

RADIOGRAPHIE DE LA COOPERATION TECHNIQUE

Agence internationale de l'énergie atomique



Octobre 1996 vol. 2, n° 2

SOMMAIRE

Maîtriser le feu	1
Un trésor sous le Sahara	1
Au Venezuela de l'eau	2
Isotopes et hydrologie	5
En bref	7
Des plaines assoiffées	8

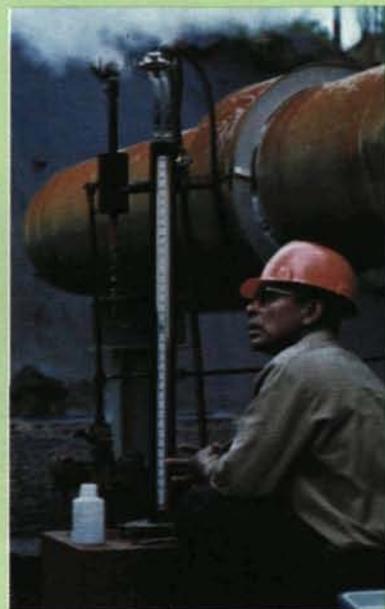
Un trésor sous le Sahara

L'Afrique du Nord est une vaste région aride où toute l'activité économique et la qualité de vie de millions d'habitants souffrent de la pénurie d'eau. Dans la plupart des pays, l'eau est encore puisée à faible profondeur, manuellement ou à l'aide de diverses variantes de la vis d'Archimède. Du fait de l'augmentation de la population et de la demande, l'approvisionnement est désormais insuffisant. Or, il y a de l'eau à grande profondeur dans un ensemble de formations aquifères rocheuses. On peut l'amener à la surface par pompage dans des puits de plusieurs centaines de mètres. Toutefois, l'expérience acquise dans le monde montre que les résultats sont souvent aléatoires et même contraires au but visé: des puits

Maîtriser le feu intérieur

Des deux côtés de la ceinture de feu du Pacifique, le Salvador et les Philippines exploitent leurs ressources géothermiques pour produire de l'électricité. Dans la plupart des pays situés sur cet arc volcanique immense, la géothermie se manifeste par ces marmites où bouillonnent des liquides à plusieurs centaines de degrés; la vapeur sèche et les eaux bouillantes qui en sortent sont capables, sous haute pression, d'actionner des turbines.

L'énergie géothermique présente maints avantages, en particulier dans les pays qui doivent dépenser leurs maigres réserves de devises pour importer les combustibles fossiles nécessaires à leurs centrales thermiques. Outre ces économies, la géothermie assure l'indépendance énergétique. Les systèmes modulaires préfabriqués facilitent la construction et le démarrage de nouvelles centrales. Autre avantage, ces installations peuvent fonctionner toute l'année sans craindre le manque d'eau,



Technicien de la Commission hydroélectrique de El Salvador vérifiant un puits géothermique. (Photo: J. Gerardo/AIEA)

comme l'hydroélectrique, ni les livraisons tardives de combustible, et

suite page 3

très coûteux tarissent; l'eau pompée contient des sels nocifs; et une extraction intensive provoque des affaissements du sol. Pour bien gérer cet ensemble aquifère, il faut procéder à toute une série d'analyses complexes.

Au titre de la coopération technique, l'AIEA a lancé en 1995 un projet modèle de quatre ans pour recueillir des données de base et transférer

suite page 4

Au Venezuela, de l'eau pour la capitale

A Caracas, l'eau manque pour de multiples raisons: d'un côté, la pénurie et, de l'autre, un gâchis délibéré sans précédent. Dans tous les arrondissements de la capitale, l'eau est coupée chaque jour soit pendant des heures, soit toute la journée, sans compter que le réseau de distribution n'atteint pas les banlieues surpeuplées. Le ministère des eaux lui-même n'y échappe pas. Chaque jour, les médias précisent les arrondissements, et même les hôpitaux

Depuis lors, l'agglomération s'est étendue sur les pentes de sa vallée — et compte aujourd'hui cinq millions d'habitants — de sorte que le service des eaux parvenait à peine à satisfaire la demande croissante, même avant que les réservoirs ne commencent à se vider à cause de la rareté des précipitations dans le nord du Venezuela depuis plusieurs années.

