

Capture des satellites et migration des planètes géantes

Comme le soulignent les auteurs de l'article, quel que soit le mécanisme de capture des satellites irréguliers, reste la question de leur origine. Se sont-ils formés près de leur planète ou dans les régions externes du Système solaire ?

En 2007, David Nesvorný, de l'Institut de recherche du Sud-Ouest, à Boulder, David Vokrouhlický, de l'Université Charles, à Prague, et Alessandro Morbidelli, de l'Observatoire de la Côte d'Azur, à Nice, ont proposé, dans le cadre du « modèle de Nice », un scénario de formation des essaims de satellites irréguliers qui penche en faveur de la seconde hypothèse.

Le modèle de Nice a été proposé en 2005 par A. Morbidelli, Harold Levison, de l'Université du Sud-Ouest, à Boulder, Rodney Gomes, de l'Université de Rio de Janeiro, au Brésil, et moi-même. Dans ce cadre, le Système solaire externe, entre 13 et 35 unités astronomiques (la distance de la Terre au Soleil) est resté peuplé de débris pendant près de 700 millions d'années après

la formation des planètes, jusqu'à ce que la forte interaction gravitationnelle entre Jupiter et Saturne induise des résonances qui ont bousculé l'ensemble du Système solaire. Des millions d'astéroïdes et de comètes ont été dispersés, tandis que les planètes principales ont migré vers leurs orbites actuelles, plus stables.

D. Nesvorný et ses collègues ont montré que, pendant la phase chaotique supposée par le modèle de Nice, lorsque les planètes s'approchent fréquemment les unes des autres (on parle de « rencontres proches »), les planétésimaux voisins peuvent être facilement capturés par celles-ci.

Il s'agit d'une variante de la capture à trois corps, où deux planètes se rencontrent et perturbent l'orbite d'un planétésimal proche, de sorte que ce dernier pénètre dans la sphère de Hill d'une des planètes. Lorsque les planètes s'écartent ensuite, quelques-uns des planétésimaux piégés deviennent des satellites permanents.

Les simulations montrent que la distribution des satellites capturés est similaire, tant en nombre qu'en termes de caractéristiques orbitales, à celle observée pour Saturne, Uranus et Neptune.

Dans la majorité des simulations, cependant, Jupiter semble se comporter différemment : la planète ne capture pas autant de satellites qu'attendu, tout simplement parce qu'elle ne subit pas beaucoup de rencontres avec les autres planètes.

Toutefois, dans un certain nombre de simulations, Jupiter passe par des rencontres suffisamment proches et fréquentes avec les autres planètes pour lui permettre de capturer des satellites irréguliers.

Des résultats récents du « groupe du modèle de Nice » suggèrent que ces simulations dont les paramètres conduisent à la capture sont plus proches de la réalité, bien que moins nombreuses.

Une évolution plus brutale de l'orbite de Jupiter semble en effet nécessaire, d'une part, pour que les orbites finales de Jupiter et de Sa-

turne soient les plus proches de celles observées ; d'autre part, pour assurer la stabilité des planètes telluriques durant la migration, et enfin pour satisfaire la distribution observée des astéroïdes entre Mars et Jupiter.

Une telle évolution est caractérisée par des rencontres plus proches et plus fréquentes que dans les autres simulations entre Jupiter et l'une des géantes de glace (Neptune ou Uranus), qui font migrer Jupiter vers son orbite finale en quelques centaines de milliers d'années, au lieu de millions d'années.

Les planètes telluriques sont alors « insensibles » au mouvement des planètes géantes, tandis que le « balayage » des orbites des planètes géantes est trop rapide pour que les résonances aient le temps de déstabiliser les astéroïdes.

Une évolution rapide de l'orbite de Jupiter semble ainsi expliquer la capture de ses satellites irréguliers.

Kleomenis Tsiganis

Université de Thessalonique, Grèce

La capture à trois corps pourrait expliquer pourquoi chaque planète a, à peu près, le même nombre de lunes irrégulières : bien qu'Uranus et Neptune soient moins massives que Jupiter et Saturne, elles sont plus loin du Soleil, et leurs sphères de Hill sont de taille comparable.

Si le scénario d'interaction à trois corps peut expliquer comment les lunes irrégulières ont été capturées, il n'indique pas d'où elles provenaient. Les chercheurs ont avancé deux origines possibles. Les lunes pourraient être des astéroïdes ou des comètes qui se seraient agrégés dans la même région du Système solaire que les planètes qui les ont finalement capturées. L'essentiel de la cohorte aurait alors été intégré à la planète elle-même, ou catapulté hors du Système solaire. Les lunes irrégulières seraient les plus chanceuses : ni englouties, ni condamnées à errer dans l'espace interstellaire.

