

À LA RECHERCHE DES LIENS CACHÉS

TECHNIQUES NUCLÉAIRES ET ISOTOPIQUES ET NUTRITION

VENKATESH IYENGAR

Faim et malnutrition figurent parmi les problèmes les plus accablants auxquels sont confrontés les pauvres et démunis de la planète. Plusieurs conférences des Nations Unies sur l'alimentation et la nutrition ont souligné la nécessité d'éliminer la pauvreté et la malnutrition, surtout chez les femmes et les enfants.

Les techniques nucléaires et isotopiques sont précieuses pour aider à résoudre les problèmes complexes.

Chaque année, 30 millions d'enfants de pays en développement, soit environ 24 % des naissances de ces pays, naissent avec un retard de croissance intra-utérine se soldant par un faible poids à la naissance. Près de 200 millions d'enfants (plus de 150 millions en Asie et environ 27 millions en Afrique) âgés de moins de 5 ans sont modérément à gravement sous-alimentés, et 70 millions gravement sous-alimentés. En 2020, on prévoit qu'environ un milliard d'enfants souffriront de problèmes de développement mental.

Les adultes ne sont pas épargnés. Quelque 243 millions d'adultes de pays en développement seraient sous-alimentés, ce qui réduit leur capacité de travail et leur résistance aux infections. L'anémie des mères revêt des dimensions pandémiques, dépassant 80 % dans certains pays; elle se traduit par des taux très élevés de mortalité maternelle. Les chiffres des pays tant industrialisés qu'en développement lient

la malnutrition maternelle et infantile à une susceptibilité accrue, à l'âge adulte, au diabète, aux cardiopathies et à l'hypertension.

Un lien fondamental apparaît entre la malnutrition maternelle et infantile et la sensibilité marquée ultérieure de l'enfant à l'obésité abdominale, à l'hypertension et aux cardiopathies coronariennes. À cela s'ajoute le problème de la suralimentation et de l'obésité, qui apparaît rapidement dans les pays en développement, touchant aussi bien les enfants que les adultes.

Depuis le début des années 90, de nouveaux problèmes – dits de “faim cachée ou silencieuse” – retiennent de plus en plus l'attention. L'expression recouvre les carences en micronutriments qu'on observe chez les hommes, les femmes et les enfants qui sont continuellement sous-alimentés. On estime à quelque 2 milliards le nombre d'individus souffrant, dans plus de 100 pays en développement, de multiples carences en micronutriments. Plus de 90 % des femmes enceintes et des enfants d'âge préscolaire des pays en développement présentent des signes d'anémie, de carence et de troubles apparentés.

Troubles nutritionnels tout au long de la vie. La malnutrition touche gravement des individus à tous les stades de la vie. Combattre les troubles nutritionnels tout au long de la vie : telle sera la principale tâche des chercheurs dans les décennies à venir (voir tableau page 18).

Pendant la grossesse, la malnutrition entraîne souvent un retard de croissance intra-utérine du fœtus, qui se solde par un faible poids à la naissance. Cela influence directement la survie et la croissance du jeune enfant. Une mauvaise nutrition de la mère pendant l'allaitement aggrave les effets négatifs déjà existants sur la croissance de l'enfant. Les enfants sous-alimentés obtiennent ultérieurement de moins bons résultats à l'école.

On commence à prendre conscience du fait que la nutrition des adolescents nécessite une surveillance. Les enfants acquièrent jusqu'à 50 % de leur poids adulte, 20 % de leur taille adulte et 50 % de leur masse osseuse adulte pendant cette phase cruciale de l'adolescence. Les besoins en énergie, protéines, calcium et micronutriments (fer, zinc et folates) sont maximaux. Toute carence en nutriments risque d'être à l'origine de troubles à l'âge adulte. Les adultes qui s'alimentent mal résistent moins bien à la maladie et sont plus souvent atteints d'incapacités professionnelles, ce qui compromet leur qualité de vie – surtout lorsqu'ils atteignent le troisième âge.