Ironie du sort, les fuites se multiplient le long des canalisations souterraines

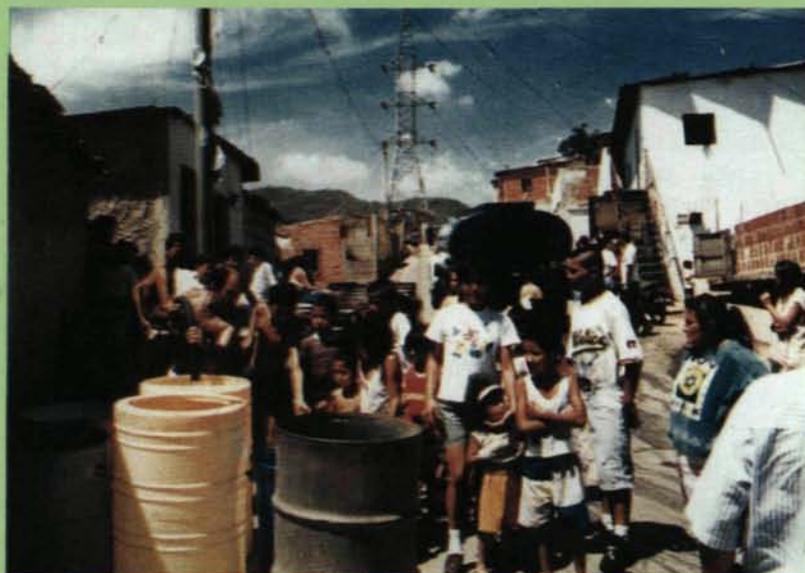
Depuis l'été 1994, un projet de coopération technique de l'AIEA contribue à résoudre cet aspect du problème en recourant aux techniques isotopiques pour déterminer précisément le volume, l'écoulement et la qualité des eaux des couches profondes du système aquifère situé sous la ville. Le premier souci est de trouver de nouvelles sources d'eau pour compenser au moins en partie le déficit actuel de 260 000 m³ par jour. L'extraction des eaux profondes à l'étude pourrait avoir pour effet secondaire d'abaisser suffisamment la surface piézométrique pour épargner un pompage coûteux en pure perte.

Si l'on veut exploiter le système aquifère, ne serait-ce que pendant les périodes de sécheresse ou pour un approvisionnement local limité, il faut d'abord préciser un certain nombre de paramètres. Quel volume d'eau contient-il? Quels sont les débits d'alimentation et d'écoulement? D'où vient l'eau? Quel est son degré de pureté en différents points? Quels sont les processus et les voies de pollution? Autant de questions que les techniques géologiques classiques ne sauraient trancher, alors que les indicateurs isotopiques associés aux méthodes géochimiques permettraient d'y répondre rapidement avec une précision remarquable.

A la fin de 1995, le service des eaux a terminé un «relevé» du système aquifère qui le décrit comme une structure verticale composée de deux sous-systèmes horizontaux distincts et précisé la nature des sources d'alimentation. Il semble que l'eau prélevée à certaines profondeurs permettrait de réduire sensiblement le déficit en eau potable. D'autres secteurs du système fourniraient une eau de qualité suffisante, notamment pour l'irrigation et les usages industriels.

Le projet assure le transfert de la technologie et des connaissances techniques nécessaires au contrôle

suite page 7



Les arrondissements de Caracas privés d'eau sont ravitaillés par camions-citernes. (Photo: H.F. Meyer/AIEA)

et les écoles qui n'auront pas d'eau de toute la journée. Une récente chronique annonçait l'envoi de 40 camions-citernes d'eau (environ un million de litres) à l'arrondissement de Sucre privé d'eau depuis 20 jours!

La ville de Caracas, située dans une vallée très ouverte à quelque 1 000 mètres d'altitude, était approvisionnée en eau, jusqu'au début des années 60, à partir d'une nappe souterraine peu profonde. Dans les années 50 et 60, des réservoirs ont été construits sur des collines avoisnantes pour recueillir les eaux de pluie qui, après traitement, servaient d'appoint pour une population de moins de un million d'habitants.

en béton qui amènent l'eau de ces réservoirs à la cité. De surcroît, le drainage naturel de l'eau du sol s'est trouvé bloqué lorsque l'on a «canalisé» un cours d'eau des environs, le Guaire, il y a quelques années. Désormais sans autre issue, cette eau du sol augmentée des fuites est maintenant si proche de la surface que les installations du métro et les fondations de diverses autres constructions sont menacées. Elle ne peut d'ailleurs plus servir à désaltérer la population car, à son niveau actuel, elle est contaminée par les égouts et autres sources de pollution. Elle est aspirée inlassablement — mais seulement pour être rejetée au loin — par les pompes que l'on entend un peu partout dans la cité assoiffée.

les réserves convenablement gérées peuvent durer indéfiniment.

Tandis que l'évolution du climat et les gaz à effet de serre nous préoccupent, cette énergie peut être exploitée sans nuire à l'environnement. Les responsables doivent veiller à la protection des bassins hydrographiques où sont situées les centrales, car ils assurent l'alimentation des réserves. L'eau extraite peut être réinjectée dans le réservoir au lieu d'être évacuée en surface. Les Philippines ont opté pour le géothermique, malgré de gros investissements, car il permettrait de réduire les émissions de CO₂ à 5-10 % de ce qu'elles seraient avec des centrales au charbon, par exemple. Ce choix a été approuvé par le Fonds pour l'environnement mondial qui a récemment versé 30 millions de dollars (le maximum prévu par son règlement) pour une nouvelle centrale géothermique aux Philippines.

