longs hivers finlandais, ainsi que pour alimenter les industries forestière, sidérurgique et chimique.



## Sécurité énergétique et réduction des émissions de gaz à effet de serre

Mais ces dernières années, l'objectif visé par la politique énergétique est devenu la réduction des émissions de GES, ce qui a mis en avant les autres avantages de l'électronucléaire. Alors que le gouvernement a pour objectif d'abandonner progressivement le charbon et d'augmenter l'utilisation des énergies renouvelables telles que les énergies solaire, éolienne et les biocarburants, afin d'émettre jusqu'à 95 % de gaz à effets de serre en moins d'ici 2030, les responsables politiques reconnaissent également que la sécurité énergétique et les objectifs climatiques ne pourront pas être atteints grâce à des sources intermittentes seules.

« Les réseaux intelligents seront utiles, mais nous aurions besoin d'une énorme capacité d'entreposage d'énergie pour la gestion des énergies solaire et éolienne seules – et de telles technologies n'existent pas à ce jour, » a ajouté Riku Huttunen.

Avec la mise en service des réacteurs d'Olkiluoto et d'Hanhikivi, une autre centrale dont la construction est prévue dans les années à venir, l'énergie d'origine nucléaire pourrait fournir plus de la moitié de la production d'électricité finlandaise – en n'émettant presque aucun GES. En outre, la Finlande est sur le point de devenir le premier pays à exploiter un dépôt géologique profond pour le stockage définitif de combustible nucléaire usé. Celui-ci devrait être opérationnel au milieu des années 2020.

## La centrale nucléaire d'Olkiluoto dans le sud-ouest de la Finlande, où le nouveau réacteur européen à eau sous pression devrait être mis en service vers la fin de 2018.

(Photo : S. Slavchev/AIEA)

D'après Liisa Heikinheimo, responsable de l'énergie nucléaire en tant que Directrice générale adjointe du Département de l'énergie du Ministère de l'emploi et de l'économie, « en Finlande, la société accepte et comprend assez bien le fait que la production d'énergie nucléaire soit exempte d'émissions de carbone ; et cela favorise bien évidemment les projets de nouvelle construction. En outre, les efforts déployés en Finlande en vue de gérer le stockage définitif du combustible nucléaire usé ont grandement contribué à l'acceptation par le public de l'électronucléaire. »

Dans le cadre de sa stratégie énergétique et climatique, la Finlande étudie également la possibilité de ne compter par la suite que sur les énergies renouvelables pour tous les besoins énergétiques du pays. Mais d'après Riku Huttunen, cela n'est pour le moment pas réaliste – et pas que pour la Finlande.

« Si l'on souhaite atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur les changements climatiques – et nous en sommes actuellement très loin – il est nécessaire de tirer parti de toutes les technologies à faible teneur en carbone, » a-t-il ajouté. « C'est à chaque pays que revient la décision politique de le faire ou non, mais en tant que communauté mondiale, nous avons aussi besoin de l'électronucléaire pour atteindre les objectifs climatiques. »

# La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture grâce aux techniques nucléaires

Par Matt Fisher

De plus en plus, les agriculteurs utilisent des techniques agricoles durables afin de doper la productivité tout en réduisant leurs émissions de gaz à effet de serre. Dans une série de projets de recherche, coordonnés par l'AIEA en coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'efficacité des méthodes agricoles respectueuses de l'environnement est vérifiée à l'aide de techniques faisant appel aux isotopes stables.

L'agriculture, et notamment les opérations commerciales à grande échelle, comprend généralement la monoculture, parallèlement à l'utilisation de grandes quantités d'engrais chimiques - souvent au détriment des écosystèmes. La monoculture est une pratique qui consiste à cultiver la même chose sur la même parcelle de terre année après année, résultant en une diminution de la fertilité des sols. Les agriculteurs compensent cette réduction de la fertilité des sols en utilisant des quantités excessives d'engrais chimiques, ce qui contribue aux changements climatiques en libérant chaque année dans le monde 1,2 tonne d'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre 260 fois plus puissant que le dioxyde de carbone.



**Vaches paissant dans des rizières après la récolte dans un système intégré culture-élevage.**

(Photo : M. Zaman/AIEA)

Les pratiques agricoles durables qui sont au cœur des projets de recherche offrent des solutions économiques permettant de stimuler la productivité tout en luttant contre les changements climatiques.

## Au Brésil les engrais organiques réduisent les coûts et minimisent l'impact sur l'environnement

Les engrais chimiques apportent de l'azote supplémentaire aux sols cultivés. Leur utilisation est souvent jugée nécessaire pour que l'agriculture soit économiquement viable. Néanmoins, l'utilisation répétée ou excessive de ces engrais est à la fois chère et mauvaise pour l'écosystème. Au Brésil, les agriculteurs se tournent vers une technique appelée l'engrais vert, qui fait intervenir le phénomène naturel de la fixation biologique de l'azote.

Ils plantent divers types de légumineuses, comme les pois-sabres et les pois mascate, et les bactéries présentes dans leurs racines convertissent l'azote présent dans l'air en une forme organique pouvant être consommée par d'autres plantes, et qui fertilise donc le sol. Après la récolte des légumineuses, les résidus de culture sont laissés dans le sol, et lorsque les cultures principales telles que le blé et les céréales y sont plantées, elles bénéficient de l'azote présent dans le sol, ne nécessitant qu'une quantité minimale d'engrais chimique supplémentaire.

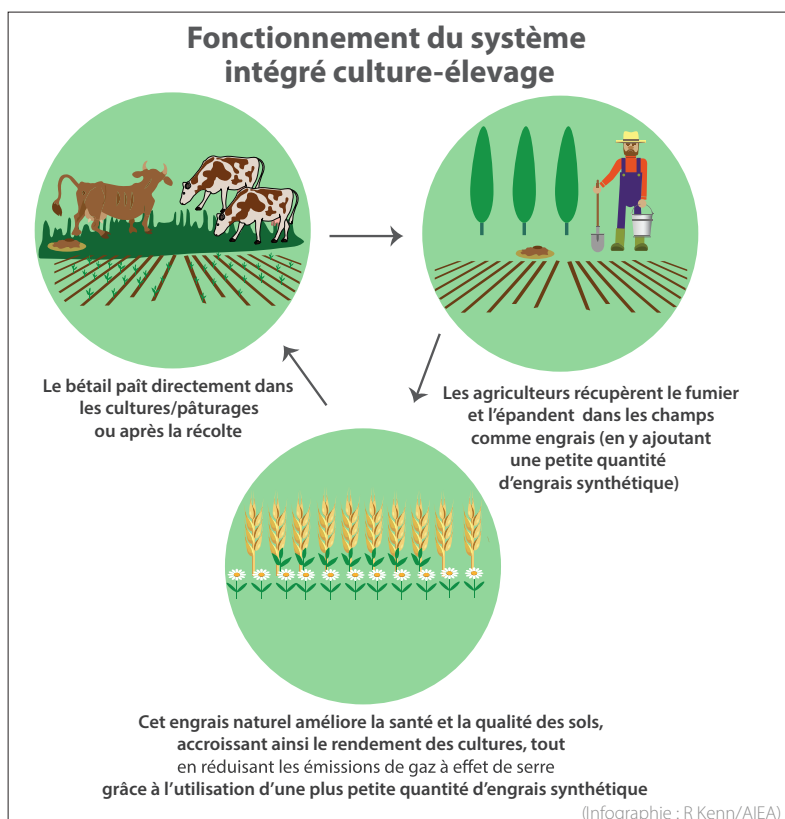
« Des études récentes sur l'agriculture au Brésil montrent que plus de 76 % de la quantité totale d'azote présente dans le blé et les céréales récoltés proviennent de la fixation biologique de l'azote, et moins de 20 % proviennent des engrais chimiques, » a déclaré Segundo Urquiaga, chercheur à l'Entreprise brésilienne de recherche agropastorale. Il ajoute que l'engrais vert aide également les agriculteurs à faire des économies : en effet, le coût du fumier organique est estimé autour de seulement un dollar par kilogramme d'azote, ce qui permettrait d'économiser jusqu'à 13 milliards de dollars par an. En adoptant l'engrais vert, le Brésil se rapproche de l'objectif qu'il s'est fixé en matière d'émissions de gaz à effet de serre : une réduction de 43 % d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 2003. L'agriculture étant responsable d'environ 24 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, la mise en œuvre croissante de cette pratique aidera le Brésil à atteindre cet objectif.

## Des systèmes agricoles intégrés permettent de lutter contre les changements climatiques et d'accroître le rendement des cultures

Les systèmes intégrés culture-élevage sont une autre pratique agricole durable appuyée par les techniques nucléaires dans le cadre d'un projet de recherche coordonnée auquel participent

l'Argentine, le Brésil, l'Inde, l'Indonésie, le Kenya, l'Ouganda et l'Uruguay. Ces pratiques se basent sur un concept simple : il est possible d'optimiser le rendement des cultures en recyclant les nutriments présents aussi bien dans le fumier animal que dans les résidus de culture. Ce système permet de réduire les besoins en engrais chimiques qui émettent de grandes quantités de gaz à effet de serre et favorisent ainsi le changement climatique. Dans un système intégré culture-élevage, le bétail peut soit paître directement dans les cultures, soit être nourri après la récolte. Les agriculteurs récupèrent ensuite le fumier produit par le bétail et l'utilisent comme engrais, ce qui permet de restituer de nombreux nutriments au sol.

Les agriculteurs brésiliens utilisent des pratiques intégrées culture-élevage afin d'exploiter leurs terres de façon plus efficace. « Nous nous orientons vers l'agriculture de conservation. La faisabilité de cette méthode, qui met en jeu des systèmes intégrés culture-élevage, a été démontrée », commente M. Jeferson Dieckow, pédologue de l'Université fédérale du Paraná au Brésil. En conséquence, les émissions de gaz à effet de serre dues aux urines et aux excréments ont baissé de 89 %. Juan Cruz Colazo, scientifique de l'Institut national de technologie agricole d'Argentine, déclare que les cultures de son pays sont plus résistantes aux effets des changements climatiques. « Ce projet nous a aidé à améliorer la qualité de nos sols agricoles grâce à la rotation des cultures » a-t-il ajouté. « Nous avons constaté une augmentation de 50 % de la teneur du sol en carbone organique, ce qui renforce la résilience du système de culture aux variations climatiques susceptibles autrement de freiner le rendement des cultures. »



## EN SAVOIR PLUS

### Traceurs isotopiques

Pour mesurer les incidences des pratiques intégrées culture-élevage et de l'engrais vert, les scientifiques utilisent des isotopes stables qui n'émettent pas de rayonnements, comme l'azote 15 et le carbone 13, sur de petites parcelles expérimentales. De cette manière, ils peuvent suivre et analyser l'efficacité avec laquelle l'azote est absorbé par les cultures ainsi que la manière dont le carbone s'accumule ou est stocké dans le sol.

Grâce à la technique de l'azote 15, les scientifiques mesurent durant une période de plusieurs mois les quantités exactes de cet isotope absorbées par les plantes. Cela leur permet alors

d'indiquer aux agriculteurs la quantité exacte de fumier animal et/ou d'engrais azoté chimique qui doit être épandue dans leurs cultures.

Le carbone 13 sert à évaluer la qualité des sols. La fertilisation du sol par l'épandage de fumier animal et de résidus de culture permet d'augmenter la teneur de celui-ci en carbone organique. En suivant l'isotope 13 du carbone, les scientifiques peuvent déterminer la stabilité et les sources de carbone dans le sol et donc l'état de fertilité de celui-ci, ce qui est crucial pour une application optimale de ces pratiques agricoles durables.