M. Iyengar est chef de la Section des études de nutrition et d'écologie sanitaire au Département des sciences et applications nucléaires de l'AIEA. Références disponibles auprès de l'auteur à l'adresse V.Iyengar@iaea.org

La nutrition des personnes âgées suscite des inquiétudes particulières en raison de la forte prévalence de l'ostéoporose. Cette maladie grave, qui se caractérise par une faible densité osseuse, est à l'origine de fractures (surtout chez les femmes ménopausées) qui réduisent gravement leur qualité de vie. Le vieillissement entraîne également des modifications de la composition corporelle (diminution de la masse maigre, par exemple) qui s'accompagnent d'une augmentation des risques de maladie et d'accident. Il importe par conséquent d'accroître l'attention portée aux besoins nutritionnels et à la prise en charge des personnes âgées pour réduire le risque d'apparition de l'ostéoporose et d'autres maladies dégénératives.

Interactions avec la pollution et les maladies connexes. La gravité de la malnutrition est exacerbée par la pollution de l'environnement. Des polluants tels que le plomb et les oxydes d'azote ont des effets débilissants sur les individus qui souffrent déjà de malnutrition. La pollution, dans un contexte élargi, englobe des facteurs à la fois artificiels et naturels. Les infestations parasitaires et la propagation des infections par les maladies transmissibles forment un aspect important de la composante environnementale de la maladie nutritionnelle.

En Asie, en Afrique et en Amérique latine, les populations sous-alimentées souffrent d'une pléthore d'autres carences nutritionnelles et sont plus susceptibles aux infestations parasitaires (ankylostomiase, amibiase) et au paludisme. Le contraste en matière de mortalité entre pays industrialisés et en développement, qui s'explique par la diffé-

rence de prévalence des infections, est un indicateur clé (*voir graphique page 17*). Pendant la petite enfance, une mauvaise alimentation associée aux infections diarrhéiques, respiratoires et autres entraîne un défaut de croissance, un retard du développement moteur et mental, des problèmes d'immunocompétence et des risques accrus de complications et de décès dus aux maladies infectieuses.

Un autre problème critique est la salubrité des aliments, qui touche plusieurs aspects du complexe nutrition-santé-maladie. L'étude de la toxicologie nutritionnelle devient rapidement un impératif mondial. Les interactions inter-éléments entre plomb et fer (anémie), mercure et fer, arsenic et sélénium, sélénium et iode, et cadmium et zinc commencent à susciter des inquiétudes. Il en va de même du transfert placentaire des nutriments et des toxines de la mère vers le fœtus.

Les enfants sont plus susceptibles aux effets du plomb, et une association de carence en fer et de toxicité au plomb peut avoir chez eux des effets dévastateurs. Des enfants atteints d'anémie par carence en fer peuvent absorber des niveaux de plomb plus élevés que les enfants ferrosuffisants.

Outre les métaux lourds, il importe de comprendre l'interaction des nutriments avec les pesticides, les oxydes d'azote, le tabac et l'alcool.

L'association pollution/malnutrition nuit à la qualité de vie des individus, entraînant incapacité et morbidité. Ce problème est souvent exprimé en années de vie corrigées du facteur invalidité (AVCI), mesure composite intégrant le temps perdu du fait de la mortalité prématurée et le temps vécu sans invalidité. Plus l'AVCI

est élevé, plus le poids de la maladie est important. Une fraction importante de l'AVCI, dans le monde, est imputable aux maladies infectieuses et parasitaires. Au niveau régional, plus de 40 % de l'AVCI dû aux maladies infectieuses et parasitaires s'observe en Afrique subsaharienne contre moins de 3 % dans la région européenne.

RÉPONDRE AUX BESOINS

Les problèmes posés par la nutrition dans le monde soulèvent de nombreuses questions, qui justifient une action de la communauté internationale des chercheurs, nutritionnistes, médecins et autres professionnels de santé. Quelles mesures prendre pour remédier à cette situation ? Comment procéder économiquement ? Comment suivre les progrès ? Quel rôle la technologie peut-elle jouer dans ce suivi ? Cette dernière question, qui fait précisément l'objet du présent article, revêt une importance particulière pour l'AIEA et le soutien qu'elle apporte aux programmes de nutrition.