Une autre possibilité est que les satellites irréguliers proviennent tous des régions extérieures du Système solaire, dans l'actuelle ceinture de Kuiper, au-delà de Neptune. Selon le « modèle de Nice »,

proposé en 2005 (voir l'encadré ci-dessus), des millions d'astéroïdes et de comètes ont été dispersés lors d'une phase chaotique survenue 700 millions d'années après la formation des planètes. Une fraction des petits corps dispersés aurait pu être capturée par les planètes lors des passages à leur proximité.

L'aspect de Phœbé, la lune de Saturne, ainsi qu'un spectre légèrement plus rouge des satellites irréguliers à mesure qu'on s'éloigne du Soleil appuient cette hypothèse, mais ne permettent pas de conclure. Des observations spectroscopiques plus précises sont nécessaires.

Si les lunes irrégulières des différentes planètes avaient des compositions chimiques différentes, cela conforterait l'hypothèse d'une formation locale. Si au contraire elles avaient des compositions chimiques semblables, cela renforcerait l'hypothèse d'une région d'origine commune.

Ainsi, comme des traces sur la chausée après un accident, les satellites irréguliers pourraient nous révéler si le Système solaire est passé par une phase chaotique dans son enfance. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

D. Nesvorný, D. Vokrouhlický et A. Morbidelli, **Capture of irregular satellites during planetary encounters**, *The Astronomical Journal*, vol. 133, p. 1962, 2007.

D. Jewitt et N. Haghighipour, **Irregular satellites of the planets: products of capture in the early Solar system**, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 45, pp. 261-295, 2007.

C. Agnor et D. Hamilton, **Neptune's capture of its moon Triton in a binary-planet gravitational encounter**, *Nature*, vol. 441, pp. 192-194, 2006.

D. Jewitt et S. Sheppard, **Irregular satellites in the context of giant planet formation**, *Space Science Reviews*, vol. 116, n° 1-2, pp. 441-456, janvier 2005.

LES VICTIMES du changement climatique

Alex de Sherbinin, Koko Warner et Charles Ehrhart

**Les modifications des régimes de pluies
et des rivages côtiers pourraient entraîner des migrations
humaines d'une ampleur sans précédent.**

© Getty Images/Tom Stoddart

L'ESSENTIEL

✓ Le changement climatique dû au réchauffement global bouleversera les ressources de millions de personnes, incitant nombre d'entre elles à quitter leur pays.

✓ Trois régions du globe qui ont déjà commencé à souffrir de ses effets sont examinées ici : le Mozambique, le delta du Mékong et l'Amérique centrale.

✓ Certaines migrations seront inévitables. Comment gérer au mieux ces flux ? Comment garantir les droits de ces populations ? La communauté internationale doit se poser ces questions dès maintenant.

Depuis toujours, les migrations dues aux changements climatiques ont façonné la civilisation humaine. Ainsi, l'homme serait sorti de son berceau africain à la faveur d'un changement climatique, il y a plus de 100 000 ans. Il y a 3 000 ans, une longue période de sécheresse en Asie centrale et le manque de pâturages ont poussé les armées mongoles jusqu'en Europe, où nombre de soldats se sont établis. Et au XX^e siècle, aux États-Unis, le *Dust Bowl* (le nuage de poussière), une catastrophe écologique due à la sécheresse et aggravée par des politiques agricoles erronées a obligé 3,5 millions de personnes du Midwest à émigrer.

Aujourd'hui, cette histoire séculaire prend un tour nouveau. Nous entrons dans une ère – « l'anthropocène » – marquée par des changements rapides du climat que provoquent les gaz à effet de serre émis par les activités humaines. Les modèles climatiques prévoient notamment une plus grande variabilité des précipitations, une fréquence plus élevée des événements climatiques extrêmes – telles les sécheresses et les inondations –, une hausse du niveau de la mer et une acidification des précipitations. Chacun de ces changements pourrait perturber les écosystèmes qui nous fournissent nos res-

sources naturelles. Et obliger des populations entières à quitter leurs habitations, dans des proportions inégalées jusqu'à aujourd'hui.

Menacés par l'élévation du niveau de la mer, les 38 États insulaires de faible altitude de la planète sont l'objet d'une attention particulière. Selon certains scénarios, nombre d'entre eux pourraient disparaître d'ici la fin de ce siècle. Cependant, le problème auquel sont confrontés les habitants de ces États n'est que le sommet de l'iceberg. Rien qu'en Inde, une élévation de un mètre du niveau de la mer obligerait 40 millions de personnes à migrer. En outre, l'inondation côtière est loin d'être le seul problème lié au climat en Asie du Sud. Des modèles développés par Arthur Green et Andrew Robertson, de l'Université Columbia, suggèrent à la fois un accroissement du total des pluies de mousson et une diminution de leur fréquence – en d'autres termes, des précipitations plus intenses concentrées sur moins de jours. Des décalages de la saisonnalité des crues fluviales (dus à la diminution de la couche neigeuse) pourraient réduire les ressources agricoles de plusieurs centaines de millions d'Asiatiques vivant en zone rurale, ainsi que l'approvisionnement en nourriture d'autant de citoyens.