La technologie géothermique est appliquée depuis près de 100 ans. La première centrale a vu le jour à Larderello (Italie) et produit de l'électricité depuis 1904. Cette forme d'énergie est cependant sous-exploitée dans le monde. Quelque 18 pays y ont recours, mais elle n'assure qu'une petite partie de la production nationale d'électricité. Les Etats-Unis sont le premier producteur mondial d'électricité, avec plus de 2 200 mégawatts électriques (MWe). Viennent ensuite le Mexique avec plus de 700 MWe, l'Italie avec plus de 500 et le Japon avec plus de 200. Ce qui freine en fait le développement géothermique, c'est qu'il est pratiquement impossible de préciser les paramètres garantissant une gestion durable et écologique. Quelles sont les réserves de vapeur et d'eau chaude? Quel est le débit d'alimentation du réservoir? Les quelque deux millions de dollars que coûte un forage représentent proportionnellement une grosse dépense; alors, où faut-il forer pour être sûr?

L'hydrologie isotopique donne rapidement des réponses précises à

ces questions. Les indicateurs radio-isotopiques se détectent à grande profondeur dans le sol et les isotopes stables indiquent la direction, le parcours et les débits des courants à l'entrée et à la sortie des réservoirs. Ces précieux auxiliaires précisent où il faut forer et comment réinjecter dans le réservoir afin de s'assurer une ressource durable et d'éviter le rejet de l'eau usée dans l'environnement. De récents projets de coopération technique de l'AIEA ont aidé la Chine, l'Ethiopie, la Grèce, le Guatemala, l'Indonésie, le Mexique et le Nicaragua à s'équiper pour exploiter leurs ressources géothermiques, grâce au transfert de connaissances techniques et de matériel d'hydrologie isotopique.

El Salvador et les Philippines exploitent déjà la géothermie et l'AIEA les assiste car leurs programmes respectifs de développement économique donnent la priorité à cette forme d'énergie.

Les Philippines sont déjà le deuxième producteur mondial d'électricité géothermique et, bien que le gros de la production soit toujours assuré par le pétrole importé, la part du géothermique est actuellement de 24 %

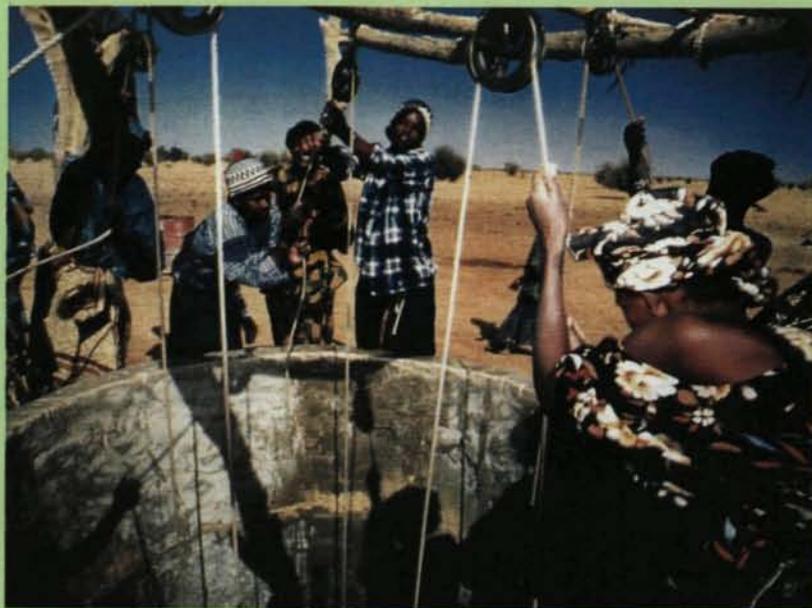


Photo: J. Gerardo/AIEA

(1 036 MWe) et ne cesse d'augmenter. Les sources exploitées promettent une nouvelle tranche de 680 MWe dans les trois ans et d'autres sources prospectées fourniraient plus de 2 500 MWe vers la fin du siècle, ce qui ferait des Philippines le premier producteur mondial.

El Salvador se place parmi les dix premiers producteurs mondiaux, mais la part du géothermique n'est que de 14 % de la production nationale d'électricité (900 MWe). Le champ d'Ahuachapan exploité depuis 1975 produit 58 MWe avec ses 32 puits. Un nouveau champ, à Berlin, a été mis en exploitation en 1992 et produit 5 MWe avec dix puits. Depuis la mise en œuvre, en 1992, du programme de reconstruction économique, la demande d'électricité a augmenté à raison de 9 % en moyenne par an; le mazout et le gaz importé assurent environ 40 % de la production totale et l'hydroélectrique 46 %, mais son expansion est limitée car le seul grand cours d'eau du pays est presque totalement exploité.