# Prolifération d'algues toxiques : des techniques nucléaires comme moyen de réduire la toxicité et de prévenir les effets sur la santé

Par Jones-Couture et Miklos Gaspar



**Des chercheurs de l'AIEA prélèvent des échantillons pour analyser les toxines grâce à la technique du dosage récepteur-ligand.**

(Photo : AIEA)

**A**u cours des dix dernières années, les algues toxiques ont proliféré sur une zone géographique de plus en plus large et leur intensité n'a cessé de croître, un changement lié au réchauffement climatique (article en anglais). Un nombre croissant de pays s'oriente vers la science nucléaire en vue de recenser et de mesurer ces proliférations d'algues toxiques et les biotoxines qu'elles produisent, pour ensuite, grâce à ces données, mettre en place des politiques et des mesures pour maîtriser plus efficacement leur impact.

Chaque année, les proliférations d'algues toxiques sont responsables de milliers d'intoxications dans le monde dues à la consommation de produits de la mer contaminés et à l'inhalation de toxines de l'air. « Il est devenu urgent de lutter à l'échelle mondiale contre ces proliférations d'algues, qui sont manifestement plus fréquentes et plus intenses et concernent des zones géographiques plus étendues »,

a expliqué Marie-Yasmine Dechraoui Bottein, chercheuse aux Laboratoires de l'environnement de l'AIEA à Monaco.

Les algues microscopiques qui sont à la base de la chaîne alimentaire marine fournissent des nutriments aux organismes marins et produisent plus de la moitié de l'oxygène terrestre. Cependant, des facteurs comme la température de l'eau de surface, la circulation de l'eau et du vent, le mouvement naturel des eaux riches en nutriments vers la surface ou l'accumulation de ruissellements agricoles dans les mers peuvent entraîner des proliférations d'algues, qui contiennent parfois des espèces toxiques.

Si on a bien défini les stratégies d'atténuation de l'impact des efflorescences planctoniques toxiques, qui flottent dans l'eau, il existe encore des lacunes dans la compréhension scientifique des efflorescences se produisant sur le plancher océanique, constituées d'espèces dites « benthiques ». Selon

## Acidification des océans

L'acidification des océans est également une conséquence du changement climatique sur les océans et constitue un important domaine de recherche de l'AIEA.

L'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère se traduit par une hausse de ce gaz dans les océans, ce qui entraîne leur acidification et menace les habitats océaniques. L'AIEA travaille avec des États Membres pour utiliser des techniques nucléaires de mesure de l'acidification des océans, ce qui permettra aux responsables politiques de prendre des mesures pour lutter contre ce phénomène.

Les techniques nucléaires et isotopiques sont très efficaces pour étudier l'acidification des océans et ont largement

contribué à l'étude des changements passés de l'acidité des océans et de leurs incidences possibles sur les organismes marins. Des chercheurs aux Laboratoires de l'environnement de l'AIEA utilisent le calcium 45 pour étudier les taux de croissance d'organismes calcifiants tels que les coraux, les moules et d'autres mollusques, dont les squelettes et les coquilles sont constitués de carbonate de calcium. Des traceurs sont également utilisés pour déterminer les effets de l'acidification des océans sur la physiologie des organismes marins, ainsi que les incidences d'un ensemble de facteurs de stress, tels que l'acidification des océans, les hausses de température et de la concentration en contaminants.

Clémence Gatti, chercheuse à l'Institut Louis Malardé, en Polynésie française, des changements environnementaux liés aux changements climatiques pourraient aggraver la situation dans les zones tropicales, car les récifs coralliens morts constituent de bons habitats pour les macroalgues. Compte tenu du nombre croissant de coraux qui meurent, il y a tout lieu de s'attendre à une prolifération des efflorescences algales benthiques nuisibles entraînant des risques pour la santé. De la même manière, avec l'augmentation des températures dans le monde, des espèces tropicales toxiques prospèrent dans des zones plus vastes des mers et océans subtropicaux et tempérés.

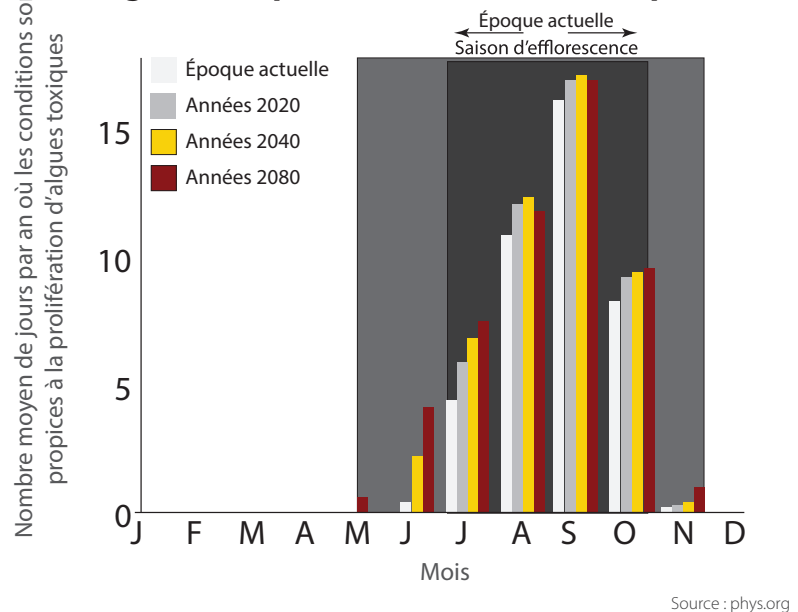
L'intoxication ciguatérique est l'une des maladies les plus courantes : il s'agit d'une intoxication non bactérienne due aux produits de la mer causée par l'ingestion de poisson contaminé par les toxines ciguatériques provenant des efflorescences algales benthiques nuisibles. La ciguatera, qui se limitait auparavant aux régions tropicales et subtropicales, s'est désormais répandue dans les eaux côtières européennes.

« C'est une maladie complexe qu'on ne comprend pas encore bien », a affirmé Clémence Gatti. « Elle peut se manifester sous la forme de 175 symptômes différents qui peuvent durer des mois, voire des décennies, ce qui rend le diagnostic et la prise en charge difficiles pour les médecins. »

L'AIEA travaille avec des scientifiques du monde entier pour renforcer la capacité à détecter avec exactitude les toxines dans l'environnement et les produits de la mer, de façon à pouvoir mettre en œuvre des mesures, telles que des fermetures de lieux de pêche et des interdictions de consommer des produits de la mer lorsque le risque d'intoxication est élevé (voir l'encadré « En savoir plus »).

Angelika Tritscher, coordonnatrice au Département Sécurité sanitaire des aliments et zoonoses de l'Organisation mondiale

### Changements attendus de la saison de la prolifération d'algues toxiques dans un climat futur plus chaud



Source : phys.org

de la Santé (OMS), a souligné que « les effets des maladies d'origine alimentaire sont du même ordre que ceux de maladies comme le paludisme et la tuberculose », ajoutant que des travaux supplémentaires sont nécessaires pour recueillir des données et mettre au point des méthodes qui permettent aux États de prendre en compte cette question.

L'AIEA continuera de collaborer avec d'autres organismes de l'ONU pour faire face aux nouveaux risques que peuvent entraîner les proliférations d'algues toxiques. « Une meilleure évaluation des risques associés aux proliférations d'algues toxiques permettra de réduire leur impact sur la santé humaine, l'économie et la société dans son ensemble, et contribuera à la réalisation des objectifs de développement durable », a déclaré Marie-Yasmine Dechraoui Bottein.

## EN SAVOIR PLUS

### Mesurer les biotoxines présentes dans les produits de la mer

L'AIEA travaille avec des experts des États Membres pour renforcer les capacités de façon à pouvoir détecter et mesurer les biotoxines présentes dans les produits de la mer. À l'aide de techniques nucléaires et isotopiques, les chercheurs peuvent mesurer avec précision les biotoxines et étudier comment elles passent d'un organisme à un autre et remontent dans la chaîne alimentaire, pour terminer peut-être dans nos assiettes.

Le dosage par radioligand compte parmi les techniques nucléaires utilisées. Elle repose sur une interaction spécifique entre les toxines et le récepteur auquel elles se lient (cible pharmacologique), lors de laquelle une toxine radiomarquée entre en compétition avec la toxine présente dans l'échantillon analysé pour se fixer sur un nombre limité de sites de liaison des récepteurs, ce qui permet de quantifier la toxicité de l'échantillon.

# Les effets du changement climatique sur les ressources en eau au Costa Rica

Par Laura Gil



**Des scientifiques prélèvent des échantillons d'eau de source pour analyser la présence de gaz rares, à Heredia (Costa Rica)**

(Photo : L. Castro/ESPH)

Situé sur l'étroite bande de terre qui sépare l'océan Pacifique de la mer des Caraïbes, le Costa Rica a enregistré ces dernières années des températures océaniques plus élevées que la normale et a été frappé par le premier ouragan jamais enregistré dans la région. Avec l'aide de l'AIEA, les scientifiques costariciens ont maintenant recours aux techniques isotopiques en vue de surveiller ces événements météorologiques extrêmes et de protéger les ressources en eau et la population du pays, dans une région qui, selon les prévisions, pourrait être particulièrement touchée par le changement climatique (article en anglais).

« L'eau a une mémoire », a déclaré Ricardo Sánchez-Murillo, coordinateur du groupe de recherche sur les isotopes stables de l'Université nationale du Costa Rica à Heredia. « Grâce aux isotopes, nous pouvons enregistrer cette mémoire et utiliser les informations actuelles sur les précipitations pour comprendre des événements climatiques passés et améliorer la planification du Costa Rica pour faire face aux futurs événements météorologiques, y compris aux ouragans », a-t-il ajouté. En 2015, après une période de grave sécheresse, l'Amérique centrale a connu l'une des plus fortes oscillations australes El Niño, un phénomène de réchauffement des eaux de surface de l'océan qui a lieu depuis des siècles dans la région. L'année suivante, le Costa Rica a affronté le premier ouragan enregistré à ce jour dans la région la plus au sud de l'Amérique centrale.

« Nous n'avons aucune donnée historique sur des ouragans touchant le Costa Rica. Nous étions donc vulnérables et en avons subi les conséquences parce que nous ne savions pas comment réagir », a expliqué Ricardo Sánchez-Murillo.

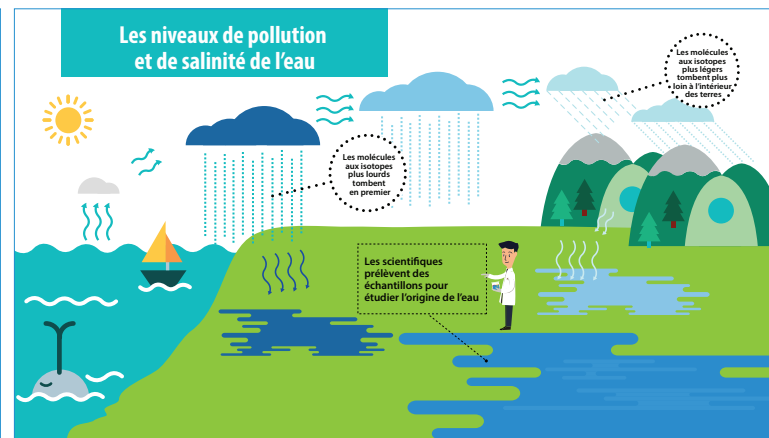
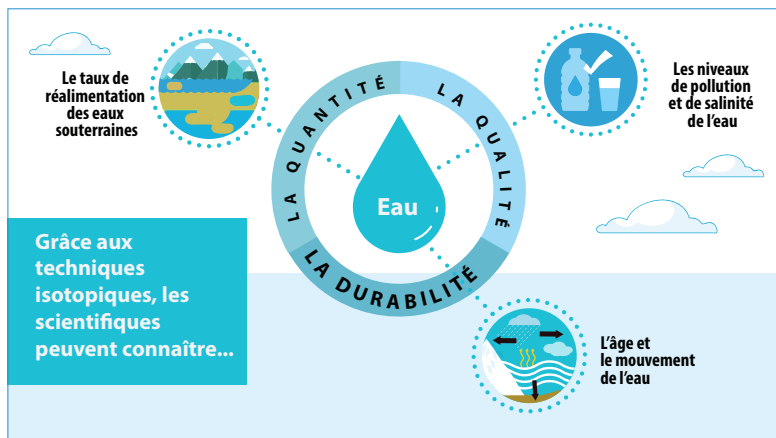
De tels phénomènes s'accompagnent d'ensemble d'empreintes isotopiques que des scientifiques comme Ricardo Sánchez-Murillo peuvent mettre en évidence à l'aide de techniques dérivées du nucléaire. Une fois les données d'isotopes enregistrées, ils les utilisent en association avec des modèles climatiques et des relevés climatiques antérieurs, afin de prédire la fréquence, la magnitude et l'intensité d'événements météorologiques futurs et d'en informer les autorités, qui peuvent du même coup être mieux préparées. La science qui permet cela est l'hydrologie isotopique (voir l'encadré ci-dessous).