Les activités menées par l'AIEA dans le domaine de la nutrition humaine ont pour objet d'appliquer les techniques nucléaires et isotopiques à la résolution de problèmes des pays en développement.

Parmi les nombreuses applications existantes, les techniques isotopiques sont particulièrement bien placées pour recenser et suivre les progrès des programmes de développement alimentaire et nutritionnel. Elles aident à évaluer la situation nutritionnelle des individus et des populations et à mesurer les besoins en nutriments ainsi que la consommation et la

biodisponibilité des vitamines et des minéraux.

Les activités de l'AIEA aident à :

- vérifier la nature du problème nutritionnel et l'efficacité d'interventions spécifiques;
- mettre en œuvre des programmes nutritionnels en contrôlant l'efficacité et en réduisant le coût de ces programmes;
- orienter la transformation des aliments locaux pour en optimiser la valeur nutritionnelle;
- recenser les indicateurs avancés d'importantes améliorations de la santé à long terme;
- développer les moyens des pays en développement.

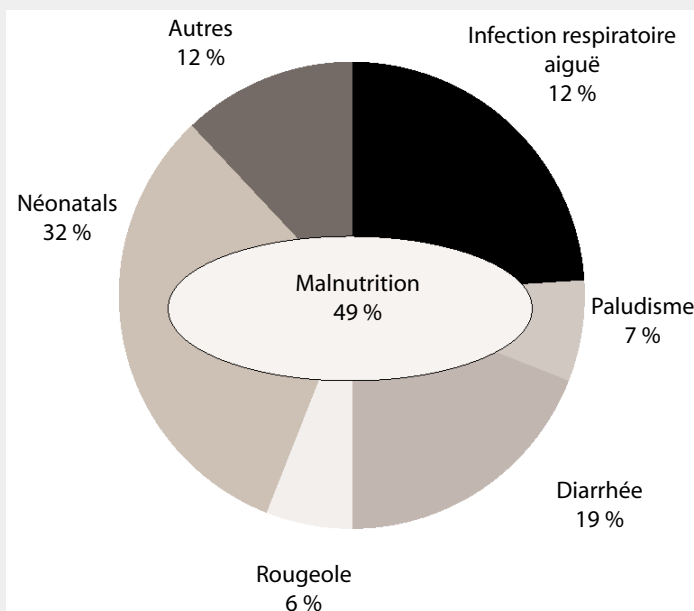
Dans les pays industrialisés, d'importantes applications nucléaires et isotopiques ont été utilisées pour renforcer la surveillance sanitaire et nutritionnelle en analysant les besoins humains en énergie, la composition corporelle et le métabolisme d'importants nutriments – protéines, graisses, vitamines et minéraux. Ces informations se sont directement traduites par de nombreuses améliorations de la nutrition et de la santé. Le défi consiste maintenant à étendre ces progrès à l'ensemble des pays en développement.

Des études peuvent être réalisées dans des domaines clés de la santé et de la nutrition, notamment :

- Évaluation de la situation nutritionnelle et des besoins en nutriments;
- Évaluation de carences en micronutriments;
- Détection des infections;
- Analyse d'aliments;
- Mesure de la pollution de l'air.

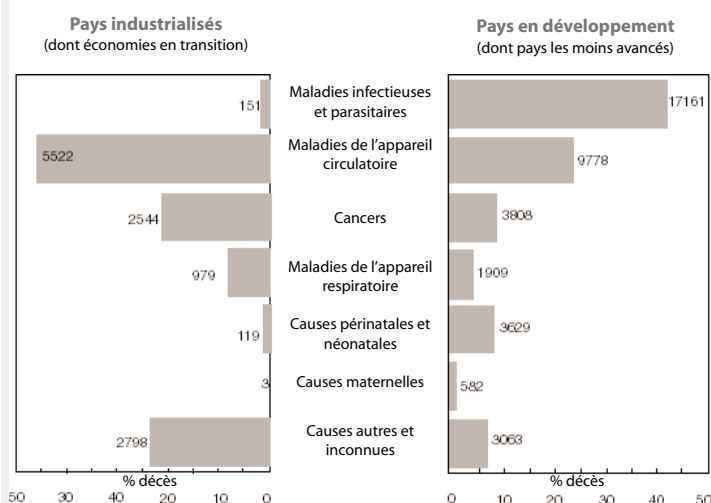
(voir encadré page 19.)