Le plan national prévoit le doublement de la production géothermique au cours des cinq prochaines années. Au moins 180 millions de dollars d'un nouveau prêt de 215 millions consenti par la Banque interaméricaine de développement lui seront consacrés: 15 nouveaux puits à Ahuachapan, 18 à Berlin, et prospection ailleurs. Le Gouvernement compte réduire ses importations de combustible fossile de 20 % en deux ans, ce qui représente une économie annuelle de 32,8 millions de dollars, et continuera de les freiner progressivement. Par ailleurs, environ 225 000 logements seront électrifiés. En résumé, le projet modèle contribue à doter le pays de moyens d'interpréter les données isotopiques et géochimiques indispensables à la prospection et à l'exploitation à long terme de la géothermie, de sorte que El Salvador sera en mesure de fournir à son tour des services analytiques à d'autres pays de la région.



Scène caractéristique autour d'un puits saharien. (Photo: Carnemark/Banque mondiale)

des techniques isotopiques à neuf pays de l'Afrique du Nord — Algérie, Egypte, Ethiopie, Libye, Mali, Maroc, Niger, Sénégal et Soudan — afin qu'ils puissent mieux exploiter leurs ressources d'eaux souterraines. L'Egypte, l'Ethiopie, le Maroc et le Sénégal, confrontés à des problèmes urgents, bénéficient de la première phase du projet (1995/1996). La seconde phase concernera les cinq autres pays et débutera en 1997.

- L'Egypte compte aujourd'hui presque exclusivement sur l'eau du Nil. La vallée étant déjà surpeuplée, le projet modèle vise à «récupérer» les abords du Sahara voisin. Il existe déjà quelques établissements à Qena et Esna, au nord-ouest. La nappe aquifère peu profonde associée au Nil peut-elle irriguer 50 000 hectares et alimenter deux millions d'habitants?

- En Ethiopie, la région de Moyale (environ 45 000 km²) connaît souvent la sécheresse. Les nappes aquifères suffisent-elles pour approvisionner en permanence trois millions

d'habitants et un cheptel parmi les plus nombreux d'Afrique?

- Dans le sud-ouest du Maroc, au sud de l'Atlas, un demi-million d'habitants mènent une existence précaire sur les 15 000 hectares qu'ils cultivent dans les plaines de Tafilalt et de Guelmim, ne comptant que sur l'eau de quelques oueds capricieux. Les nappes aquifères voisines peuvent-elles leur fournir de l'eau de bonne qualité en abondance?

- A Dakar, capitale du Sénégal, 70 % de l'eau consommée par les deux millions d'habitants provient de nappes aquifères côtières. La demande journalière est de 250 000 m³. En période de sécheresse, environ 100 000 m³ font défaut. Quel complément peut être tiré des aquifères sans risquer l'intrusion d'eau salée?

Voilà les grandes questions auxquelles la première phase du projet modèle doit répondre après avoir étudié et analysé la composition isotopique des ressources locales.

Les trois isotopes importants en hydrologie sont le deutérium (²H), le tritium (³H) et l'oxygène 18 (¹⁸O). Comme ils sont plus lourds que les deux autres (¹H et ¹⁶O, respectivement), la vapeur d'eau qui s'élève pour former les nuages contient moins de ²H, ³H et ¹⁸O que l'eau de mer. Lorsque les nuages se condensent, ces isotopes sont entraînés de préférence et l'humidité qui reste dans le nuage pour se condenser ultérieurement en contient relativement moins. Par conséquent, la composition isotopique des pluies n'est pas la même dans les régions côtières, à l'intérieur et dans les montagnes.

D'autres variations des rapports ²H/¹H et ¹⁸O/¹⁶O (surtout en fonction de la température) se produisent lors du retour de l'eau de pluie vers l'océan selon divers modes, profondeurs et vitesses, de sorte que la composition isotopique est fonction du milieu, l'analyse d'un échantillon pouvant alors révéler l'âge, l'origine et le mode de transport de l'eau. En hydrologie isotopique, on peut aussi mesurer les rapports isotopiques de plusieurs autres éléments, tels l'hélium, le carbone, l'azote, le soufre et le chlore, selon l'objet de l'étude.

Les premiers résultats obtenus en Egypte semblent prometteurs. On a pu vérifier que la nappe aquifère peu profonde associée au Nil est alimentée par la gigantesque formation aquifère gréseuse de Nubie, adjacente et plus profonde. Les études en cours devraient permettre de préciser le débit d'alimentation. Le fait que la nappe aquifère nubienne contient des eaux extrêmement anciennes qui

suite page 6

Isotopes et hydrologie

Vue de l'espace, la Terre est une planète bleue, la seule de l'univers visible. L'eau y est le principe même de toute vie. Elle recouvre les deux tiers de la surface du globe et les experts ont calculé que son volume atteint 1,5 milliard de km^3 , dont environ 2 % sont de l'eau douce pratiquement toute retenue par les glaciers, les calottes polaires et les réservoirs souterrains. On évalue à 2 000 km^3 la quantité dont l'homme peut immédiatement disposer. Cela a suffi pour entretenir la vie, mais la demande mondiale double tous les 21 ans, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). A mesure que la pollution d'origine industrielle, agricole et domestique gagne cette masse finie, l'eau devient chaque jour un bien plus précieux.