« Nous avons désormais des traceurs qui jouent un rôle de sentinelle », a indiqué Ricardo Sánchez-Murillo. « Ces techniques nous permettent de voir ce qu'il n'est pas possible d'obtenir avec des instruments conventionnels. Les isotopes permettent de percevoir ce qui échappe aux méthodes conventionnelles », a-t-il ajouté.

En utilisant des techniques isotopiques pour étudier des systèmes hydrologiques qu'on ne comprend pas bien, des experts trouvent également des solutions à des problèmes d'eau liés au changement climatique qui touchent même les régions les plus humides, dont le Costa Rica. À l'aide de ces techniques, les scientifiques peuvent déterminer la quantité et la qualité des ressources en eau. Ils utilisent les isotopes naturels comme des traceurs pour déterminer la provenance, l'âge, la réalimentation, le niveau de pollution et le mouvement des eaux souterraines.

Dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA, des hydrologues au Costa Rica ont bénéficié d'un soutien et d'une formation en vue d'établir un réseau de surveillance qui trace les précipitations et les eaux souterraines.





(Infografía: F. Nassif/OIEA)

Les scientifiques s'appuient sur leur compréhension des régimes de précipitations pour savoir où, quand et comment a lieu la réalimentation des eaux souterraines, une information essentielle à la conception de plans de gestion des sols et de l'eau. À l'aide des isotopes, ils ont étudié l'eau présente dans la vallée centrale, qui est un couloir biologique entre les pentes de la côte pacifique et de la côte caribéenne approvisionnant en eau environ un cinquième de la population du Costa Rica, soit environ un million de personnes. Et aujourd'hui, ils savent exactement à quelle altitude et quelles sont les zones où les aquifères se rechargent en eau.

Selon Ricardo Sánchez-Murillo, « Il est essentiel que les organismes publics et les agences de l'environnement comprennent les principaux facteurs régissant les régimes de précipitations et leur relation à la réalimentation des eaux souterraines pour hiérarchiser les ressources et l'action à mener. Maintenant que nous connaissons les principales zones de réalimentation et le mouvement des eaux souterraines, nous

pouvons accorder la priorité à la conservation de ces zones par rapport aux activités commerciales ».

### Adaptation des politiques

Le but du travail de Ricardo Sánchez-Murillo et de son équipe est de permettre à son gouvernement de cibler des mesures de conservation sur les principales zones de réalimentation. Cela permettrait ensuite aux habitants, aux agriculteurs et aux entreprises de poursuivre leurs activités sans qu'elles n'aient de conséquences négatives sur les sources d'eau.

« Nous avons toujours eu des réglementations protégeant notre eau mais ce qui est différent, c'est que maintenant nous pouvons être plus précis, plus efficaces. Nous connaissons exactement les zones qui ont besoin d'une attention particulière et nous savons comment les protéger pour assurer un approvisionnement en eau pour aujourd'hui et les décennies à venir », a déclaré Ricardo Sánchez-Murillo.

## EN SAVOIR PLUS

### Hydrologie isotopique

Chaque molécule d'eau est composée d'atomes d'hydrogène et d'oxygène, mais ceux-ci ne sont pas tous identiques : ils peuvent être plus ou moins lourds.

« Toutes les eaux naturelles ont des compositions isotopiques de l'hydrogène et de l'oxygène différentes », explique Lucía Ortega, spécialiste en hydrologie isotopique à l'AIEA. « Cette composition isotopique est comme l'empreinte digitale de l'eau ».

Lors de l'évaporation de l'eau de mer, les molécules aux isotopes les plus légers ont tendance à s'élever. Durant les pluies, les molécules aux isotopes les plus lourds tombent en premier. Plus les nuages se déplacent à l'intérieur des terres,

plus la concentration en molécules à isotopes légers augmente dans les précipitations.

« Lorsqu'il pleut, cette eau remplit les lacs, les rivières et les aquifères », indique Lucía Ortega. « Mesurer la différence entre le nombre d'isotopes légers et le nombre d'isotopes lourds permet de déterminer l'origine de différentes eaux ».

En outre, l'abondance des isotopes radioactifs naturels présents dans l'eau comme le tritium et les gaz rares dissous dans l'eau peut permettre de déterminer l'âge des eaux souterraines, qui peut être de quelques jours ou de mille ans. « Ces données sont fondamentales dans l'analyse de la qualité, de la quantité et de la durabilité de l'eau », ajoute Lucía Ortega.

# Mesurer les niveaux d'humidité dans le sol grâce aux rayons cosmiques

Par Bettina Benzinger et Nicole Jawerth



**L'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques aide les agriculteurs à mesurer les niveaux d'eau dans le sol.**

(Photo : AIEA)

Dans plus de 25 pays, des scientifiques se servent des neutrons propulsés sur la Terre depuis l'espace par des rayons cosmiques pour mesurer l'eau dans le sol et aider les agriculteurs à économiser l'eau et à s'adapter aux changements climatiques. À l'aide d'un humidimètre à neutrons de rayons cosmiques, les scientifiques suivent la trajectoire dans l'atmosphère de ces neutrons animés de grandes vitesses pour déterminer la quantité d'eau déjà présente dans le sol et le moment où l'agriculteur doit ajouter de l'eau pour que les cultures puissent prospérer même dans des conditions climatiques difficiles.

« Mon pays est mis à mal par les changements climatiques et la sécheresse », a déclaré Imad-eldin A. Ali Babiker, spécialiste des sciences agronomiques à la Société de recherche agricole du Ministère de l'agriculture et des forêts du Soudan qui a participé à l'un des cours organisés par l'AIEA en collaboration avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et d'autres organisations internationales. « La formation pour utiliser l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques nous a donné les moyens de gérer la teneur en eau du sol », a-t-il ajouté.

L'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques est un appareil qui permet de mesurer les niveaux d'humidité en détectant les neutrons animés de grandes vitesses dans le sol et dans l'air juste au-dessus du sol (voir l'encadré « En savoir plus »). Il est plus rapide et plus facile à transporter et peut plus facilement couvrir une zone par rapport aux méthodes traditionnelles.

Depuis 2013, des scientifiques de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture testent et étalonnent l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques, notamment une version mobile qui se présente sous la forme d'un sac-à-dos. « Des études sur des cultures comme celle du maïs ont montré qu'un programme d'irrigation utilisant l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques peut permettre d'économiser jusqu'à 100 mm d'eau d'irrigation chaque saison, ce qui équivaut à un million de litres par hectare et à un volume énorme dans des régions où l'eau est rare, en optimisant le volume d'eau qu'un agriculteur doit utiliser et à quel moment il doit l'utiliser, tout en améliorant le rendement des cultures », a expliqué Ammar Wahbi, un spécialiste de l'étude de l'eau dans les sols de la Division mixte.

Plus de 300 scientifiques à travers le monde ont été formés à l'utilisation de cette technologie de détection des neutrons en suivant des cours conçus pour développer les compétences techniques et la capacité à les appliquer dans la prise de décisions. Les participants sont notamment formés à l'utilisation du modèle de simulation AquaCrop, un logiciel mis au point par la FAO pour simuler avec précision la croissance des cultures et la consommation d'eau dans le cadre de différents scénarios.

Selon Ameerah Hanoon Atiyah, un scientifique du Ministère de la science et de la technologie iraquien, « En Iraq, ces cours ont aidé les scientifiques à recenser les cultures adaptées aux conditions climatiques du pays. L'étude de différents scénarios

facilite la prise de décisions ; par exemple, quelles cultures produire pour mieux gérer les rares ressources en eau. »

Étant donné que les méthodes traditionnelles ne permettent de recueillir des informations qu'à quelques centimètres de la sonde, les études à grande échelle exigent énormément de temps et de travail. En revanche, l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques peut fournir des résultats immédiatement pour une superficie de 20 hectares, sans altérer le sol et perturber le vaste réseau d'organismes et de structures interdépendants présents.

« Les méthodes traditionnelles nécessitent de prélever plusieurs échantillons de sol, de les faire sécher au four pendant 48 h et de mesurer la différence de poids entre les échantillons originaux et les échantillons séchés », a expliqué Trenton Franz, un spécialiste en hydrogéophysique de l'Université du Nebraska à Lincoln qui participe aux cours de la Division mixte.

En 2018, plus de dix projets de recherche et de coopération technique nationaux et régionaux ayant trait aux humidimètres à neutrons de rayons cosmiques sont planifiés ou en cours de réalisation dans 15 pays. Dans le cadre de ces projets, des experts ont reçu, ou vont recevoir, leur propre appareil pour appliquer ce qu'ils ont appris pendant les cours.

## EN SAVOIR PLUS

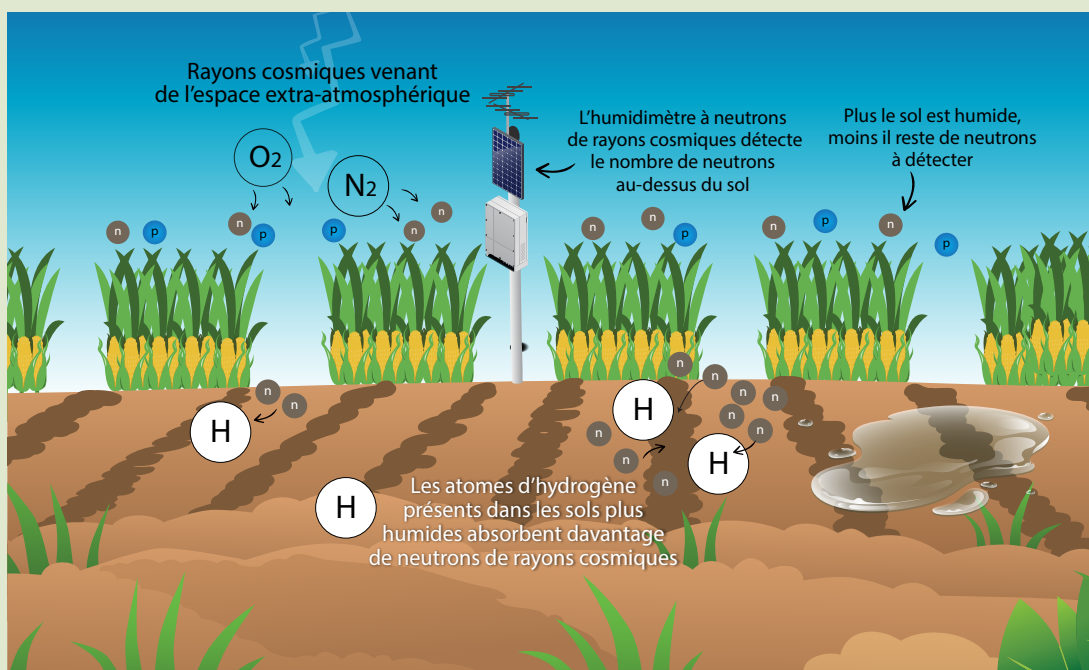
### Comment fonctionne l'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques

L'humidimètre à neutrons de rayons cosmiques détecte et compte le nombre de neutrons présents dans le sol et dans l'air juste au-dessus du sol. Les scientifiques utilisent ces informations pour déterminer les niveaux d'humidité du sol.