LA MALNUTRITION CHEZ LES ENFANTS RÉPARTITION DES 10,4 MILLIONS DE DÉCÈS RECENSÉS DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT PARMIS LES ENFANTS DE MOINS DE 5 ANS



Source : OMS

DES CAUSES DIFFÉRENTES CAUSES DE DÉCÈS DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT ET INDUSTRIALISÉS



Note : Les chiffres indiqués en milliers renvoient au nombre total de décès annuels imputables à chaque cause dans les pays soit industrialisés, soit en développement. Ainsi, bien que la proportion de décès imputables aux maladies de l'appareil circulatoire soit plus élevée dans les pays industrialisés, les 5,5 millions de décès sont de loin dépassés par les 9,8 millions de décès imputables aux mêmes maladies dans les pays en développement.

Source : Rapport sur la santé dans le monde 1997, OMS, Genève

LA MALNUTRITION AU COURS DE LA VIE

Stade de la vie	Troubles nutritionnels	Principales conséquences	Techniques nucléaires applicables
Embryon/Foetus	Retard de croissance intra-utérine, troubles dus à une carence en iode, carence en folates	- Faible poids à la naissance - Lésion cérébrale - Anomalie du tube neural - Mort foetale	RIA (T₃, T₄, TSH, folates)
Nouveau-né	Faible poids à la naissance, troubles dus à une carence en iode	- Retard de croissance - Retard de développement - Lésion cérébrale - Malnutrition permanente	- RIA (T₃, T₄, TSH, folates) - Eau marquée au deutérium (absorption lait maternel) - Isotopes stables (micronutriments) - Substrats marqués au ¹³C et ¹⁵N (macronutriments)
Nourrisson et jeune enfant	Carence en protéines-énergie, troubles dus à une carence en iode, carence en vitamine A, anémie par carence en fer	- Retard de développement - Risque accru d'infection - Risque élevé de décès - Cécité - Anémie - Retard de croissance	- RIA (ferrite, folates, T₃, T₄, TSH et autres hormones) - Eau marquée au deutérium (absorption lait maternel) - Isotopes stables (micronutriments : ⁵⁷Fe, ⁶⁷Zn) - Substrats marqués au ¹³C (macronutriments, <i>Helicobacter pylori</i>)
Adolescent	Carence en protéines-énergie, troubles dus à une carence en iode, anémie par carence en fer, carence en folates, carence en calcium	- Poussée de croissance retardée - Chétivité - Développement intellectuel retardé - Goitre - Risque accru d'infection - Cécité - Anémie - Minéralisation osseuse insuffisante	- RIA (ferrite, folates, T₃, T₄, TSH et autres hormones) - Eau doublement marquée (dépense énergétique) - Isotopes stables (micronutriments) - Substrats marqués au ¹³C (macronutriments, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (densité osseuse, composition corporelle)
Femmes enceintes et allaitantes	Carence en protéines-énergie, troubles dus à une carence en iode, carence en vitamine A, anémie par carence en fer, carence en folates, carence en calcium	- Anémie maternelle - Mortalité maternelle - Risque accru d'infection - Héméralopie/cécité - Faible poids à la naissance/risque élevé de mort foetale	- RIA (ferrite, folates, T₃, T₄, TSH et autres hormones) - Eau marquée au deutérium (absorption lait maternel) - Isotopes stables (micronutriments) - Substrats marqués au ¹³C (macronutriments, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (densité osseuse, composition corporelle)
Adultes	Carence en protéines-énergie, anémie par carence en fer, obésité, cancer	- Maigreux - Léthargie - Obésité - Cardiopathies - Diabète - Hypertension/accidents vasculaires cérébraux - Anémie	- RIA (ferrite, hormones, p. ex. insuline) - Eau doublement marquée (dépense énergétique) - Isotopes stables (micronutriments) - Substrats marqués au ¹³C (macronutriments, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (composition corporelle)
Personnes âgées	Carence en protéines-énergie, anémie par carence en fer, obésité, cancer, ostéoporose	- Maigreux - Obésité - Fracture de la colonne et de la hanche et accidents - Cardiopathies - Diabète	- RIA (ferrite, hormones) - Eau doublement marquée (dépense énergétique) - Isotopes stables (micronutriments) - Substrats marqués au ¹³C (macronutriments, <i>Helicobacter pylori</i>) - DEXA (densité osseuse, composition corporelle) - Eau marquée au deutérium (composition corporelle)