Le passé récent a connu les conflits entre nations au nom d'un droit d'accès aux combustibles fossiles. Des conflits analogues pourraient surgir dans l'avenir à cause de la pénurie d'eau, car nombreux sont les pays qui manquent de ressources facilement accessibles ou suffisamment abondantes pour répondre à leurs besoins. La coopération technique de l'AIEA leur offre une aide croissante (et favorise la coopération régionale) pour les aider à prospecter et à gérer les ressources d'eau en ayant recours à l'hydrologie isotopique et à ses méthodes d'analyse si utiles aux spécialistes. L'Agence a installé à Vienne un laboratoire modèle d'hydrologie isotopique à cette fin. Les projets de coopération technique consistent généralement à organiser des cours et à fournir des services d'experts et du matériel pour améliorer les infrastructures locales et les connaissances techniques en vue de l'étude des ressources hydrauliques à l'aide d'indicateurs isotopiques.

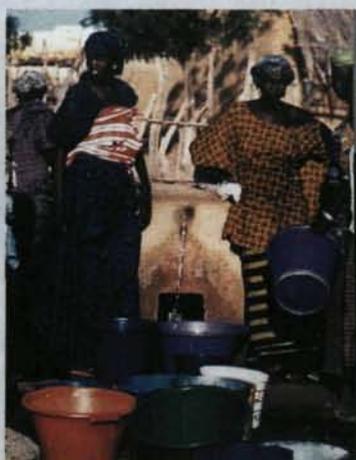


Photo: Carnemark/Banque mondiale

Notre encart est consacré aux applications des techniques isotopiques qui permettent de gérer efficacement et de façon durable l'exploitation et la conservation de l'eau. Les isotopes sont d'ailleurs de remarquables auxiliaires dans maints domaines des sciences naturelles. La plupart des éléments se composent de divers isotopes presque identiques chimiquement, mais différents quant à leur masse atomique. La molécule de notre eau si précieuse est faite essentiellement de deux isotopes, l'hydrogène 1 (^1H) et l'oxygène 16 (^{16}O). En plus de ces isotopes «abondants», elle contient des isotopes «rares» (^2H et ^{18}O) à des concentrations relativement faibles et variables. Ce sont eux qui ouvrent le large éventail des études hydrologiques.

L'hydrologie isotopique est devenue une spécialité multidisciplinaire: en géothermie, elle aide à déceler les zones à flux thermique élevé et l'origine des fluides. Des forages jusqu'à 3 000 mètres de profondeur atteignent les réservoirs et en captent la vapeur, transportée ensuite jusqu'à la centrale. Les isotopes du bore facilitent le dépistage et la mesure de la contamination des eaux souterraines par les égouts. La concentration dans l'atmosphère du dioxyde de carbone

(CO_2) et du méthane (CH_4) ne cesse d'augmenter et semble provoquer l'effet de serre responsable de l'échauffement de la planète. L'analyse subatomique des isotopes du carbone aide à déterminer ce que deviennent ces gaz dans l'atmosphère et à élucider ce phénomène écologique complexe. La composition isotopique de l'eau renseigne sur les paléoclimats et leur évolution, et les spécialistes suivent et comparent les phénomènes liés à l'échauffement de la planète. Les techniques isotopiques servent à expliquer d'autres phénomènes, telle l'élévation du niveau de la mer Caspienne. Dans l'encart de notre prochain numéro, nous nous occuperons de ces autres applications au service d'une gestion écologique des ressources naturelles.

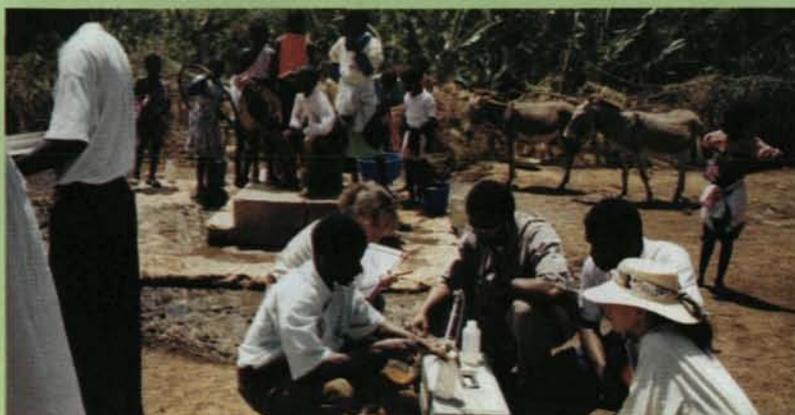
Au cours des dix dernières années, l'AIEA a assisté quelque 160 projets de coopération technique, d'un montant de 18,8 millions de dollars; les transferts de technologie et de connaissances techniques aident 63 pays à mettre en place l'infrastructure nécessaire et plus de 550 stagiaires ont été formés afin de doter les pays d'un personnel capable d'appliquer les techniques isotopiques et de gérer les ressources naturelles. Dans cet encart, nous avons présenté quelques projets contribuant effectivement à l'amélioration de la qualité de vie des êtres humains aux quatre coins du monde.