L'augmentation du nombre de catastrophes liées au climat est un fait. La fréquence des catastrophes naturelles a plus que doublé depuis les années 1980 et, parmi elles, celles liées au climat représentent une proportion croissante. Selon le Bureau pour la coordination des affaires humanitaires des Nations unies et le Centre de veille des déplacements locaux (*Internal Displacement Monitoring Center*), en 2008, les catastrophes liées au climat ont conduit plus de 20 millions d'individus à quitter leur toit – soit plus de quatre fois le nombre de personnes déplacées à la suite d'un conflit local.

Trois cas dans trois continents

Ces déplacements de populations et ces migrations forcées, provoqués par le changement climatique, pourraient donc devenir un problème humanitaire international de premier plan dans les décennies à venir. Dans cet article, nous donnons une idée de ce que l'avenir pourrait nous réserver en examinant les facteurs qui ont commencé à provoquer de tels déplacements dans trois régions du monde. Nous considérerons d'abord le Mozambique, où les populations subissent fortes inondations et sécheresses périodiques. Nous examinerons ensuite

le delta du Mékong. Ici, les inondations rythment la vie depuis longtemps; cependant, ces dernières années, leur ampleur a dépassé tous les précédents historiques. L'élévation du niveau de la mer entraînera en outre des pertes considérables de terres agricoles. Nous terminerons par le Mexique et l'Amérique centrale, où les tempêtes tropicales et les cyclones ont entraîné le déplacement de milliers de personnes, et où la sécheresse menace constamment.

Nous ne prétendons pas prévoir l'ampleur, la direction et la périodicité des migrations à venir. En présentant ces études de cas, nous espérons susciter des analyses plus complètes des zones où des migrations en masse pourraient se produire et encourager le développement de plans régionaux et internationaux pour venir en aide aux populations contraintes de se déplacer.

Les analyses que nous présentons proviennent du programme Changement environnemental et scénarios de migration forcée (EACH-FOR) de la Commission européenne, une étude globale des migrations dues à l'environnement, et d'une étude cartographique conduite par le Consortium pour un réseau international d'information en sciences de la Terre (CIESIN), à l'Institut de la Terre de l'Université Columbia.

UNE FAMILLE avance péniblement dans les rues de Chokwe, au Mozambique. Des inondations de plus en plus fréquentes dans cette région ont poussé de nombreuses familles à déménager.

LES AUTEURS

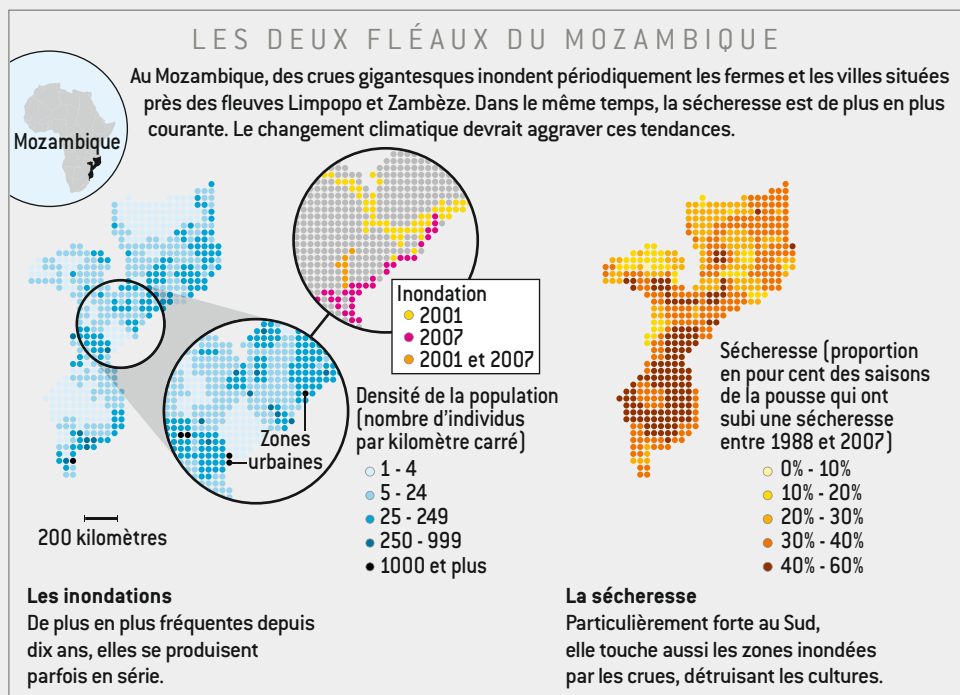


Alex DE SHERBININ, chercheur à l'Institut de la Terre de l'Université Columbia, est directeur adjoint du Centre de données socio-économiques et applications de la NASA. Koko WARNER est chercheur à l'Institut pour l'environnement et la sécurité humaine de l'Université des Nations unies. Charles EHRHART coordonne la réponse au changement climatique au sein de l'organisation non gouvernementale CARE international.