Les neutrons sont produits par des rayons cosmiques de haute énergie (principalement des protons) en dehors du système solaire. Ils entrent en collision avec des atomes, d'hydrogène et d'oxygène essentiellement, dans la haute atmosphère terrestre. Ces atomes se fragmentent en particules subatomiques comme les protons et les neutrons, qui traversent l'atmosphère et continuent d'entrer en collision avec d'autres atomes quand ils tombent.

Lorsqu'ils atteignent la surface terrestre, ces neutrons sont animés de très grandes vitesses. Leur énergie est absorbée par des atomes présents dans l'environnement, en particulier par des atomes d'hydrogène, qui absorbent la majeure partie de cette énergie. Cette absorption ralentit les neutrons.

Étant donné que la majorité de l'hydrogène présent dans l'environnement terrestre se trouve dans l'eau du sol, les scientifiques peuvent compter le nombre de neutrons rapides dans et à proximité du sol pour en déterminer la teneur en eau. Il y a davantage de neutrons rapides dans les sols plus secs, ce qui n'est pas le cas des sols plus humides car l'eau contient davantage d'hydrogène pour absorber l'énergie.



(Infographie : R. Kenn/AIEA)

# Aux Philippines, des algues irradiées renforcent la résistance du riz face aux typhons

Par Laura Gil



**La résistance aux intempéries des plants de riz augmente suite au traitement à base d'algues irradiées.**

(Photo : AIEA)

**A**ux Philippines, des chercheurs ont découvert qu'un extrait d'algues, une fois traité par irradiation, pouvait rendre les plantes plus résistantes aux typhons et stimuler la production de riz de 20 à 30 %. Cet extrait, le carraghénane, provient d'une algue présente en abondance dans la mer. S'il est déjà largement utilisé comme agent gélifiant et épaississant dans la préparation de produits alimentaires transformés, c'est la première fois que des chercheurs l'ont utilisé à grande échelle comme activateur de croissance des plantes, avec l'appui de l'AIEA.

« J'ai vu des résultats dès le premier jour d'utilisation », témoigne Isagani Concepción, ingénieur supervision et agriculteur à temps partiel à San Manuel, dans la province centrale de Tarlac. Sa rizière de 4 hectares a servi pour un essai du produit. Après avoir pulvérisé le carraghénane modifié, il a observé une hausse de la production de 30 %. « Avant, je récoltais 291 cavans de riz, et maintenant 378. Même une faible dose est aussi efficace que d'utiliser un engrais biologique. » Un cavan correspond à un sac d'environ 50 kg.

Les plants ont aussi commencé à développer des racines plus longues, des tiges plus rigides et plus de tallages. C'est ce qui leur confère une meilleure résistance aux typhons, d'après M. Concepción. Dans la province de Bulacain, en 2015, le typhon Lando a dévasté toutes les plantes de contrôle, qui n'avaient pas été traitées au carraghénane irradié. Celles qui avaient été traitées avec le nouvel activateur de croissance avaient résisté.

Pour les agriculteurs d'Asie de l'Est, le produit irradié est utile, à un moment où, d'après les prévisions du Groupe

d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat des Nations Unies, la hausse des températures entraînera le réchauffement des océans. Ce dernier pourrait conduire à des typhons plus intenses et fréquents, touchant directement les agriculteurs.

Les chercheurs en agronomie du Centre national de protection des cultures de l'Université des Philippines à Los Baños ont mesuré les avantages du carraghénane comme activateur de croissance des plantes sur plus de 5 000 hectares. L'AIEA a fourni les irradiateurs et a formé des experts locaux à leur utilisation. Lors d'une étude à Pulilan, une municipalité de la province de Bulacain, les chercheurs ont observé que les cultures dans les zones traitées avaient un rendement supérieur de 65 % au groupe de contrôle, bien que seule la moitié de la dose d'engrais recommandée ait été utilisée.

« La première différence que nous avons observée est que son effet bénéfique était de longue durée et que la panicule au sommet de la tige contenait énormément de grains », a indiqué Joselito Colduron, agriculteur de Bulacain.

## Les rayonnements plutôt que les produits chimiques

La technique consiste à exposer la substance à des rayonnements pour réduire le poids moléculaire du carraghénane et le rendre ainsi plus efficace. Le carraghénane est un mélange de polymères naturels dérivé de mauvaises

herbes, dont le poids moléculaire est élevé, a expliqué Sunil Sabharwal, spécialiste du radiotraitement à l'AIEA. L'irradiation aux rayons gamma dégrade le carraghénane naturel en oligomères plus petits, dont le poids moléculaire est inférieur, connus pour stimuler la croissance des plantes.

« On utilise les rayonnements comme d'autres utilisent des produits chimiques, mais les produits chimiques laissent souvent des résidus qui peuvent avoir des effets nocifs sur l'homme et sur l'environnement » a déclaré Lucille Abad, Chef de la Division de la recherche atomique de l'Institut philippin de recherche nucléaire (PNRI) qui fait partie du Ministère de la science et de la technologie.

Les agriculteurs se sont aperçus que les plantes traitées au carraghénane étaient aussi plus résilientes face aux insectes et arthropodes comme les mille-pattes. Dans le même temps, la population d'araignées, qui tuent les cicadelles porteuses de virus, a augmenté. « Nous n'avons plus besoin d'utiliser des pesticides parce que nous nous sommes aperçus que d'autres insectes faisaient fuir les ravageurs. Ces insectes ont permis de réduire le nombre de ravageurs, et nous avons arrêté d'utiliser des insecticides », a expliqué M. Colduron.

La technologie a aussi des effets sur le poids du riz. Les agriculteurs ont enregistré une hausse de 9 % du poids par sac. L'augmentation du poids du grain a des effets sur la tige et la longueur des épis, qui se sont améliorées, d'après les observations faites en comparant les plants traités au carraghénane aux plants des cultures classiques. « L'activateur de croissance des plantes à base de carraghénane apporte une réponse aux pénuries à la suite de mauvaises récoltes. Cette technologie augmente le rendement des récoltes, et donc les moyens de subsistance des agriculteurs », a déclaré M<sup>me</sup> Abad.

## Applications industrielles de la technologie des rayonnements

Les recherches initiales sur le carraghénane modifié irradié ont eu lieu au PNRI. Les chercheurs de l'institut ont eu recours à deux installations, une installation d'irradiation gamma semi-automatisée et une installation de faisceaux d'électrons établie avec l'assistance de l'AIEA, pour répondre aux besoins des clients dans l'industrie, les universités et les établissements de recherche.

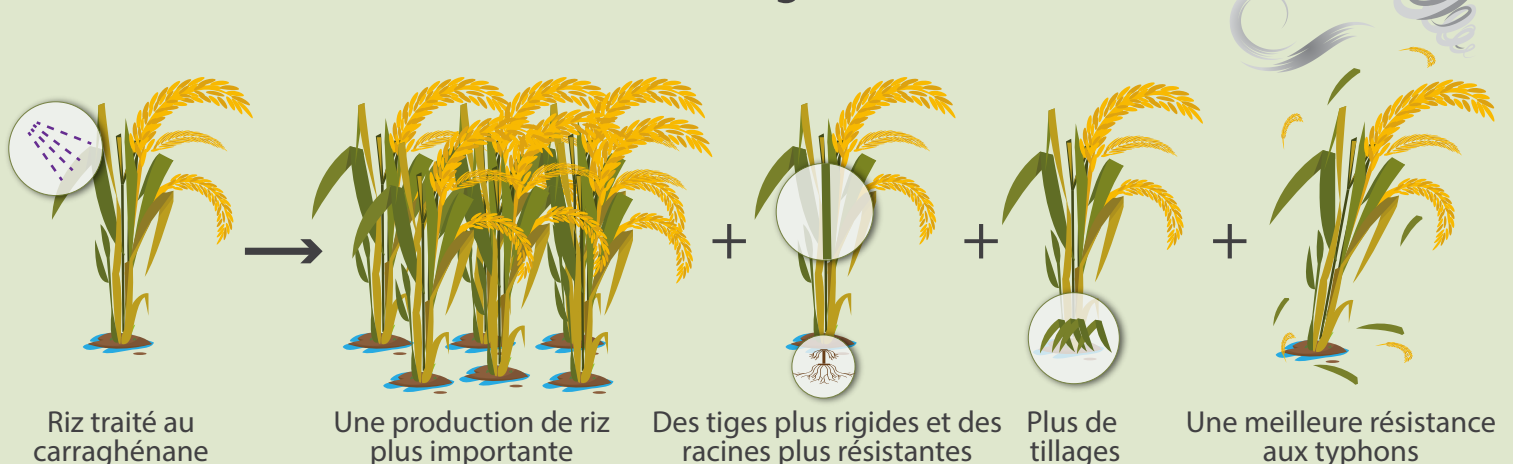
« Nous irradiions les aliments pour réduire la charge microbienne, aux fins de la sécurité sanitaire des aliments » a expliqué Luvimina Lanuza, chef des services d'irradiation du PNRI. « Nous traitons notamment les épices, les produits à base de plantes, les légumes déshydratés, les matières premières pour les cosmétiques et les accessoires. »

D'après M<sup>me</sup> Lanuza, l'irradiation présente de nombreux avantages par rapport à d'autres méthodes utilisant des produits chimiques. Par exemple, l'irradiation est un processus à froid qui permet de modifier des matières plastiques sans les faire fondre. Les rayons gamma sont très pénétrants, ils peuvent donc être utilisés pour irradier des produits alimentaires dans leur emballage final. Pour la seule année 2017, le personnel du PNRI a procédé à l'irradiation de 1 400 mètres-cube de produits alimentaires ou autres.

« Nous espérons pouvoir faire encore mieux l'an prochain », a déclaré M<sup>me</sup> Lanuza. Grâce à un projet de coopération technique de l'AIEA, le PNRI va passer d'une installation d'irradiation gamma semi-automatisée à une installation entièrement automatisée. « Nous espérons que cette nouvelle installation nous permettra d'augmenter nos services et également de répondre aux besoins du secteur médical pour ce qui est de la stérilisation des dispositifs médicaux. »

((Infographie : R. Kenn/AIEA))

## Les effets du carraghénane irradié



# Une nouvelle variété mutante de niébé aide les agriculteurs du Zimbabwe dans les zones sujettes à la sécheresse

Par Aabha Dixit et Svetlomir Slavchev



**La nouvelle variété de niébé (CBC5) mise au point au Zimbabwe par sélection par mutation radio-induite.**

(Photo : Prince M. Matova/Institut de sélection des plantes (CBI), Zimbabwe)

Les agriculteurs du Zimbabwe ont vu les rendements de niébé augmenter de 10 à 20 % grâce à une nouvelle variété sélectionnée à l'aide de techniques nucléaires. Cette nouvelle variété, mise au point avec l'appui de l'AIEA et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), a été mise en vente en novembre 2017. Elle présente une meilleure tolérance à la sécheresse et une meilleure résistance aux insectes, ce qui permet aux agriculteurs de faire face plus facilement aux effets des changements climatiques, en particuliers dans les régions sujettes à la sécheresse.

« Les changements climatiques, la sécheresse, les insectes ravageurs, les maladies et la faible fertilité des sols ont un impact sur nous les pauvres. Avant, nous cultivions principalement le maïs, mais maintenant, nous complétons notre panier de produits de première nécessité avec le niébé » a expliqué l'agriculteur Tafirenyika Gumbomunda.

« Nous luttons contre les changements climatiques avec une technologie de pointe qui a permis d'obtenir du niébé tolérant à la sécheresse », a-t-il ajouté.

La nouvelle variété de niébé, appelée CBC5, a été mise au point à l'aide de l'irradiation, processus souvent employé pour obtenir de nouveaux caractères utiles chez les plantes (voir l'encadré « En savoir plus »).