n'ont pas été activement alimentées depuis la dernière période pluvieuse, il y a quelque 6 000 ans, n'est pas considéré comme un problème. Les prélèvements pour la zone récupérée ne risquent pas de l'épuiser, mais l'étude devrait quand même préciser combien on peut en tirer, et à quel rythme, sans conséquences fâcheuses.

Pour le Maroc, les nouvelles sont mitigées. Les résultats vont à l'encontre de ceux d'études hydrologiques classiques antérieures indiquant que la nappe très ancienne au nord de Tafilalt était réalimentée. Une exploitation imprudente risquerait donc de la tarir. En revanche, les analyses isotopiques montrent que deux autres systèmes, l'un dans le sud de la plaine de Tafilalt et l'autre dans la plaine de Guelmim, ont été alimentés par des précipitations récentes. En mai, une étude isotopique de la zone non saturée a commencé dans le sud du bassin de Tafilalt (aire d'infiltration des précipitations), pour quantifier l'alimentation et l'écoulement, ainsi que la contamination éventuelle de la nappe.

Au Sénégal, les autorités espèrent qu'il sera possible, à l'issue de l'étude, de puiser suffisamment dans la nappe pour compenser à 70 % le déficit actuel. Il s'agit surtout de déterminer le volume que l'on peut extraire sans craindre l'intrusion d'eau de mer et de mettre au point les moyens de gérer prudemment cette ressource. Le Sénégal dispose déjà de spécialistes des études isotopiques dans la zone non saturée, qui pourront participer aux travaux.

En Ethiopie, l'étude régionale de Moyale permet de préciser les caractéristiques de reconstitution des nappes et très probablement aussi le débit d'alimentation. Ces données que l'on ne saurait obtenir autrement sont indispensables à une bonne gestion des eaux. Au titre du projet, 14 sites



Des stagiaires algériens, marocains et sénégalais affectés au projet analysent l'eau d'un puits aux environs de Dakar. (Photo: K. Froehlich/AIEA)

Les eaux de pluie qui s'infiltrent dans le sol retournent généralement là d'où elles viennent, c'est-à-dire à la mer. Toutefois, une partie est absorbée par les plantes, puis rejetée dans l'atmosphère par la transpiration, ou bien se déverse dans un lac et finit par s'évaporer, ou encore se mêle à un cours d'eau qui la ramène vite à la mer. Le reste chemine lentement à diverses profondeurs dans le sol. De larges poches de ces eaux paresseuses saturent de multiples formations rocheuses. La plupart de ces «zones saturées» ou nappes aquifères sont alimentées par les pluies assez rapidement pour demeurer saturées. On peut en tirer de l'eau régulièrement par divers moyens (puits de surface ou forages profonds) selon le rythme de reconstitution. Des nappes très profondes se sont peut-être formées dans des temps préhistoriques à la suite de violentes précipitations. Non reconstituées par de nouvelles pluies, elles se faufilent aussi jusqu'à la mer, mais si lentement qu'elles peuvent durer des millions d'années avant de tarir. Entre-temps, elles vieillissent et sont «datées» par des radio-isotopes naturels tels que le carbone 14, ce qui permet de déterminer si la masse d'eau est finie ou non.

de forage ont été examinés du point de vue géophysique et six nouveaux puits ont été forés jusqu'à présent.

Il ne suffit pas de trouver de l'eau; encore faut-il bien la gérer. C'est là un des principaux objectifs du projet.

A cette fin, on a entrepris, au début de 1996, l'étude de modèles informatiques de gestion, sous l'impulsion d'un séminaire au Sénégal et d'un atelier au Maroc. Une formation com-

plémentaire et de nouveaux logiciels fondés sur les résultats du projet seront achevés vers la fin de cette année.

Ces logiciels s'inspirent de ceux du Service géologique des Etats-Unis et de l'Organisation de recherche scientifique de l'Australie, les informaticiens de ces deux organismes ayant prêté leur concours au projet et assuré la formation nécessaire.