La double peine

Le Mozambique, un pays de 785 000 kilomètres carrés, s'étend le long de la côte Est de l'Afrique, entre la Tanzanie et l'Afrique du Sud. Il a une longue histoire de migrations dues en partie à une guerre civile de 16 ans qui s'est terminée en 1992 ; au cours de cette guerre, cinq millions d'individus ont dû quitter leur habitation. Durant les quatre années suivantes, plus de 1,7 million de Mozambicains venant du Malawi, du Zimbabwe, du Swaziland, de la Zambie, de l'Afrique du Sud et de la Tanzanie sont retournés dans leur pays.

Aujourd'hui, la guerre civile est terminée, mais le Mozambique subit une nouvelle crise. En 2000, 2001 et 2007, des inondations dans les bassins des fleuves Zambèze et Limpopo ont obligé des centaines de milliers de personnes à migrer. Les inondations de 2007 ont chassé plus de 100 000 individus, dont la moitié a



L'élévation du niveau de la mer

La partie vietnamienne du delta du Mékong abrite 18 millions d'individus, soit 22 pour cent de la population du Vietnam. Elle représente 40 pour cent de la surface des terres cultivées du pays et plus du quart de son produit intérieur brut. Ses habitants font pousser plus de la moitié du riz du Vietnam, pêchent 60 pour cent de ses poissons et crevettes, et

récoltent 80 pour cent de sa production fruitière.

Tout cela est menacé. Selon une simulation du Consortium pour un réseau international d'information en sciences de la Terre (CIESIN), une élévation du niveau de la mer de un mètre pourrait entraîner le déplacement de plus de sept millions d'habitants du delta, et une éléva-

tion de deux mètres doublerait ce chiffre. À ce niveau, même des quartiers de Ho Chi Minh-Ville (anciennement Saïgon) seraient sous les eaux. Une élévation de deux mètres reste peu probable. Néanmoins, un changement climatique brutal pourrait provoquer une fonte plus rapide que prévue des glaciers du Groenland et de l'Ouest de l'Antarctique. Dans ce cas, une élévation de deux mètres du niveau de la mer se produirait vers 2100.

Les inondations jouent depuis longtemps un rôle important dans l'économie et la culture de cette région. Dans le delta du Mékong, qui s'étend au Nord dans le Cambodge, les gens vivent avec les cycles de crues et dépendent d'eux, mais dans certaines limites : pour eux, des crues d'une hauteur comprise entre 50 centimètres et 3 mètres sont normales et constituent de « bonnes crues » pour les cultures. Plus élevées, elles

ne sont plus gérables et ravagent les plantations.

Depuis quelques dizaines d'années, la fréquence et l'ampleur des crues dépassant quatre mètres ont augmenté. Couplées aux autres risques naturels (cyclones, tsunamis dus à des tremblements de terre) et à la pression exercée sur l'environnement par l'industrialisation rapide du Vietnam et des pays en amont du fleuve, ces inondations placent les ressources naturelles du Vietnam et les personnes qui en dépendent dans une situation précaire. Les populations s'adaptent de différentes façons, parfois en émigrant, de préférence vers les grandes villes, notamment Phnom Penh, la capitale du Cambodge, où l'économie se développe plus vite.

Pour sa part, le gouvernement vietnamien a mis en place un programme intitulé « Vivre avec les inondations » : des organismes gou-

UNE DES 400 000 MAISONS INONDÉES lors des pires crues qui ont frappé le Mékong depuis une quarantaine d'années.



été évacuée dans des centres d'hébergement temporaires. En 2007, après le retrait de ces premières crues, le cyclone Favio a fait à nouveau sortir le Zambèze de son lit. Les personnes touchées ont perdu logement et moyens de subsistance, ainsi que tout accès aux équipements médicaux, aux installations sanitaires et à l'eau potable. Ces catastrophes à répétition ne facilitent pas la reconstruction de ces communautés.

Dans les années qui ont suivi les inondations de 2001, le gouvernement a incité les habitants à s'établir loin des plaines inondables, notamment en proposant un programme « travail contre assistance » : les volontaires fabriquaient des briques et, en échange, le gouvernement promettait de payer les autres matériaux de leur habitation future et de contribuer à sa construction. Avant 2001, les communautés qui

quittaient périodiquement les plaines inondables pour éviter les crues n'avaient jamais envisagé de déménager de façon permanente.

Ironie du sort, le Mozambique peut être simultanément frappé par la sécheresse et par les inondations – comme cela est arrivé en 2007 quand la partie Sud du pays souffrait d'une grande sécheresse alors que le Zambèze, plus au Nord, sortait de son lit. Des modèles climatiques suggèrent que les niveaux de précipitations pourraient augmenter dans le Nord du Mozambique et diminuer dans le Sud. L'espace et l'intensité des précipitations constituent un élément clef du problème. Les climatologues prévoient une variabilité encore plus grande du climat au cours de ce siècle, avec des oscillations entre des épisodes d'intenses sécheresses et d'inondations – et des conséquences de plus en



Jenny Matthews Alamy

UNE JEUNE FEMME recueille un peu d'eau au fond d'un puits presque à sec à Malange au Mozambique, une zone frappée par la sécheresse.

plus imprévisibles sur des pays tels que le Mozambique.