## Une nouvelle variété de niébé tolérante à la sécheresse

Le niébé compte parmi les quatre principales légumineuses cultivées et consommées au Zimbabwe et joue un rôle clé dans les approvisionnements alimentaires du pays. Plante vivrière, le niébé est cultivé principalement par des agriculteurs disposant de faibles ressources, a expliqué Prince Matova, scientifique spécialiste de la sélection des plantes de l'Institut de sélection des plantes (CBI) du Ministère de l'agriculture du Zimbabwe. « Contrairement à d'autres cultures, le niébé a besoin de peu d'eau et est adapté aux sols pauvres et aux climats arides. Les recherches en cours visent à rendre cette plante encore plus tolérante à la sécheresse, plus riche en nutriments et plus acceptables aux yeux des agriculteurs ainsi que des consommateurs » a-t-il précisé. Le niébé est naturellement riche en protéines, en zinc, en fer et en vitamines.

Cette plante à marché de niche pousse dans les régions arides du Zimbabwe et d'autres pays d'Afrique sub-saharienne, où les précipitations ne sont en moyenne que de 250 à 300 mm par an, a indiqué Prince Matova, avant d'ajouter que « les effets des changements climatiques sur la production végétale sont une cause d'inquiétude.

« Les agriculteurs perdent aussi leurs troupeaux, qui meurent de faim car les animaux n'ont plus assez d'herbe pour se nourrir dans la plupart de ces régions, en particulier à la saison sèche. Les feuilles de niébé peuvent servir de fourrage qui vient compléter les stocks d'aliments du bétail hors saison, quand les pâturages sont secs. Cette nouvelle variété mutante de niébé donne un rendement de fourrage élevé que les agriculteurs peuvent utiliser, en appui des systèmes associant activités agricoles et élevage », a-t-il ajouté.

Le niébé est consommé par les familles et l'argent que rapporte sa vente peut aider à payer les frais de scolarité, a expliqué M. Gumbomunda.

### Transfert de technologie, recherche, appui aux laboratoires et exécution

Le CBI a envoyé les semences de niébé pour irradiation au Laboratoire de la sélection des plantes et de la phytogénétique de la Division mixte FAO/AIEA des techniques nucléaires dans l'alimentation et l'agriculture à Seibersdorf (Autriche) et les semences leur ont été renvoyées pour qu'ait lieu la sélection des variétés présentant les caractéristiques désirées parmi les nombreuses plantes mutantes mises au point.

À la réception des semences, des populations mutantes ont été cultivées et les plants sélectionnés présentant des caractéristiques améliorées ont été développés, leur tolérance à la sécheresse a été testée et leur rendement mesuré.

Dans le cadre de son programme de coopération technique, l'AIEA a fourni du matériel et dispensé des formations aux scientifiques zimbabwéens. Le personnel du CBI et ses partenaires ont reçu une formation aux techniques de sélection des plantes, et notamment aux méthodologies de sélection des variétés mutantes préférées.

Quatre spécialistes de la sélection végétale ont été formés à l'utilisation des méthodes d'analyse rapides et efficaces de la résistance à la sécheresse et aux insectes ravageurs dans



**Cultivateurs de niébé avec la récolte de la nouvelle variété mutante de niébé (CBC5) dans le Matabeleland méridional (Zimbabwe).**

(Photo : Prince M. Matova/Institut de sélection des plantes (CBI), Zimbabwe)

le cadre de bourses, a dit M. Matova. Une formation à la sélection assistée par marqueurs a été également dispensée. Il s'agit d'un processus de sélection indirecte lors duquel les caractéristiques intéressantes sont sélectionnées en laboratoire au moyen de marqueurs génétiques.

De plus, l'appui à l'infrastructure comportait l'établissement au CBI d'un laboratoire moléculaire et de trois serres de sélection pour examen de la tolérance à la sécheresse et de la résistance aux insectes ravageurs. L'assistance de l'AIEA a permis de mettre en place un processus rapide de développement de variétés de niébé et d'évaluation et de sélection de souches mutantes. Elle a aussi contribué à rendre la mise au point de futures variétés plus rigoureuse et efficace, a-t-il souligné.

## EN SAVOIR PLUS

### Sélection des cultures par mutation

Les mutations spontanées des plantes sont fréquentes dans la nature, elles leur permettent de s'adapter constamment à l'évolution de l'environnement, ce qui peut prendre plusieurs milliers d'années. Les scientifiques sont capables d'accélérer ce processus grâce à des techniques nucléaires.

La sélection par mutation est un processus permettant de mettre au point des plantes présentant des caractéristiques désirées plus rapidement que par les méthodes classiques. Elle est fondée sur l'introduction de modifications génétiques héréditaires (mutations) chez les plantes par exposition à des rayons gamma, à des rayons X ou à d'autres sources de rayonnements.

Des variétés améliorées de plantes sont sélectionnées pour pousser dans des conditions difficiles, ou pour améliorer leur valeur nutritionnelle, leur résistance aux maladies et aux ravageurs, pour pousser dans des sols salins ou pour utiliser plus efficacement l'eau et les nutriments. Une fois sélectionnées pour leurs caractéristiques agronomiques améliorées, les plants individuels sont multipliés et distribués aux agriculteurs.





## L'irrigation au goutte-à-goutte, comment ça marche?

L'irrigation au goutte-à-goutte est une technique d'application de l'eau visant à améliorer l'utilisation de l'eau afin de maximiser le rendement des cultures. Elle consiste à appliquer lentement l'eau directement à la racine des plantes pour minimiser l'évaporation et les fuites. Des techniques nucléaires sont employées pour déterminer avec précision la quantité d'eau dont la plante a besoin ainsi que les moments d'application et les intervalles de temps entre deux applications.

Les scientifiques utilisent une sonde à neutrons pour mesurer les niveaux d'humidité dans le sol. Lors des mesures, la sonde émet des neutrons rapides qui entrent en collision avec

les atomes d'hydrogène de l'eau contenue dans le sol. Les collisions ralentissent les neutrons, et plus le nombre d'atomes d'hydrogène est élevé, plus les neutrons sont ralentis. Ce changement de vitesse des neutrons est détecté par la sonde qui transforme ces informations en indications sur le niveau d'humidité du sol.

L'eau est une ressource essentielle à la production alimentaire : on estime que l'agriculture représente 70 % de l'utilisation de l'eau douce, et la demande est croissante dans ce secteur. Selon les prévisions de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), d'ici à 2050, la demande en eau pour l'agriculture augmentera de 50 %, du fait en partie de la croissance démographique.

— Par Margot Dubertrand

(Photo : N. Jawerth/AIEA)



# Le rôle des techniques nucléaires dans l'agriculture éco-intelligente

Par Christoph Müller



Christoph Müller est Professeur d'écologie végétale expérimentale à l'université Justus Liebig de Giessen. Il enseigne aussi au University College de Dublin. Ses principaux domaines de recherche sont les effets des changements climatiques sur les processus écologiques, les cycles élémentaires dans les écosystèmes terrestres et les procédés de production des gaz à l'état de trace qui importe du point de vue écologique

Le défi actuel auquel fait face l'agriculture est d'augmenter la production pour nourrir une population humaine croissante, tout en maintenant les coûts environnementaux au minimum. L'agriculture éco-intelligente désigne les systèmes agricoles qui sont très productifs et ont une faible empreinte environnementale. Ces possibilités de gestion de systèmes améliorent le transfert de carbone atmosphérique, ou dioxyde de carbone, dans les sols, où il est stocké à long terme, ce qui limite l'émission de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

Cependant, la difficulté est que la productivité de ces systèmes ne dépend pas seulement de la teneur absolue en carbone. Elle dépend aussi de la proportion de carbone par rapport à tous les autres nutriments essentiels à la croissance de la plante. Par conséquent, la clé pour les systèmes agricoles éco-intelligents est d'assurer la gestion adéquate des nutriments, et plus particulièrement de l'azote.

Grâce aux découvertes révolutionnaires des scientifiques du XIX<sup>e</sup> siècle, parmi lesquels Justus Liebig, nous savons que les plantes absorbent l'azote principalement sous forme minérale. Cette découverte a mené au développement de stratégies relatives à l'emploi d'engrais chimiques et à la révolution verte, un ensemble de transferts de technologies et

de méthodes qui a rendu possible une hausse de la production agricole à l'échelle mondiale et a contribué à nourrir une population en constante croissance, en particulier dans les pays en développement pendant les années 1960.

Toutefois, ces progrès étaient accompagnés d'effets secondaires. Certes, les plantes ont commencé à absorber plus d'azote, mais les microbes aussi. Cette absorption par les microbes est la principale responsable de l'augmentation de 25 % des niveaux d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) atmosphérique. L'oxyde nitreux risque non seulement de provoquer un réchauffement climatique, mais c'est aussi un gaz susceptible d'appauvrir la couche d'ozone dont la durée de vie atmosphérique est de plus d'un siècle.

Le défi que doivent relever les systèmes agricoles éco-intelligents est de dissocier l'application d'engrais synthétiques de la croissance démographique : nourrir la population sans utiliser davantage d'azote. L'un des moyens d'y parvenir est d'apporter de l'azote à la plante en convertissant l'azote indisponible stocké dans la matière organique du sol en azote disponible, comme par exemple de l'ammonium, du nitrate ou d'autres substrats organiques assimilables par les végétaux. Il est possible d'évaluer si l'utilisation de l'azote dans les systèmes agricoles est efficace grâce à un outil, l'efficacité de l'utilisation de l'azote, c'est-à-dire le rapport entre l'apport d'azote et l'azote contenu dans la plante.

Les systèmes agricoles éco-intelligents renforcent la capacité du sol à stocker des nutriments et de l'eau par les possibilités de gestion qui augmentent la teneur du sol en matières organiques, rendant le sol résilient aux changements climatiques. L'amélioration de la fertilité des sols renforcera sur le long terme la capacité des sols à apporter de l'azote. En tenant compte des quantités d'azote présentes dans les sols, il est possible de réduire l'épandage d'engrais et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote.

## Quand le nucléaire entre en jeu

L'effet des pratiques agricoles sur le stockage du carbone et sur la dynamique de l'apport interne en azote peut être évalué

## Le rôle de l'AIEA dans l'agriculture éco-intelligente

L'AIEA, en coopération avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), aide les États Membres à appliquer des techniques nucléaires et connexes pour améliorer de manière durable la productivité agricole,

s'adapter et renforcer la résilience du système agricole et de la sécurité alimentaire, et réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'agriculture, le tout en tenant compte des spécificités et des priorités nationales et locale.

et quantifié uniquement au moyen de techniques nucléaires et isotopiques utilisant l'azote 15 et d'autres isotopes. Avec l'azote 15, il est possible de quantifier l'apport en azote provenant de différentes sources, notamment les engrais et les sols. La technique permet aussi aux scientifiques d'identifier quelles légumineuses absorbent le plus d'azote atmosphérique par fixation biologique de l'azote, améliorant la fertilité, mais aussi la qualité et la santé des sols.

Il est important d'évaluer les techniques agricoles éco-intelligentes qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre comme le  $N_2O$ . Avec les techniques de marquage par l'azote 15 ou l'oxygène 18, il est possible d'identifier et de quantifier la source exacte de production de  $N_2O$ . Ces informations permettent aux chercheurs et aux personnes qui utilisent les terres de choisir des stratégies d'atténuation adaptées pour réduire les émissions de ce gaz. Une autre façon de réduire les émissions de  $N_2O$  consiste à améliorer la conversion de ce gaz en  $N_2$ , respectueux de l'environnement,

grâce à des possibilités de gestion qui optimisent l'apport en carbone ou augmentent le pH du sol. D'une façon ou d'une autre, il est crucial de mesurer les émissions de  $N_2O$  et de  $N_2$ . La seule méthode dont nous disposons pour quantifier les émissions de  $N_2$  du sol est le marquage du nitrate par l'azote 15.