Notes : DEXA = absorptiométrie X double énergie; RIA = radio-immunodosage
TSH = hormone de stimulation de la thyroïde; T₄ = thyroxine

Source : Adapté de OMS/NHD/99.9

TECHNIQUES NUCLÉAIRES ET ISOTOPIQUES & ÉTUDES SANITAIRES ET NUTRITIONNELLES

Évaluation des carences en micronutriments. Les isotopes stables sont le seul moyen direct de mesurer l'absorption et la biodisponibilité du fer. Ils sont considérés comme une sorte de norme de référence pour l'étude du fer chez les humains et pour l'étude de la biodisponibilité d'autres nutriments (fer, zinc et vitamine A, par exemple).

Pour quantifier la vitamine A, on recourt à la dilution d'isotopes. Cette méthode s'appuie sur la conversion de caroténoïde marqué en vitamine A, conversion que l'on peut suivre par des caroténoïdes marqués au carbone 13. On mesure ainsi les réserves en vitamine A en diluant un traceur ingéré par voie orale dans les différents réservoirs corporels. Cette technique permet de mesurer, dans les études nutritionnelles, l'efficacité de suppléments en vitamine A et en caroténoïde et de régimes vitaminés.

Une autre utilisation prédominante des isotopes stables a trait à l'évaluation de la biodisponibilité et à la quantification des réserves d'éléments traces tels que le fer (fer 57 et fer 58) et le zinc (zinc 67 et zinc 70). L'absorption de ces micronutriments marqués peut être suivie *in vivo*. Cette méthode est précieuse pour mesurer, dans plusieurs pays en développement, l'efficacité de suppléments ou de régimes vitaminés.

Détection des infections. Des analyseurs d'haleine au carbone 13 sont utilisés pour étudier la colonisation bactérienne de l'estomac par *Helicobacter pylori*. On mesure le taux de production de $^{13}\text{CO}_2$ dans l'air expiré, après quoi l'on administre oralement de l'urée marquée au ^{13}C . Les tests aux isotopes stables sont des moyens fiables et non invasifs utilisables en toute sûreté chez les enfants chaque fois que l'on observe des taux élevés d'infection et de malnutrition. Fait important : les équipements, peu onéreux, sont à la portée de nombreux pays en développement.

Estimation de la dépense énergétique totale. La méthode à l'eau doublement marquée ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) est la seule technique qui permet de déterminer précisément les besoins énergétiques des individus dans leur propre environnement et elle est l'une des méthodes les plus fiables de détermination de l'apport énergétique alimentaire. Cette méthode est de plus en plus acceptée car elle est économique, précise et applicable sur le terrain.

Lorsque de l'eau doublement marquée est administrée à un sujet, les deux isotopes se mélangent à l'eau corporelle et sont éliminés en quelques jours dans les fluides corporels. Le métabolisme de l'eau corporelle peut être estimé en mesurant quotidiennement la concentration d'hydrogène 2 (deutérium) dans des échantillons d'urine ou de salive. Lorsque les échantillons sont analysés pour mesurer l'oxygène 18, les valeurs reflètent un taux d'excrétion plus rapide que pour l'hydrogène 2 car l'oxygène 18 est également incorporé au dioxyde de carbone exhalé. La différence de taux d'excrétion entre les traceurs (oxygène 18 et hydrogène 2) reflète ainsi le volume de

dioxyde de carbone produit pendant la période d'observation. Ce paramètre peut être utilisé pour calculer la dépense énergétique totale d'un sujet.