Les personnes qui ont déménagé restent dépendantes de l'aide gouvernementale et internationale, car les régions où elles se sont établies manquent d'infrastructures rendant possible une économie autosuffisante, avec des hôpitaux et des écoles. Les récoltes sont en outre souvent mau-

vais. Sans une assistance humanitaire extérieure, la population pourrait avoir besoin de migrer plus loin, voire au-delà des frontières. Les principales destinations seraient vraisemblablement Maputo, la capitale du Mozambique, et l'Afrique du Sud, à cause des faibles perspectives économiques offertes par les autres villes ou pays voisins.

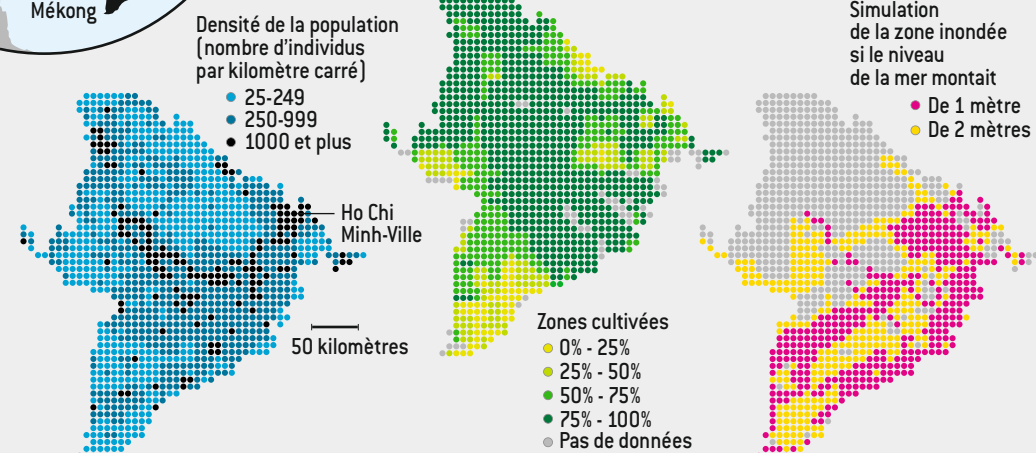
vernementaux encouragent les riziculteurs à se tourner vers l'aquaculture – l'élevage de fruits de mer, tels que les crevettes, et de petits poissons dans des bassins fermés. Le long de la branche principale du Mékong, dans la province de An Giang, ce programme vise également à éloigner la population du fleuve. Près de 20 000 ménages devraient être relogés vers 2020.

Généralement sans terre, ces personnes n'ont nulle part où aller si leurs maisons s'écroulent, et sont trop pauvres pour se déplacer vers des zones urbaines. Toutefois, leur déplacement géographique, même à moins de deux kilomètres de leur ancien logement, comme cela est généralement planifié, risque de leur faire perdre leur moyen de subsistance : ces personnes travaillent pour la plupart au jour le jour en tant que manœuvres grâce aux relations qu'elles entretiennent avec la famille, les amis et les employeurs. Leur nouvelle implantation pourrait briser ce tissu social.



LE DELTA DU MÉKONG EN PÉRIL

Le delta du Mékong produit une grande partie des ressources alimentaires du Vietnam. Les riziculteurs utilisent les crues périodiques pour irriguer leurs champs, mais depuis quelques décennies, de fortes crues font vaciller cet équilibre. La région est aussi menacée par l'élévation du niveau de la mer.



Le fleuve de la vie
La population est particulièrement dense le long des rives du Mékong – une région cependant sujette aux inondations dues aux fortes pluies.

Une zone agricole majeure
Après la Thaïlande, le Vietnam est le deuxième plus gros exportateur de riz ; plus de 80 pour cent de sa production provient du delta du Mékong.

À la merci des vagues
Le relief du delta du Mékong dépasse rarement un à deux mètres d'altitude. Si le niveau de la mer montait, des millions de personnes seraient concernées.

Sources : CIESM, IPPI, Banque mondiale, CIAT, 2009 GRUMP, SEDAC, N. Ramankutty et al. 2010, Global agricultural lands: croplands, 2000, A. Jarvis et al. 2008, <http://sirm.cs.cgiar.org>

Tempêtes et sécheresse

Le Mexique et l'Amérique centrale comptent presque dix millions d'agriculteurs, dont beaucoup satisfont à peine leurs besoins en cultivant les aliments de base traditionnels (le maïs, les haricots et les courges) en zone de montagne. Comme tous les agriculteurs, ils dépendent des précipitations. Trop peu d'eau, et leurs plantes se dessèchent et meurent ; trop d'eau à la fois, et le sol est raviné, entraînant avec lui les récoltes.