Les techniques nucléaires jouent un rôle essentiel dans l'évaluation des possibilités de gestion utilisées en agriculture éco-intelligente. Les méthodes scientifiques de base liées à l'utilisation de techniques nucléaires permettent aux scientifiques de quantifier les effets que les possibilités de gestion ont sur la dynamique de l'azote dans les systèmes plante-sol-atmosphère. Bien souvent, les techniques nucléaires sont la seule possibilité permettant d'évaluer les pratiques de l'agriculture éco-intelligente, qu'il s'agisse de l'effet du stockage du carbone dans les sols ou des processus qui sont responsables du rejet de gaz qui importe du point de vue écologique.

**Les techniques nucléaires jouent un rôle essentiel dans l'évaluation des possibilités en agriculture éco-intelligente. Ici, Christoph Müller montre à un groupe d'experts des États Membres de l'AIEA comment analyser la teneur du sol en azote lors d'une étude sur le terrain. (Photo : AIEA)**



# Le rôle de l'énergie nucléaire dans la réalisation des objectifs climatiques de l'Accord de Paris

Par Tom M.L. Wigley



Tom M. L. Wigley est climatologue à l'Université d'Adélaïde. Auparavant, il était directeur de l'Unité de recherche sur le climat à l'Université d'East Anglia. Ses principaux domaines de recherche sont l'analyse des données climatiques et la modélisation du climat, du niveau de la mer et du cycle du carbone. Il a été nommé membre de l'Association américaine pour le progrès de la science pour ses contributions dans ces domaines

Le rôle que l'énergie nucléaire peut jouer dans la réalisation des objectifs de limitation du réchauffement climatique fixés dans le cadre de l'Accord de Paris sur les changements climatiques dépend principalement de l'ampleur de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> visée. Le processus comporte deux étapes : il faut s'assurer que les objectifs sont réalistes avant de pouvoir évaluer comment le nucléaire peut contribuer à leur réalisation.

## Des objectifs réalistes

L'Accord de Paris est un accord historique qui vise à lutter contre les changements climatiques en s'appuyant sur la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il définit les objectifs de réduction du réchauffement climatique de deux manières :

*Article 2.1 a) :*

*En « [c]ontenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels [...] »*

*Article 4.1 :*

*« [L]es Parties cherchent à [...] parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle [...] »*

*L'article 4.1 de l'Accord prévoit en outre que les réductions d'émissions devraient se faire « conformément aux meilleures données scientifiques disponibles [...] »*

Cependant, cela pose des problèmes.

Premièrement, selon l'article 2.1 a), la température de la planète doit rester en permanence inférieure aux niveaux fixés. Si cela est techniquement réalisable, bien que très improbable, il serait beaucoup plus facile de permettre un réchauffement en laissant les températures dépasser la cible, puis redescendre

aux niveaux fixés. Cette possibilité soulève toutefois une autre question scientifique : dans quelle mesure et pendant combien de temps peut-on laisser la température dépasser la cible tout en réalisant l'objectif plus général de la CCNUCC, qui est d'« empêcher toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique », les perturbations anthropiques faisant ici référence à la pollution causée par les activités humaines.

Deuxièmement, l'objectif énoncé à l'article 4.1 peut ne pas être compatible avec l'article 2.1 a), d'après les meilleures données scientifiques disponibles. Si un dépassement de température est permis, ce qui à mon avis est nécessaire, ce n'est pas la peine de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à zéro avant la fin du siècle pour pouvoir réaliser la cible de 2 °C. C'est souvent ainsi que l'article 4.1 est interprété. Il est même possible de réaliser l'objectif de 1,5 °C en laissant la température dépasser la cible de façon appropriée, sans que la courbe des émissions n'entre dans la zone négative (voir la figure). Les émissions devraient cependant être négatives si la température dépassait la cible dans une mesure moindre à partir de l'année 2060 environ, conformément à l'article 4.1. Si cela se produisait, les puits océaniques et terrestres résiduels à long terme permettraient de ramener par la suite les émissions à un niveau supérieur à zéro.

Ces questions sont illustrées sur la figure : les émissions de CO<sub>2</sub> ont d'abord été calculées après avoir établi une courbe de réchauffement (voir le graphique du haut, qui présente deux cas pour l'objectif de 1,5 °C), puis en utilisant un modèle climatique en mode inverse pour déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile alors nécessaires (voir le graphique du milieu). De cette manière, nous avons pu établir les courbes de concentration de CO<sub>2</sub> correspondantes.

## Et le nucléaire ?

Quel rôle l'énergie nucléaire pourrait-elle jouer dans la réalisation des objectifs correspondant aux courbes des émissions représentées sur le graphique du milieu de la figure ? Nous pouvons répondre partiellement à cette question en utilisant les résultats obtenus à l'aide de modèles d'évaluation intégrés – modèles économiques de l'énergie utilisés pour projeter les données et les conséquences de la demande énergétique future – publiés dans le Programme scientifique sur les changements climatiques des États-Unis.

Trois équipes de modélisation de l'évaluation intégrée reconnues à l'échelle mondiale ont été chargées d'élaborer une série de scénarios d'atténuation axée sur l'action des pouvoirs publics au moyen des modèles IGSM, MERGE et MiniCAM. Dans ces scénarios, les objectifs ont été atteints comme suit :

- en réduisant la demande énergétique des utilisateurs finals, notamment grâce à des améliorations en matière de conservation et d'efficacité ;
- en augmentant la production d'énergie à partir de la biomasse, de sources renouvelables autres que la biomasse (éolien et solaire principalement) et du nucléaire ; et

- en capturant et en stockant le carbone.

Dans tous les scénarios, y compris ceux de référence, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> se fait à la fois spontanément, c'est-à-dire en l'absence de nouvelles politiques d'atténuation, et à la suite de la mise en œuvre de mesures. En effet, même dans les scénarios de référence, l'utilisation de technologies énergétiques ne générant pas de gaz carbonique augmente, au point que 19-29 % de la production d'énergie primaire se fera sans émissions de carbone d'ici 2100. Cependant, pour atteindre l'objectif de 2 °C, il faut encore réduire dans une large mesure la production d'énergie primaire émettant du CO<sub>2</sub>.

Le tableau ci-dessous montre la contribution (en pourcentage) de chaque modèle à la réduction globale de la production d'énergie primaire d'ici 2100, par rapport aux niveaux de référence.

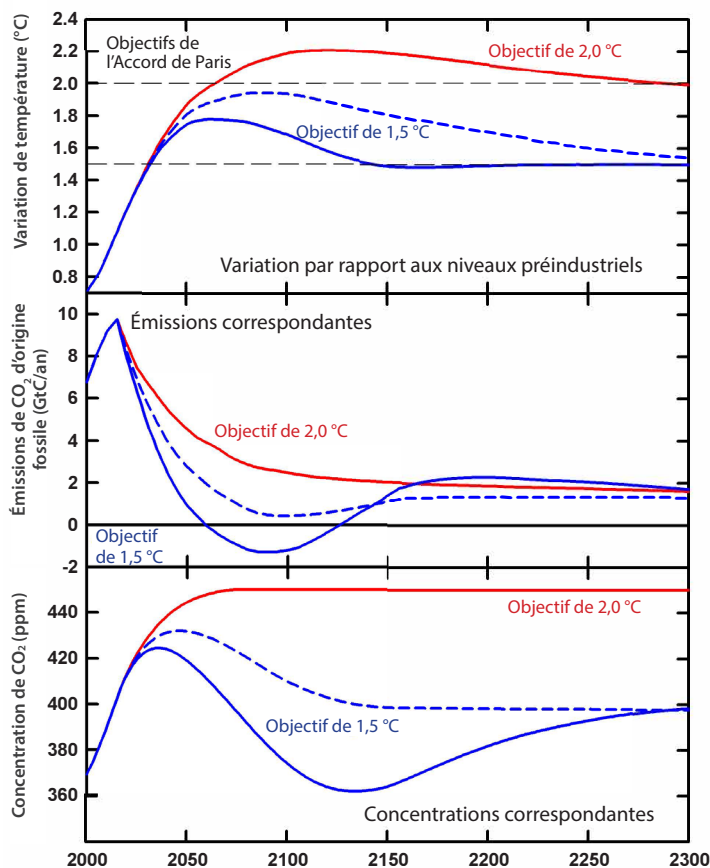
Le modèle IGSM se démarque nettement en ce qui concerne la réduction de la demande énergétique, car ceux qui l'ont élaboré supposaient que la production d'énergie nucléaire dans le monde évoluerait très peu, du fait notamment de l'opinion défavorable de la population à l'égard du nucléaire. Compte tenu du rôle minime de l'énergie nucléaire, il faudrait que la demande diminue pour que les émissions soient réduites de manière significative. Les deux autres modèles donnent des pourcentages très différents de ceux du modèle IGSM et attribuent un rôle bien plus important au nucléaire.

Afin d'étayer ces chiffres, voici ci-après les valeurs de l'énergie primaire nucléaire en exajoules (EJ) pour l'année 2100, par modèle : 238 EJ avec le modèle MERGE (total : 491 EJ d'énergie primaire), 185 EJ avec le modèle MiniCAM (total : 1 288 EJ) et seulement 20 EJ avec le modèle IGSM (total : 1 343 EJ). En 2000, les 451 réacteurs nucléaires de puissance toujours en exploitation aujourd'hui généraient approximativement 8 EJ d'électricité, soit l'équivalent de quelque 26 EJ d'énergie primaire, ce qui veut dire que le modèle IGSM prévoit en réalité une diminution de la production d'énergie nucléaire. Les modèles MERGE et MiniCAM prévoient, quant à eux, des augmentations d'un facteur neuf et sept, respectivement, entre 2000 et 2100.

Il existe toutefois des preuves tangibles du fait que le nucléaire pourrait se développer à un rythme bien plus rapide, comme cela a été le cas en France ou en Suède, lorsque ces pays ont décidé de passer au nucléaire. Si cela se produit, l'énergie nucléaire pourrait – et devrait – jouer un rôle bien plus important que laissent à penser les modèles présentés ci-dessus.

Modèle	Demande	Biomasse	Sources renouvelables	Nucléaire	Capture du carbone	Résidu
IGSM	50,4 %	17,3 %	3,3 %	1,5 %	16,8 %	10,7 %
MERGE	27,6 %	17,5 %	12,3 %	16,0 %	21,1 %	5,6 %
MiniCAM	18,7 %	17,9 %	13,7 %	14,4 %	22,8 %	12,5 %

**Contribution de diverses sources d'énergie à la réduction de la production d'énergie primaire. Le résidu correspond au volume de la production d'énergie primaire émettant encore du CO<sub>2</sub>.**



**Si l'on permet un dépassement temporaire des objectifs de l'Accord de Paris, il n'est pas nécessaire que les émissions de CO<sub>2</sub> soient négatives.** (Source : Wigley, Climate Change, vol. 147, pp. 31-45, 2018)

Investir plus massivement dans le nucléaire présente des avantages manifestes. Tout d'abord, le nucléaire est la seule source d'énergie qui peut produire en continu une électricité de base sans carbone, avec une empreinte beaucoup plus faible que celle des énergies renouvelables. Les inconvénients perçus sont en grande partie illusoire : les coûts de construction et de production d'électricité récemment estimés pour les petits réacteurs modulaires sont aussi concurrentiels que ceux correspondant aux combustibles fossiles et aux technologies utilisant des sources renouvelables ; les problèmes de gestion des déchets peuvent potentiellement être résolus grâce aux technologies de quatrième génération ; les réacteurs modernes assurent une sûreté passive ; et les risques de prolifération sont minimes. Compte tenu des objectifs ambitieux fixés dans le domaine climatique, il serait selon moi hasardeux de négliger le rôle important que peut jouer l'énergie nucléaire.

## Des donateurs institutionnels de trois pays contribuent à la modernisation des laboratoires de l'AIEA

Des établissements de recherche nucléaire polonais, marocain et philippin ont contribué à hauteur de près de 30 000 € à la modernisation en cours des laboratoires des applications nucléaires de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche).