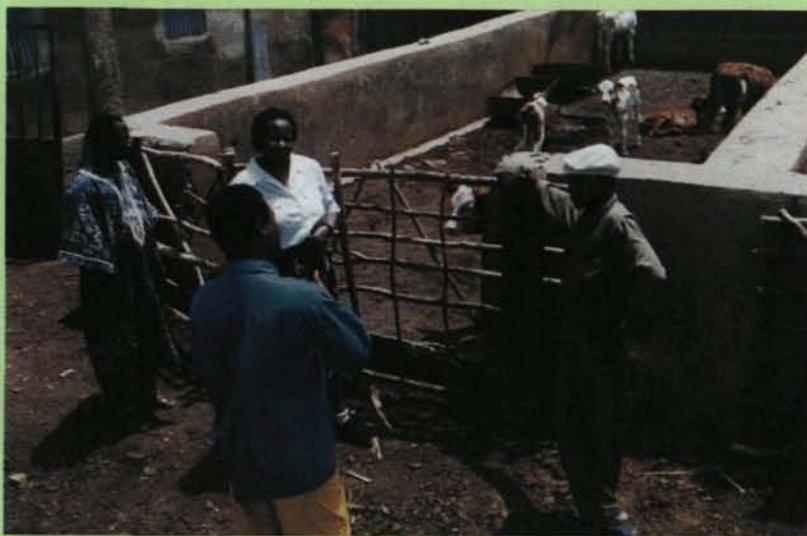
Le dessalement de l'eau de mer progresse

Avec 1,5 milliard de km³ d'eau de mer répartis sur les deux tiers de la surface du globe, maintes populations privées d'eau seraient généreusement approvisionnées si l'on faisait la démonstration d'un moyen économique de dessaler l'eau de mer. Telle est l'hypothèse de travail d'une étude technico-économique entreprise par l'Agence en 1994: plusieurs options comportent l'emploi de réacteurs nucléaires de petite et moyenne puissance comme source éventuelle de chaleur pour des usines de dessalement produisant de l'eau potable à bas prix pour l'Afrique du Nord.

Un des participants à ces travaux, le Maroc, est sur le point de lancer, avec l'aide de l'Agence et de la Chine, l'étude d'un prototype d'installation de démonstration. Il est prévu d'utiliser un réacteur de 10 MWe fourni par la Chine pour produire 8 000 m³ d'eau douce par jour. L'Algérie, l'Arabie saoudite, l'Egypte (également pour l'étude technique), la Jamahiriya arabe libyenne et la Tunisie collaborent aussi à ce travail. L'Argentine, le Canada, la Corée (République de), les Etats-Unis, la Jamahiriya arabe libyenne, la Jordanie et l'Agence arabe de l'énergie atomique ont versé plus de 670 000 dollars pour financer le projet. En collaboration avec l'OMM, l'OMS, l'ONUDI et l'Union européenne, l'AIEA organisera un colloque international sur la question en 1997.

Contre la trypanosomiase au Mali

Un peu partout en Afrique, le cheptel est attaqué par la mouche tsé-tsé vecteur de la nagana, variante de la maladie du sommeil (voir *Un fléau du bétail mis en échec, Radiographie de*



La nagana gagne du terrain au Mali. (Photo: P. Fouchard/AIEA)

la CT, mai 1996). Aux alentours de Bamako, le bétail est infecté à 45 %, ce qui a décidé le Gouvernement malien à organiser une table ronde avec ses partenaires de développement en vue de coordonner une action intégrée pour combattre le fléau. Les organismes d'assistance d'Allemagne, des Etats-Unis et de France ont patronné des projets de développement de l'élevage dans la région, dont les représentants ont assisté à la réunion.

Cette table ronde, réunie du 27 au 31 mai 1996, a envisagé la possibilité de lancer dans cette région une campagne de destruction par des moyens classiques (pièges, écrans et insecticides) en collaboration avec les habitants, pour décimer la population de mouches tsé-tsé dans un secteur de 2 000 km² environ, et de préparer une intervention éventuelle par la méthode de l'insecte stérile. Le Gouvernement a entrepris une étude socio-économique pour déterminer l'étendue du problème de la mouche tsé-tsé et de la trypanosomiase. Comptant sur le succès de cette réunion, l'Agence a fait une étude technique pour limiter le périmètre de dispersion de l'insecte et préciser les tactiques de lâcher et de récupération de mâles stériles marqués.

Au Venezuela, de l'eau (suite de la page 2)

constant de la qualité des eaux extraites du sol, offre une formation technique et du matériel de laboratoire, précisément pour le contrôle de la qualité de l'eau, et contribue à l'élaboration d'un modèle mathématique permettant de prévoir l'évolution des écoulements et les variations des niveaux piézométriques, et garantissant ainsi une exploitation sûre et durable.

Le premier résultat concret est que le service des eaux, Hidrocapital, a décidé de forer de nouveaux puits. Le choix de leurs sites et de leurs caractéristiques est fait d'après les données obtenues grâce au projet de l'AIEA. Quinze puits ont déjà été forés et 50 autres le seront avant la fin de l'année. On estime qu'ils fourniront plus de 112 000 m³ d'eau par jour, soit 46 % du déficit actuel.

La municipalité se propose de continuer son programme de forage à long terme afin que des établissements d'importance stratégique tels que les hôpitaux et les casernes de pompiers aient de l'eau à leur disposition en cas d'urgence. Dix hôpitaux sont déjà équipés de puits spéciaux à cet effet.