Parfois, la sécheresse et les inondations frappent la même année. En juillet 2001 au Honduras, par exemple, une forte sécheresse a touché 250 000 individus. Quelques mois

plus tard, une tempête tropicale inondait la région.

Déjà, de nombreux agriculteurs se sont déplacés vers le Nord. La majorité des émigrants vers les États-Unis proviennent ainsi de zones rurales pauvres du Mexique et de l'Amérique centrale. La réduction des surfaces cultivables, la déforestation et le chômage sont les principaux facteurs qui poussent à l'émigration – ainsi que l'attrait de salaires plus élevés dans le Nord –, mais des raisons climatiques s'ajoutent à cette détresse. Dans l'État de Tlaxcala, dans la partie centrale du Mexique, Stefan Alscher, du programme EACH-FOR,

a observé que la libéralisation du marché dans les années 1990, associée à une diminution des précipitations, a conduit à une réduction des revenus agricoles, poussant certains agriculteurs à abandonner leur métier.

On prévoit que le changement climatique conduira à une diminution de 10 à 20 pour cent des eaux de ruissellement (apportées par les précipitations). Dans la région centrale du Mexique, Tlaxcala n'est pas l'État le plus menacé. L'irrigation de cette région s'effectue principalement sur les plaines côtières, telles celles de Jalisco et de Sinaloa – deux grands États agricoles qui, ensemble, produisent presque 18 pour cent du produit intérieur brut agricole du pays. Or, selon les données du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la quantité d'eau disponible dans ces États pourrait diminuer de 25 à 50 pour cent vers 2080.

La sécheresse n'est pas le seul problème auquel est confrontée la région. Les climatologues prévoient une augmentation de la fréquence des tempêtes tropicales intenses en Amérique centrale et au Mexique, à l'image de celles qui ont touché ces régions

en 1998 et 2007 : en 1998, l'ouragan Mitch a tué plus de 11 000 personnes au Honduras et au Nicaragua et a causé pour plusieurs milliards de dollars de dégâts. En 2007, la tempête tropicale Noel inonda jusqu'à 80 pour cent de l'État de Tabasco, chassant quelque 500 000 personnes. Dans le passé, les déplacements de populations consécutifs à ces tempêtes étaient généralement locaux et ne duraient pas longtemps, mais l'augmentation de leur fréquence pourrait inciter certains à émigrer définitivement.

Les solutions ne sont pas simples. Dans les zones agricoles, les habitants pratiquent déjà depuis longtemps la migration saisonnière. Sachant que la plupart des flux migratoires futurs se dirigeront vraisemblablement vers les États-Unis et le Canada, les responsables politiques de ces pays pourraient envisager d'accorder des visas de travail temporaires à la suite des sécheresses ou inondations. À plus long terme, les responsables de la gestion des régions devront développer des techniques d'irrigation économisant l'eau, ainsi que d'autres moyens pour l'agriculture pluviale (ou non irriguée) et ses acteurs.



UN PLAN D'EAU SAUMÂTRE dans la vallée de Tehuacan, près de Mexico. Utilisées autrefois pour les animaux, ces mares sont devenues les ressources en eau des villageois.

L'IMPORTANCE DES SPÉCIFICITÉS

Les études des programmes EACH-FOR et CIESIN sont remarquables. Le programme EACH-FOR mène une enquête sur les migrations dans 23 régions du monde – effectuée par les experts locaux – et les relie aux données environnementales, issues des revues scientifiques ; le programme CIESIN crée une base informatique des données nationales et internationales pour faciliter leur exploitation. Toutefois, les données restent parcellaires. Pour l'instant, les modèles climatiques sur lesquels ces études s'appuient sont fondés sur des informations satellitaires, associées à quelques mesures de terrain. Le cadre de travail est national dans presque tous les cas, et les conclusions ne prennent pas suffisamment en compte les spécificités locales – pluviométrie, oc-

cupation des sols, cultures, politique agricole, comportement des populations –, pourtant essentielles dans la réflexion sur l'avenir d'un pays.

Ainsi au Mexique, au centre et au Sud, les mouvements de convection font varier la pluviométrie en quelques kilomètres ; toujours au Sud, dans l'État de Tabasco, les conséquences des inondations ont été aggravées par la colonisation des zones à risque. Par ailleurs, le Mexique est un cas à part en Amérique centrale, car la répartition des terres cultivées y est moins inégalitaire : après la révolution de 1910, nombre de grandes propriétés furent collectivisées, mais, en 1992, leur démembrement et leur privatisation ont créé 2,5 millions de petits propriétaires, qui participent peu aux grands mouvements migra-

toires. L'émigration dépend aussi de la situation familiale : on ne part loin qu'en célibataire. Enfin, la politique économique à tenir ne sera sans doute pas la même dans les États du centre et du Sud du Mexique, régions de petit paysannat, et dans ceux de Jalisco et de Sinaloa, où des groupes multinationaux exploitent la terre.