« Les activités de l'AIEA, notamment dans les domaines de la radioprotection, de la dosimétrie des rayonnements et de la médecine nucléaire, revêtent une importance cruciale pour la satisfaction des besoins des États Membres et le progrès de la science », explique Andrzej Chmielewski, Directeur général de l'Institut polonais de chimie et de technologie nucléaires. « Nous espérons que notre contribution renforcera les capacités de l'AIEA en matière de recherche-développement et de formation. »

Outre l'institut polonais, deux autres établissements ont versé des contributions, à savoir l'Institut philippin de recherche nucléaire et le Centre national marocain de

l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires.

La modernisation comprend la construction de deux nouveaux bâtiments : un nouveau Laboratoire de la lutte contre les insectes ravageurs, et le Laboratoire modulaire polyvalent, qui abritera le Laboratoire de la production et de la santé animales, le Laboratoire de la protection des aliments et de l'environnement et le Laboratoire de la gestion des sols et de l'eau et de la nutrition des plantes. Elle comprend également une amélioration des autres laboratoires, l'acquisition de nouveaux équipements et la mise à niveau des infrastructures.

« Nous sommes heureux de bénéficier d'un tel appui de la part d'établissements conscients de l'importance de nos travaux dans le domaine des applications nucléaires », se réjouit Andy Garner,

coordonnateur des laboratoires en charge du projet de modernisation des laboratoires à l'AIEA. « Nous continuerons de promouvoir l'établissement de partenariats avec des organismes nationaux et des entreprises privées, afin de renforcer la capacité de l'AIEA à fournir un appui de qualité aux États Membres. »

Andy Garner ajoute que les États Membres prennent conscience qu'il existe de nouveaux moyens de contribuer aux travaux de modernisation en cours, et les organismes en sont un.

Le montant des contributions en espèces au projet de modernisation, versées principalement sous la forme de contributions extrabudgétaires par des gouvernements, s'élève à plus de 32 millions d'euros depuis 2014.

— Matt Fisher

## Réduire l'obésité infantile en Europe grâce aux techniques nucléaires: colloque de l'AIEA au Congrès européen sur l'obésité

L'obésité infantile est en augmentation partout dans le monde et devient rapidement l'un des plus graves problèmes de santé publique du XIX<sup>e</sup> siècle, selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Un projet de l'AIEA présenté en mai 2018 au Congrès européen sur l'obésité (ECO 2018) aide des professionnels de la nutrition et de la santé dans dix pays européens à évaluer la composition corporelle à l'aide de techniques faisant appel aux isotopes stables. Les données recueillies permettront aux décideurs de concevoir des mesures de prévention et de lutte contre l'obésité infantile.

Le colloque organisé par l'AIEA, intitulé « Évaluer la composition corporelle pour mieux comprendre les risques liés à l'obésité infantile et pour concevoir des mesures efficaces », s'est déroulé parallèlement à l'ECO 2018. Des études de cas menées en Bosnie-Herzégovine et en Lettonie ont été présentées afin d'expliquer comment la technique de dilution de l'oxyde de deutérium est

utilisée pour mesurer avec précision la graisse corporelle comme facteur de risque d'obésité parmi les enfants d'âge scolaire dans ces deux pays. Les informations obtenues dans le cadre de ce projet contribueront à la formulation de politiques et de mesures visant à réduire l'obésité en Europe. Ces deux pays participent déjà à l'Initiative de l'OMS pour la surveillance de l'obésité infantile.

### Charge de morbidité croissante liée à l'obésité infantile

D'après l'OMS, un enfant de onze ans sur trois en Europe et en Asie centrale est en surpoids ou obèse. Les modifications des habitudes alimentaires, les modes de vie sédentaires et le manque d'activité physique sont les causes principales de l'augmentation des taux d'obésité. Faute d'intervention, les enfants qui sont en surpoids ou obèses le resteront probablement à l'âge adulte et auront plus de risque de développer plus tôt des

maladies non transmissibles, comme le diabète et les maladies cardiovasculaires.

« Étroitement lié aux stratégies régionales de l'OMS concernant l'obésité infantile et la prévention des maladies non transmissibles, le projet fournira des données factuelles indispensables à la formulation de politiques et de mesures efficaces », a expliqué Inese Sikсна, nutritionniste à l'Institut letton de la sécurité alimentaire, de la santé animale et de l'environnement.

### Suivi rigoureux de l'obésité

Durant le colloque, des experts de l'AIEA ont discuté de la façon dont la composition corporelle pouvait servir d'outil pour suivre avec rigueur l'obésité, et des représentants de l'OMS et d'autres partenaires ont débattu de l'importance de l'obtention de données précises à l'aide de techniques faisant appel aux isotopes stables en vue de l'élaboration de politiques.

Aida Filipović Hadžimeragić, de l'Institut de santé publique de Bosnie-Herzégovine, a souligné qu'il était important de collaborer pour mettre en commun les compétences et les connaissances de chacun. « Les ateliers et les formations déjà organisés ont grandement aidé des représentants de la Bosnie-Herzégovine, tels que des médecins, des infirmiers et des techniciens, à acquérir les compétences et le savoir-faire nécessaires pour évaluer la composition corporelle au moyen de la technique dilution du deutérium par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) et de l'analyse de l'impédance bioélectrique, ainsi que pour recourir à l'accélérométrie en vue de mesurer les niveaux d'activité physique et

le comportement sédentaire des enfants », a-t-elle ajouté.

L'AIEA a fourni des spectromètres IRTF aux autorités compétentes d'Albanie, de Bosnie-Herzégovine, de Grèce et du Monténégro en vue de les aider à analyser l'enrichissement en deutérium des échantillons de salive prélevés dans chacun des dix pays participants. Le projet est mis en œuvre dans le cadre du programme de coopération technique de l'AIEA.

Selon Inese Sikсна, la technique de dilution du deutérium peut aussi servir de référence pour valider les méthodes existantes de dépistage et de suivi de l'obésité en Lettonie.

Le colloque a été organisé en collaboration avec le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, l'Association européenne pour l'étude de l'obésité et le programme de recherche multidisciplinaire N8 AgriFood, qui rassemble huit universités du Nord de l'Angleterre.

Les pays suivants ont participé au projet : Albanie, Bosnie-Herzégovine, Grèce, Hongrie, Lettonie, L'ex-République yougoslave de Macédoine, Moldova, Monténégro, Portugal et Ukraine. L'AIEA les aide à coordonner l'ensemble du projet et leur offre du matériel, des services d'experts ainsi que des formations.

— *Mariam Arghamanyan*

## Les Orientations de l'AIEA sur la gestion des sources radioactives retirées du service sont désormais disponibles

Les Orientations sur la gestion des sources radioactives retirées du service, approuvées par la 61<sup>e</sup> Conférence générale de l'AIEA en septembre 2017, sont désormais disponibles sur le site web de l'AIEA. Ce sont des orientations complémentaires au Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, ainsi qu'aux Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives.

Des millions de sources radioactives sont utilisées dans le monde dans les domaines de la médecine, de l'industrie, de l'agriculture et de la recherche. Les sources peuvent rester radioactives longtemps après la fin de leur vie utile, c'est pourquoi il est essentiel qu'elles soient gérées de façon sûre et sécurisée. Le Code de conduite et les documents qui l'accompagnent facilitent la gestion et la protection en fournissant des orientations pour l'élaboration, l'harmonisation et la mise en œuvre de politiques, de lois et de règlements nationaux, ainsi qu'en promouvant la coopération régionale et internationale.

« Les Orientations promeuvent une culture de la sûreté et de la sécurité radiologiques plus rigoureuse, qui sera encore renforcée une fois que les États

Membres auront mis en pratique les recommandations formulées dans le document », a expliqué Hilaire Mansoux, chef de la Section de l'infrastructure réglementaire et de la sûreté du transport à l'AIEA.

Les Orientations, qui ne sont pas juridiquement contraignantes, présentent toute une gamme d'options pour la gestion et la protection des sources radioactives retirées du service et décrivent les responsabilités des parties concernées, y compris les organismes de réglementation. Elles mettent en avant le stockage définitif comme option de gestion définitive des sources radioactives et encouragent les pays à se doter de politiques et stratégies nationales pour gérer les sources radioactives retirées du service de manière sûre et sécurisée. Elles contiennent en outre des dispositions relatives aux relations bilatérales, dont des conseils sur le renvoi des sources lorsque de tels arrangements ont été arrêtés.

Muhammed Khaliq, chef de la Section de la sécurité nucléaire des matières et des installations de l'AIEA, a fait que remarquer que lorsque les Orientations auront été appliquées, elles renforceront également la sécurité nucléaire.

« Le contrôle efficace et continu de la réglementation et de la gestion des sources radioactives de bout en bout est de la plus haute importance pour la prévention des actes malveillants ayant des conséquences radiologiques néfastes », a-t-il affirmé.

Les États Membres s'engagent politiquement en faveur du Code et des orientations qui l'accompagnent dans une lettre officielle adressée à l'AIEA, dans laquelle ils affirment qu'ils agiront conformément aux recommandations. Sur les 170 États Membres de l'AIEA, 137 se sont jusqu'ici engagés en faveur du Code de conduite et 114 en faveur des Orientations pour l'importation et l'exportation de sources radioactives.

L'AIEA aide ses États Membres à mettre en œuvre le Code de conduite et les documents d'orientation dans le cadre de projets et par l'échange d'informations. Un processus formel a notamment été mis en place en 2006. La première réunion internationale destinée à la mise en commun de données d'expérience sur la mise en œuvre des Orientations sur la gestion des sources radioactives retirées du service est prévue en 2020, à Vienne.

— *Matt Fisher*

## États membres primo-accédants et États membres exploitants discutent du financement de la gestion des déchets radioactifs et du déclasséement lors d'une réunion de l'AIEA

L'une des conditions préalables à la durabilité des programmes électronucléaires est la gestion rapide et efficace du combustible usé et des déchets radioactifs qui résultent de l'exploitation et du déclasséement de centrales nucléaires. L'estimation des passifs et l'obtention des ressources nécessaires pour remplir ces conditions comportent une grande part d'incertitude : certains processus doivent être gérés de manière régulière sur de très longues périodes. Les principales difficultés, telles que les mécanismes de financement et l'évaluation technique des risques à l'appui de la gestion des déchets et du déclasséement des installations nucléaires, ont été abordées lors d'une récente réunion technique de l'AIEA.

Trente-quatre experts représentant 21 pays exploitant l'électronucléaire et pays primo-accédants ont participé à la première réunion technique de l'AIEA sur le financement de la gestion des déchets et du déclasséement, qui a eu lieu à Vienne du 9 au 12 juillet 2018.

Les participants ont exposé leurs points de vue sur les façons d'aborder les questions de coûts et de financement liées à la gestion des déchets et au déclasséement, et présenté des exemples et des études de cas propres à chaque pays.

« Pour veiller à ce que les gouvernements, les organismes de réglementation et les propriétaires/exploitants mettent en place des politiques et des mécanismes de financement adéquats et fiables, l'AIEA recommande d'élaborer rapidement des plans solides afin que les fonds soient disponibles au moment du déclasséement ou de la gestion des déchets radioactifs », a déclaré Dohee Hahn, directeur de la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'AIEA, en s'adressant aux participants.

La présidente de la réunion, Chantal Spinoy (Electrabel, Belgique), a souligné l'importance de la participation des parties prenantes à l'ensemble du processus : « Il est indispensable que les parties prenantes concernées assument leurs responsabilités

partagées lorsque des décisions à long terme concernant les passifs financiers sont prises : il s'agit du seul moyen de s'assurer que des fonds suffisants soient disponibles pour couvrir les coûts futurs du déclasséement et du stockage définitif des déchets radioactifs, a-t-elle affirmé. Ce n'est toutefois pas facile, car les coûts dans les prochaines décennies sont de plus en plus incertains. »

Les discussions tenues lors de la réunion ont porté principalement sur trois grands thèmes, à savoir : 1) les principes fondamentaux des mécanismes de financement et de l'identification des sources de risques et des stratégies de réduction des risques ; 2) l'estimation des coûts pour la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs et le déclasséement des installations nucléaires ; et 3) la gestion des incertitudes et des risques liés à la gestion du combustible usé et des déchets radioactifs.