Détermination de la masse maigre. Une dose d'eau marquée à l'hydrogène 2 et à l'oxygène 18 est administrée et laissée s'équilibrer pendant 4 à 6 heures. La concentration d'isotopes dans la salive ou l'urine reflète la dilution subie par l'isotope. Lorsque l'on calcule la masse maigre, la différence de masse corporelle est la quantité de tissu adipeux (gras).

Mesure du flux azoteux global. Le bilan azoteux chute en période de stress, lorsque les processus cataboliques prédominent sur les processus synthétiques, ce qui se traduit par un bilan négatif. Le métabolisme des protéines du corps entier est mesuré en administrant une dose orale unique d'un acide aminé (ou, de préférence, d'une protéine) marqué à l'azote 15. L'urine est recueillie 9 à 12 heures plus tard et l'on détermine les quantités d'azote traceur présentes dans le NH_3 urinaire et dans l'urée. Ces deux valeurs donnent une estimation fiable du métabolisme des protéines du corps entier indépendamment des modifications du métabolisme des non-protéines et de l'azote.

Absorption et utilisation des nutriments. Les nourrissons en sevrage ont souvent des périodes d'infection qui se traduisent par des diarrhées. Pendant ces périodes, l'apport nutritionnel est insuffisant pour assurer la croissance du nourrisson; or, il est essentiel que se régénère la faible capacité intestinale. Lorsque du riz marqué au carbone 13 (exposé à du $^{13}\text{CO}_2$ pendant les périodes de photosynthèse) est cuisiné et ingéré, on peut étudier la digestion et l'absorption de l'amidon à partir de l'apparence du $^{13}\text{CO}_2$ marqué présent dans les échantillons d'haleine. On peut estimer le degré de malabsorption à partir de la récupération de carbone traceur présent dans le carbone total des selles.

Analyse des aliments. L'analyse par activation neutronique est très efficace en raison de son exceptionnelle sensibilité et de la possibilité d'analyser simultanément plusieurs éléments traces. La spectroscopie d'émission ICP permet également des analyses multi-éléments. L'application de méthodes apparentées à l'analyse par activation neutronique est particulièrement attrayante pour les pays en développement, car de nombreux réacteurs de recherche peuvent fournir la source de neutrons nécessaire.

Mesure de la pollution de l'air. Les techniques d'analyse nucléaires et apparentées conviennent parfaitement aux analyses non destructives multi-éléments de particules en suspension dans l'air recueillies dans des filtres. Les techniques couramment utilisées sont la spectroscopie d'émission ICP, l'analyse par activation neutronique, l'émission de rayons X induite par particules, l'émission de rayons gamma induite par particules, l'analyse par fluorescence X à dispersion d'énergie, et la fluorescence X à réflexion totale.

ISOTOPES STABLES ET ÉTUDES NUTRITIONNELLES SOUTENUES PAR L'AIEA

De nombreux facteurs – apport en lait maternel, dépense énergétique, réserves de micronutriments, assimilation des macronutriments et composition corporelle – entrent en ligne de compte dans l'étude nutritionnelle des nourrissons, des enfants, des femmes enceintes et des femmes allaitantes, ainsi que des individus qui subsistent sur une alimentation marginale. Les techniques utilisant des traceurs isotopiques stables sont sûres et non invasives. Ces traceurs émettent des rayonnements mesurables de l'extérieur et leur présence en sus des niveaux naturels n'est détectable que par des modifications du rapport isotope mineur/isotope majeur. Ce rapport est mesuré par un spectromètre de masse à rapports isotopiques dans lequel les formes lourdes et légères d'une même molécule sont séparées et quantifiées.

Les coûts d'analyse sont un motif de préoccupation car de nombreux pays ne disposent pas de l'instrumentation et des compétences requises. Pour les études soutenues par l'AIEA, cependant, des isotopes stables sont mis à disposition; parfois, une assistance en matière d'analyse est également fournie par un laboratoire reconnu par l'AIEA. L'idée sous-jacente est que ces études encouragent le renforcement de l'infrastructure nationale dans l'optique d'études ultérieures.