Dans le delta du Mékong, il ne faut pas sous-estimer l'inventivité et la réactivité des populations locales. Des stratégies d'adaptation structurelles coûteuses, tel un endiguement massif, sont en cours pour limiter la catastrophe annoncée. De plus, il y existe une culture du risque ; les populations ont appris à vivre avec crues et tempêtes, en construisant des abris en zone surélevée et en mettant en place des systèmes d'alerte.

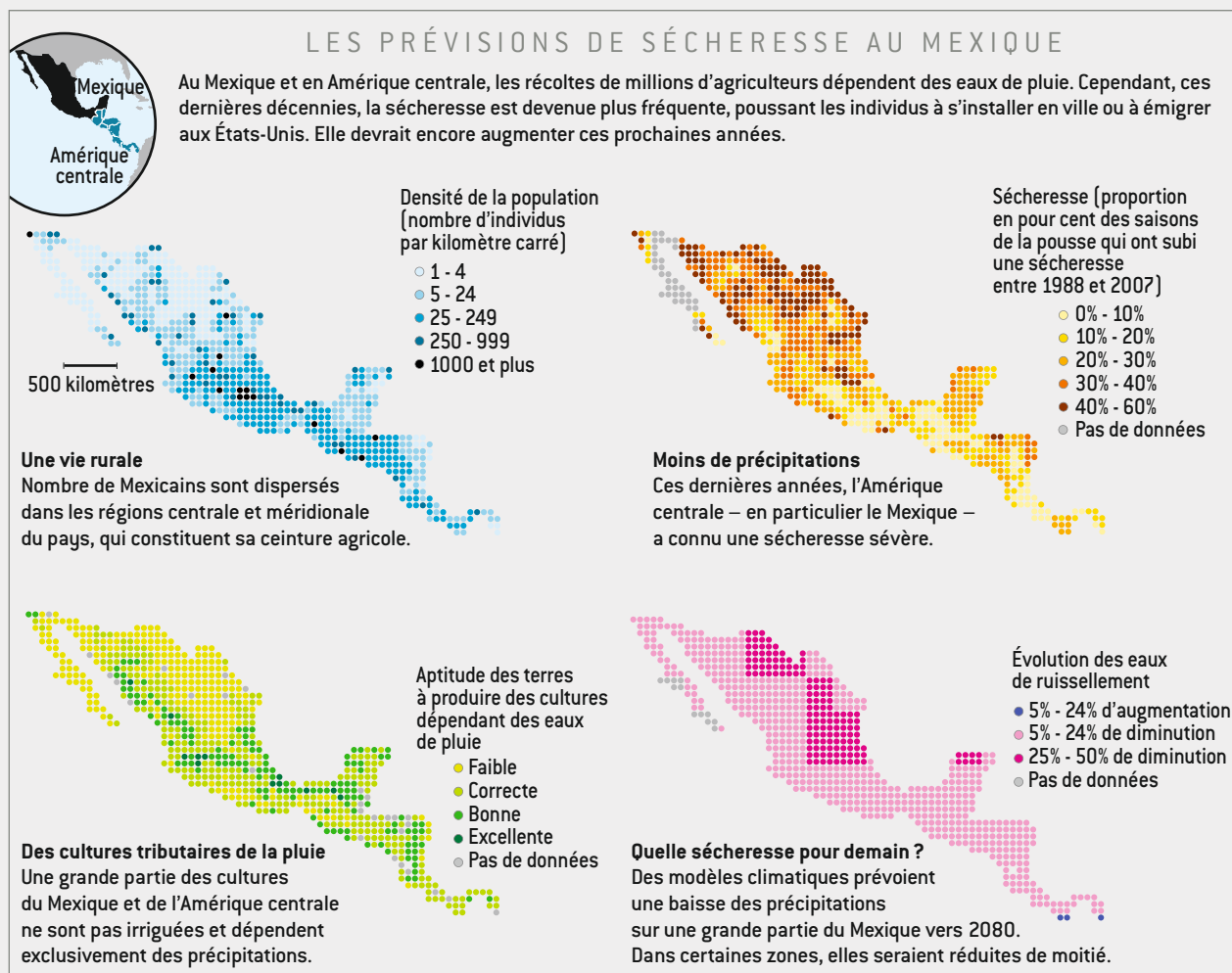
De façon générale, si les pauvres seront bien les plus touchés par le changement climatique, la communauté internationale se doit surtout de sensibiliser les populations concernées grâce à des données précises, afin qu'elles puissent agir et aménager leur territoire en conséquence. Quant aux sociétés dites avancées, elles ne seront pas épargnées par les impacts du changement climatique : rigides, car prisonnières de leurs technologies, et avec des habitants sédentaires et âgés, elles auront des difficultés à s'adapter.