Des plaines assoiffées attendent la manne des montagnes

L'Atacama est une région du Pérou qui borde l'océan Pacifique, et c'est aussi l'endroit le plus sec du monde avec à peine 10 mm de précipitations annuelles. Juste au nord s'étend une plaine côtière de 7 500 km² tout aussi déshéritée, mais une population agricole y vit depuis des siècles sur les berges des deux seuls cours d'eau permanents qui descendent des Andes vers le Pacifique.

Deux agglomérations anciennes, Moquegua et Tacna, situées à quelque 80 km l'une de l'autre et entre 15 et 20 km de la côte, sont devenues des villes, et environ 200 000 habitants occupent aujourd'hui cette zone de la plaine côtière, vivant essentiellement des mines de cuivre voisines et de petites industries. A l'extrême nord de cette zone, le port d'Ilo s'est urbanisé à son tour depuis qu'un traité en a fait le seul accès de la Bolivie à la mer. La route très fréquentée qui vient de La Paz traverse la province de Moquegua.

La demande croissante d'eau de ces agglomérations dépasse déjà la capacité des deux cours d'eau. Les services provinciaux des eaux cherchent le moyen d'améliorer l'approvisionnement, tout au moins en eau potable et à usage domestique. Ils se tournent vers l'*altiplano* — vaste étendue de millions d'hectares perchée entre 3 400 et 4 000 m au-dessus du niveau de la mer entre les deux cordillères que se partagent le Pérou et la Bolivie — où les précipitations atteignent 300 à 400 mm d'eau par an. Ce n'est pas énorme, mais certains géologues ont pensé qu'il y aurait sans doute là des formations aquifères suffisantes pour approvisionner les plaines côtières.

L'hydrologie du haut plateau n'a jamais été étudiée. Aussi l'AIEA a-t-elle lancé en 1995 un projet de coopération technique à l'intention des provinces pour faire une étude hydrologique complète de l'*altiplano*



Dans l'Atacama, chacun souffre du manque d'eau.
(Photo: C. Fjeld/AIEA)

et prévoir les moyens d'amener l'eau jusqu'aux régions côtières. Les résultats des analyses isotopiques réalisées jusqu'à présent ne sont pas tous encourageants. La plupart des nappes aquifères sont peu étendues, compartimentées par des formations imperméables, et ne sont guère alimentées que par les précipitations. La situation hydrologique est donc très complexe.

L'évaporation et l'évapotranspiration due surtout à la flore sont très intenses. Les herbes en touffes et autres plantes du cru ont des racines peu profondes de sorte que, si l'eau proche de la surface baisse beaucoup du fait de l'extraction, la végétation en pâtira, ce qui sera catastrophique pour les vigognes, lamas, alpacas et autres animaux de ces parages, et pour la population autochtone des villages épars qui vit de récoltes acclimatées aux dures conditions locales.

Quelques nappes aquifères semblent cependant exploitables et l'on fore

déjà des puits selon les données. Le tritium et le carbone 14 y sont utilisés pour démêler le réseau complexe des eaux souterraines de l'*altiplano* et obtenir les informations indispensables à l'élaboration des modèles d'écoulement qui permettront de gérer judicieusement ces ressources. Les eaux du haut plateau pourraient atteindre la plaine côtière en empruntant le lit des rivières à sec ou des canaux débouchant dans les cours d'eau permanents.

Il y a des années que l'Agence aide son homologue, l'Institut de l'énergie nucléaire du Pérou, à développer son infrastructure et ses moyens, ce qu'il a déjà fait en installant un laboratoire d'analyse à Tacna. Il a d'ailleurs reçu un spectromètre d'absorption atomique ainsi que du matériel de carottage, des services d'experts et des moyens de formation. Il appartient désormais au service provincial des eaux et à l'Institut de résoudre des problèmes particuliers, tel celui que pose la voie naturelle d'adduction qui passe en haute altitude par des sources d'eau bouillante très saline et riche en bore et en arsenic, deux poisons pour les plantes et l'être humain.

On peut envisager plusieurs solutions: creuser des canaux sur une cinquantaine de kilomètres, installer une centrale électrique utilisant l'eau bouillante et recycler celle-ci dans le réservoir géothermique; ou construire à grands frais une installation de décontamination. Le projet s'achèvera cette année et les données obtenues permettront d'évaluer ces options et d'amener enfin aux plaines assoiffées les eaux providentielles de l'*altiplano*.

RADIOGRAPHIE de la coopération technique est un produit de Maximedia pour l'AIEA. Les articles de cette série peuvent être librement utilisés. Pour tous renseignements, s'adresser à la Section de coordination des programmes, Département de la coopération technique, Agence internationale de l'énergie atomique, B.P. 100, A-1400 Vienne, Autriche. Tél: +43 1 2060 26005 Fax: +43 1 2060 29633 CE: foucharp@tcpo1.iaea.or.at