Les principaux isotopes (hydrogène 1, carbone 12, azote 14 ou oxygène 18) s'accompagnent toujours d'une proportion constante d'isotopes mineurs plus lourds dont l'abondance varie de 0,02 % à 1,11 %.

Un inventaire du corps humain montre qu'un individu de 50 kg comporte au total 225 grammes d'hydrogène 2, de carbone 13, d'azote 15, d'oxygène 17 et d'oxygène 18. Bien que les rapports isotopes mineurs/majeurs respectifs varient, chaque isotope majeur a une abondance caractéristique à laquelle se réfèrent les mesures de traceurs. Les isotopes stables peuvent être administrés par voie orale et les produits métaboliques dans lesquels ils pénètrent (eau corporelle, dioxyde de carbone respiratoire, urée, par exemple) peuvent être prélevés dans l'haleine, la salive, le lait, l'urine et les selles.

Plusieurs applications stratégiques des techniques nucléaires et isotopiques sont soutenues par l'AIEA. En effet, certaines de ces techniques possèdent des caractéristiques et une spécificité qui font qu'elles conviennent parfaitement à l'étude de certains aspects de la nutrition humaine.

À ce jour, les techniques isotopiques mises au point dans le cadre des activités de l'AIEA sont appliquées dans plus de 50 États Membres. On en trouvera ci-après quelques exemples.

Projets de coopération technique. Un programme régional de coopération technique associant l'Argentine, le Brésil, le Chili, Cuba et le Mexique a utilisé des isotopes pour évaluer des programmes d'intervention nutritionnelle. Le projet mis en œuvre au Chili a donné lieu à une étude utilisant, à diverses fins, des techniques isotopiques. Des chercheurs ont mesuré la biodisponibilité de fer dans du lait fortifié proposé dans le cadre du Programme national de complément alimentaire, la biodisponibilité de zinc et la composition corporelle des enfants, ainsi que la composition corpo-

relle et la dépense énergétique des enfants d'âge préscolaire.

Par ailleurs, la première phase d'un projet régional mis en œuvre en Asie orientale et dans le Pacifique a donné des résultats concrets. On a mesuré l'efficacité d'une multisupplémentation au moyen de techniques utilisant des isotopes stables pour évaluer la biodisponibilité de zinc et de fer dans sept pays : Chine, Indonésie, Malaisie, Pakistan, Philippines, Thaïlande et Viet Nam.

En outre, pour lutter contre la malnutrition, l'AIEA a mis au point des techniques non invasives à base de traceurs isotopiques pour mesurer la vitamine A du corps entier dans un contexte de supplémentation (Ghana, Pérou), de régime vitaminé (Pérou, Israël) et d'amélioration de l'alimentation (Chine, Thaïlande, Philippines et Inde). On a étudié en priorité les problèmes de nutrition en vitamine A des enfants et des femmes enceintes ou allaitantes.

Projets de recherche coordonnée (PRC). Un PRC sur l'ostéoporose a examiné les différences de densité minérale osseuse chez de jeunes adultes de plusieurs races (au total 3 752 sujets) recrutés dans 11 centres de neuf pays. D'importantes différences de valeurs moyennes de poids, de taille et de densité osseuse ont été relevées entre les pays. Après ajustement compte tenu de l'âge, du poids et de la taille, on a observé une persistance des différences de densité osseuse entre les centres tant chez les hommes que chez les femmes. On a noté, chez les jeunes adultes, d'importantes différences de masse osseuse qui, si elles persistaient à un âge avancé, risqueraient de contribuer à un doublement, voire à

un triplement du risque de fracture.

Un PRC sur la modélisation physiologique d'un homme asiatique de référence a associé plusieurs pays d'Asie et a produit, en matière d'apport alimentaire, des ensembles de données fiables utilisables par tous. Ces données aideront, notamment, à résoudre des problèmes nationaux de radioprotection. Elles aideront également à résoudre des problèmes nutritionnels grâce aux valeurs de référence améliorées qui ont été calculées pour plusieurs éléments et matrices de matières supplémentaires.