Alain Gioda

Hydrosciences Montpellier, IRD

Gustavo Garza

Université nationale autonome de Mexico



Sources : CIESIN, IFPRI, Banque mondiale, CIAT, 2009 GRUMP, SEDAC, D. Mohara et al., 2006, Bradford Lyon IRI/Earth Institute (Univ. Columbia), GPCC, IRI Data Library

Le Mozambique, le delta du Mékong et l'Amérique centrale ne sont que trois cas parmi de nombreux autres étudiés par les programmes EACH-FOR et CIESIN. Ces études ne sont pas achevées, mais, déjà, deux conclusions s'imposent.

Aider les pays menacés à faire face

D'une part, l'étude cas par cas est d'autant plus justifiée que les causes de migrations sont multiples et propres à chaque pays ; souvent, les dégâts climatiques sont couplés à des facteurs politiques ou économiques, ou encore à des événements naturels indépendants du changement climatique, telles les éruptions.

D'autre part, les migrations forcées liées au changement climatique pourraient devenir le problème humanitaire le plus important du XXI^e siècle. En conséquence, la communauté internationale doit dès à

présent mettre en place des mesures de protection afin que ces flux migratoires soient ordonnés et pacifiques, que les droits de l'homme soient respectés et que les émigrants prennent en charge leur avenir. Voici les objectifs qu'il nous semble fondamental de poursuivre : réduire les émissions de gaz à effet de serre ; investir dans la gestion du risque de catastrophes (il a été montré qu'une telle mesure réduit la probabilité de migration à grande échelle) ; reconnaître que certaines migrations seront inévitables et développer des stratégies d'adaptation nationales et internationales ; s'engager à s'assurer que les fonds levés pour cette adaptation profiteront bien aux personnes qui en auront le plus besoin ; renforcer les institutions internationales pour protéger les droits des personnes déplacées en raison du changement climatique.

On ne peut se contenter d'agir à l'échelle de son seul pays. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

S.-K. Min *et al.*, *Human contribution to more-intense precipitation extremes*, *Nature*, vol. 470, pp. 369-373, 2011 ; P. Pall *et al.*, *ibidem*, pp. 382-385.

K. Warner *et al.*, *In search of shelter : mapping the effects of climate change on human migration and displacement*, CIESIN, 2009 : www.ciesin.columbia.edu/documents/ClimMigr-rpt-june09.pdf

Études de cas du programme EACH-FOR et rapport final : www.each-for.eu

Centre d'information sur le changement climatique de CARE international : www.careclimatechange.org

Données et cartes des zones côtières de faible altitude : <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/lec2.jsp>

Tom Misteli

La vie agitée du génome

Entre deux divisions cellulaires, l'ADN des chromosomes se révèle plus organisé que prévu. L'activité des gènes dépend de leur position et de leurs déplacements dans le noyau : silencieux en périphérie, ils sont actifs au centre.

Il y a dix ans, la publication de la séquence du génome humain a offert au monde un plan de construction de l'être humain. Cependant, de même que la liste des pièces détachées d'une automobile ne nous apprend pas comment fonctionne son moteur, la séquence complète du génome – une liste des « lettres » de l'ADN de tous les chromosomes de la cellule humaine – n'a pas révélé comment le génome commande les activités des cellules au jour le jour, ou permet à un œuf fécondé de se développer en un adulte opérationnel.

Pour mieux comprendre la façon dont le génome orchestre la vie, diverses équipes, dont la mienne, étudient la biologie cellulaire du génome : nous recherchons comment les chromosomes et les gènes qu'ils contiennent sont organisés dans le noyau et comment cette disposition influe sur leurs activités.

À l'aide des techniques récentes d'imagerie 3D, qui permettent de visualiser le comportement des molécules (gènes, protéines,...) dans une cellule vivante, nous avons découvert un écosystème en effervescence : dans le noyau, les chromosomes interagissent avec leurs voisins, les gènes qu'ils portent se déplacent et les molécules qui régulent l'activité des gènes se rassemblent en centres animés d'une intense activité. Ce sont ces observations que nous présentons ici. Nous verrons qu'elles apportent des précisions sur la façon dont le génome garantit la bonne santé de l'homme, mais aussi sur l'apparition de diverses maladies – notamment des cancers – quand il est endommagé, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles méthodes de diagnostic.

Ces récents progrès sont le fruit de découvertes faites dans les années 1980. À cette époque, les biologistes savaient

L'ESSENTIEL

- ✓ Dans le noyau, les chromosomes ne sont pas entremêlés aléatoirement. Chacun occupe un espace qui lui est propre.
- ✓ Selon leur position au sein du noyau, l'activité des gènes varie.
- ✓ L'organisation des chromosomes peut être modifiée lors de la différenciation cellulaire ou en cas de maladie.
- ✓ En cartographiant la position des chromosomes dans différents types cellulaires – sains ou non –, les biologistes espèrent mieux comprendre le fonctionnement des cellules et diagnostiquer plus tôt certaines maladies.