Les participants ont surtout examiné l'estimation des coûts associés aux activités et aux projets liés au déclasséement d'une centrale nucléaire et au stockage définitif du combustible usé, ainsi que la détermination des facteurs de coûts pertinents et des moyens de les couvrir. Les représentants des pays exploitant des centrales nucléaires et ayant une expérience directe de l'établissement et la mise en œuvre de politiques visant à financer la gestion des déchets et le déclasséement ont présenté leurs points de vue, les difficultés rencontrées et les enseignements tirés dans le cadre d'études de cas.

S'agissant des mécanismes de financement, la réunion a permis aux pays expérimentés de partager leurs meilleures pratiques de réduction des risques lors de l'élaboration des plans financiers pour ce type de projets à long terme.

« Il est clairement ressorti de la réunion qu'il était important que les mécanismes de financement reposent sur le principe du pollueur payeur », a expliqué Richard Ström de l'Autorité suédoise de sûreté radiologique. « À cet égard, la Suède met

l'accent sur des stratégies de réduction des risques, telles que la création d'un fonds distinct pour couvrir les coûts attendus, le recalcul continu des frais et l'octroi de garanties pour les frais qui n'ont pas encore été payés, ainsi que pour tenir compte des dépassements de coûts imprévus. »

Par ailleurs, la réunion a permis aux pays primo-accédants de tirer des enseignements de l'expérience de pays ayant un programme nucléaire bien établi, notamment en matière de politiques et de stratégies de déclasséement, ce qui devrait leur être utile lorsqu'ils commenceront à élaborer leurs propres méthodes d'estimation des coûts, à trouver les fonds nécessaires et à prendre des dispositions pour les futures activités de déclasséement.

Le Ghana en est à la phase initiale son projet électronucléaire et en train d'élaborer un rapport très détaillé sur le sujet. Festus Brew Quansah, analyste financier à la Commission ghanéenne de l'énergie atomique, a donc souligné que cette réunion était importante et venait à point nommé.

« Les expériences nationales qui ont été partagées étaient très instructives. Elles aideront l'organisme ghanéen d'application du programme d'énergie nucléaire à mettre en contexte un programme de financement de la gestion des déchets et du déclasséement », a-t-il confié.

« Il était très important pour nous d'obtenir des informations actualisées sur la nécessité d'une orientation générale bien définie, de mécanismes de financement appropriés, d'un cadre institutionnel solide pour exécuter le programme et d'un mécanisme réglementaire clair pour assurer un financement du programme suffisant. Je repars au Ghana avec de nouvelles idées dont je pourrai faire part à mon équipe et à mon gouvernement », a-t-il conclu.

— Jennet Orayeva





CN-268

# COLLOQUE INTERNATIONAL SUR La compréhension du double fardeau de la malnutrition en vue d'interventions efficaces

10-13 décembre 2018  
Vienne (Autriche)

#dbmal



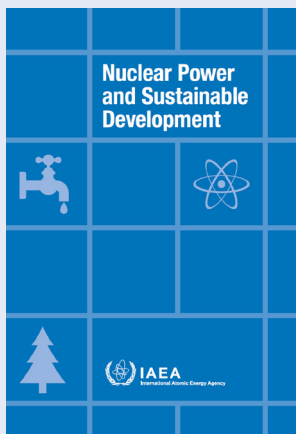
UNITED NATIONS DECADE OF  
**ACTION ON NUTRITION**  
2016-2025

Organisé par



En coopération avec



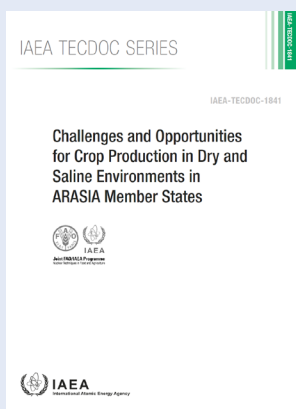


## Électronucléaire et développement durable

La publication intitulée Nuclear Power and Sustainable Development examine comment l'énergie nucléaire pourrait contribuer au développement durable grâce à un large éventail d'indicateurs. Les caractéristiques de l'électronucléaire et celles d'autres sources d'approvisionnement en électricité y sont comparées sur la base des aspects économique, social et environnemental du développement durable. Les conclusions qui y sont résumées aideront le lecteur à examiner ou à réexaminer la façon dont le développement et l'exploitation des centrales nucléaires peuvent contribuer à la mise en place de systèmes énergétiques plus durables.

Publication hors-série ; ISBN : 978-92-0-107016-6 ; 45,00 euros ; 2016 (en anglais)

<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11084/Nuclear-Power-and-Sustainable-Development>

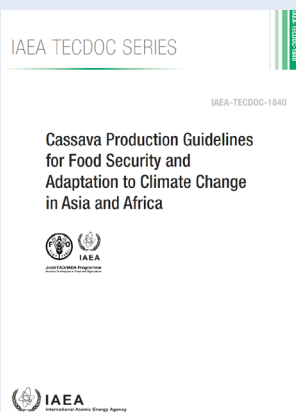


## Difficultés et possibilités liées à la production végétale dans des environnements arides et salins dans les États Membres parties à l'ARASIA

Le document technique intitulé Challenges and Opportunities for Crop Production in Dry and Saline Environments in ARASIA Member States est un document de référence en matière d'agriculture dans des environnements arides et salins, notamment ceux situés au Moyen-Orient. Toutes les informations et recommandations qu'il contient sont fondées sur de bonnes pratiques ayant porté leurs fruits dans des systèmes de culture durable sur des sols à forte salinité. Ce document aidera les scientifiques et les agriculteurs à choisir des options de gestion adaptées à ce type d'environnements dans leur pays. Il porte aussi sur l'utilisation possible de techniques isotopiques pour faire face à des conditions de salinité et de sécheresse qui ont une incidence sur la production végétale.

IAEA-TECDOC-1841 ; ISBN : 978-92-0-101918-9 ; 18,00 euros ; 2018 (en anglais)

<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12305/Crop-Production>



## Lignes directrices relatives à la production de manioc aux fins de la sécurité alimentaire et de l'adaptation aux changements climatiques en Asie et en Afrique

Le document technique intitulé Cassava Production Guidelines for Food Security and Adaptation to Climate Change in Asia and Africa a pour objet d'aider les États Membres à améliorer leur production de manioc. Il contient des informations sur les meilleures pratiques de gestion d'une exploitation agricole et sur la contribution des techniques nucléaires et isotopiques à une meilleure compréhension de l'absorption de l'azote. Les lignes directrices présentées constituent un plan de gestion des nutriments, des mauvaises herbes, des insectes ravageurs et des maladies intégrée et fondée sur les besoins des cultures pour le manioc. En appliquant les méthodes décrites, les agriculteurs peuvent optimiser le rendement des cultures de manioc et réduire au minimum les coûts de production. Ces méthodes contribuent aussi à réduire la dégradation des terres due à l'érosion des sols, en particulier sur les terrains en pente, et par conséquent à protéger l'environnement local. L'objectif est d'améliorer la qualité et la valeur de marché des produits à base de manioc.

IAEA-TECDOC-1840 ; ISBN : 978-92-0-101718-5 ; 18,00 euros ; 2018 (en anglais)

<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12311/Cassava-Production>

### Pour obtenir de plus amples informations ou commander une publication, veuillez écrire à l'adresse suivante:

Unité de la promotion et de la vente  
 Agence internationale de l'énergie atomique  
 Centre international de Vienne  
 PO Box 100, A-1400 Vienne (Autriche)  
 Mél.: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

Conférence internationale sur

# Les changements climatiques et le rôle de l'électronucléaire

7-11 octobre 2019, Vienne (Autriche)



Organisée par



**IAEA**

Agence internationale de l'énergie atomique  
*L'atome pour la paix et le développement*

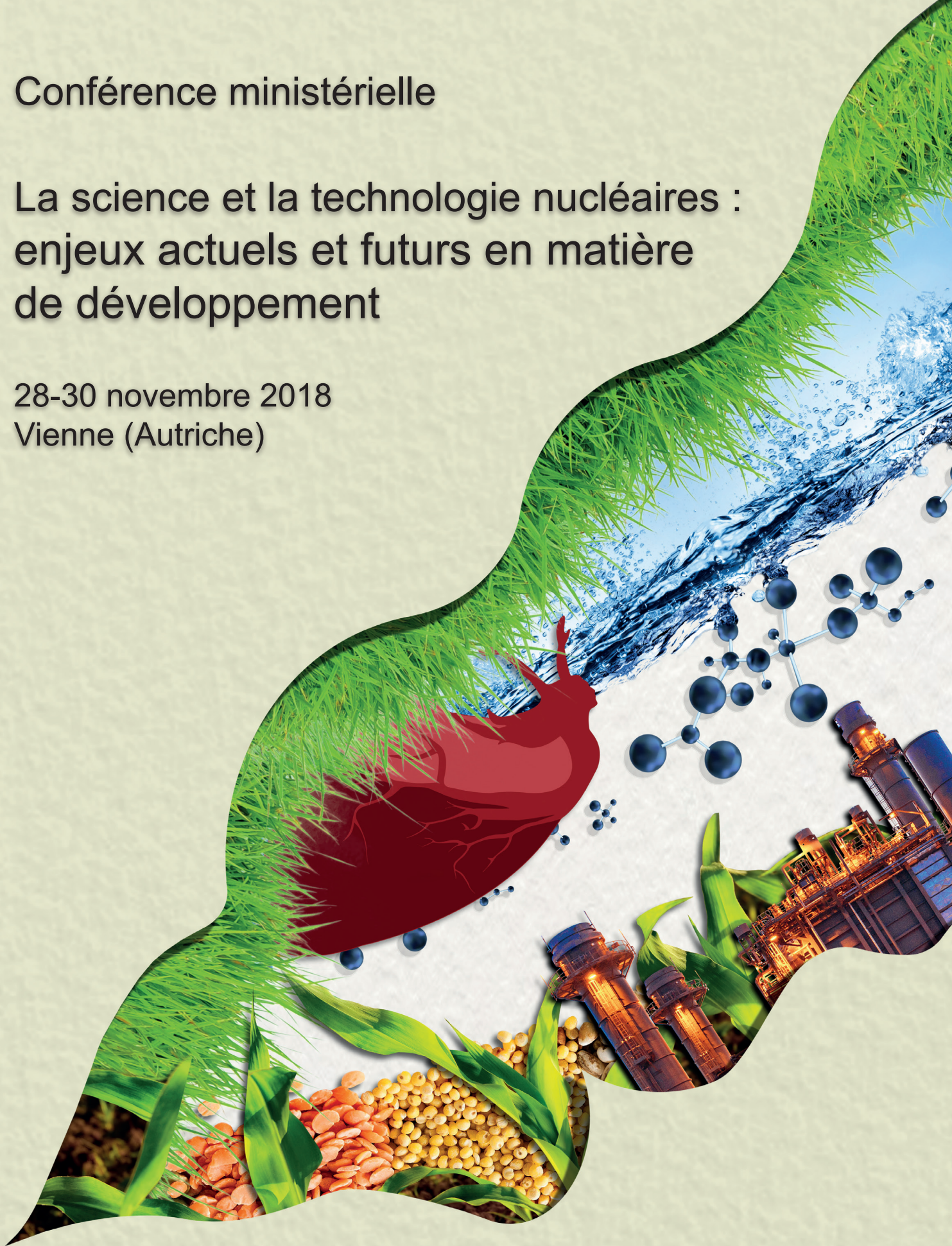
**#Atoms4Climate**

CN-275

Conférence ministérielle

# La science et la technologie nucléaires : enjeux actuels et futurs en matière de développement

28-30 novembre 2018  
Vienne (Autriche)



**IAEA**

Agence internationale de l'énergie atomique  
*L'atome pour la paix et le développement*

**#Atoms4Life**



CN-262