Un autre projet – d'évaluation isotopique de la nutrition maternelle et infantile – a eu pour objet d'aider à prévenir la chéti-vité. Le Pakistan et des pays participants d'Amérique latine ont raffiné des techniques isotopiques et les ont appliquées sur le terrain. Ces techniques sont également utilisées dans un PRC visant à évaluer, en collaboration avec le Programme OMS de surveillance de la croissance, la surveillance de la croissance des nourrissons.

D'importants progrès ont également été réalisés grâce aux activités menées sur le terrain pour lutter contre la diarrhée chronique, qui est responsable d'un pourcentage important de décès infantile par diarrhée dans de nombreux pays. Ces activités ont associé des pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine dans le cadre d'un PRC consacré à l'infection à *Helicobacter pylori* et à la malnutrition, en particulier chez les jeunes. Des techniques isotopiques utilisant des analyseurs d'haleine du carbone 13 ont été appliquées avec succès. On a étudié la colonisation bactérienne, la digestion et l'absorption de nutriments pour exa-

miner l'importance de l'infection à *Helicobacter pylori* et ses conséquences sur la mauvaise assimilation des nutriments par les jeunes enfants.

LES PERSPECTIVES

Une réunion de consultants organisée par l'AIEA en décembre 2000 a donné un aperçu de l'utilisation qui pourra être faite, à l'avenir, des isotopes stables dans la recherche nutritionnelle. Des techniques innovantes ont été mises au point en améliorant les techniques existantes afin d'étendre l'utilisation des isotopes stables à la recherche nutritionnelle sur les minéraux et les éléments traces et d'en permettre une application plus systématique.

■ Des études récentes ont montré que le calcium du squelette peut être marqué au calcium 41, ce qui permet d'étudier les pertes et le bilan de calcium osseux directement par l'excrétion urinaire du marqueur isotopique.

■ L'excrétion simultanée d'un marqueur administré par voie orale et intraveineuse a permis de valider l'application de la surveillance urinaire à l'étude de l'absorption réelle de calcium; on tente actuellement de valider l'application de cette technique à la surveillance urinaire du zinc et du magnésium.

■ Des techniques à base d'isotopes stables sont utilisées pour évaluer l'absorption de fer, de cuivre, de zinc, de sélénium, de calcium et de magnésium à partir de repas types. Il est possible d'étendre ces applications à d'autres éléments (molybdène, nickel, vanadium, étain et bore) pour mieux comprendre leur devenir biologique. Des radionucléides semi-stables à très longue période (aluminium 26, manganèse 53 et

iode 129) peuvent être utilisés pour des éléments mono-isotopiques.

■ L'application des techniques à base d'isotopes stables aux études d'absorption ne se limite pas aux études essentielles au corps humain. Elles peuvent également être utilisées dans le cadre d'études toxicologiques du plomb, du mercure et du chrome. Pour ce qui est des métaux lourds, ces techniques ont été utilisées chez l'être humain pour étudier l'absorption de cadmium.

■ D'impressionnants progrès ont été réalisés dans l'instrumentation de la spectrométrie de masse à rapports isotopiques en incorporant une interface gazochromatographique. Cette amélioration facilite la conversion de composés spécifiques en dioxyde de carbone, hydrogène ou azote, ce qui permet de mesurer les rapports isotopiques propres aux composés. Cela devrait ouvrir, en matière de sciences de la nutrition, de nouvelles perspectives intéressantes.

Les progrès réalisés sur le terrain permettront d'étendre les nombreuses applications bénéfiques de ces techniques à l'amélioration de la nutrition et de la santé humaines. Ces techniques commencent seulement à s'appliquer dans les pays en développement, où elles peuvent non seulement profiter à des millions d'individus en améliorant la nutrition, mais aussi servir d'indicateurs de progrès sociaux et économiques plus vastes. Souvent, les isotopes stables sont le seul moyen direct d'obtenir des informations qui peuvent directement influencer la vie et le bien-être des hommes, des femmes et des enfants de tous les pays de la planète. □