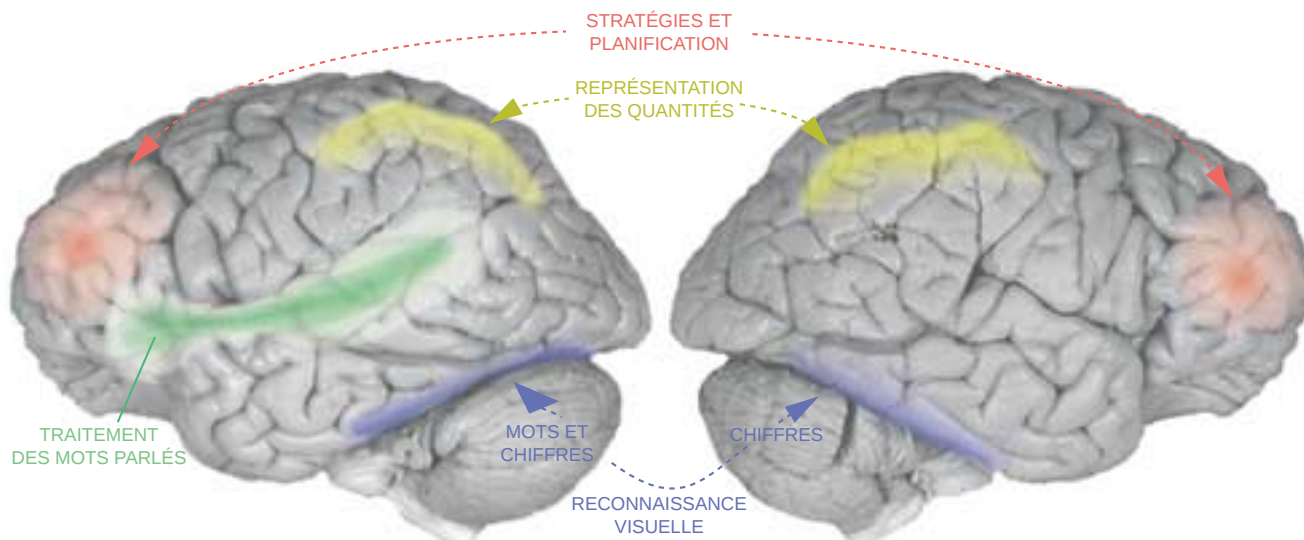




6. PLUSIEURS RÉGIONS CÉRÉBRALES seraient utilisées pour le traitement des nombres. Selon le modèle envisagé, la reconnaissance visuelle active la région occipito-temporale ventrale (en bleu), dans l'hémisphère gauche pour les mots écrits et des deux côtés pour les chiffres arabes. La reconnaissance et la production des mots parlés activent la région périsylvienne de l'hémisphère gauche (en

vert). Les quantités numériques sont représentées dans la région pariétale inférieure des deux hémisphères (en jaune), notamment dans la profondeur du sillon intrapariétal. Enfin, le cortex préfrontal (en rouge) intervient pour mémoriser les résultats intermédiaires et contrôler les stratégies mises en jeu dans les régions postérieures. Au cours d'un calcul, toutes ces régions échangent des informations.

tent. Plus intéressant encore, lorsque nous multiplions deux chiffres, si la multiplication est simple, telle 2×3 , l'activation pariétale est fortement latéralisée à gauche et de courte durée. Si, au contraire, la multiplication est moins familière, telle 8×7 , alors elle semble démarrer dans l'hémisphère gauche avant de s'étendre à la région pariétale droite pendant plusieurs centaines de millisecondes. La taille des nombres manipulés et la nature des opérations effectuées conditionneraient donc les chemins du calcul dans notre cerveau.

L'existence de régions cérébrales spécialisées dans le traitement des nombres pose la question de leur origine. La région pariétale inférieure est-elle déjà en partie opérationnelle chez le très jeune enfant et lui confère-t-elle déjà un sens approximatif des quantités? Des organismes aussi divers que le rat, le pigeon, le dauphin, le chimpanzé et le bébé humain de quelques jours, bien que dépourvus de langage, se représentent mentalement le cardinal d'un ensemble d'objets visuels ou sonores, et même effectuent certaines déductions arithmétiques élémentaires. Un bébé de quatre mois et demi s'attend à ce qu'un ensemble de deux objets auquel on en retranche un n'en contienne plus qu'un seul : il effectue mentalement un analogue, avec des objets concrets, de l'opération arithmétique abstraite $2 - 1 = 1$. Des circuits cérébraux pré-spécifiés pour la représentation des

quantités existeraient donc dès la naissance, indépendamment de toute éducation mathématique. L'apprentissage de la récitation des noms de nombres («un, deux, trois...») et de la forme visuelle des chiffres arabes («1, 2, 3...») permettrait alors ultérieurement d'associer des systèmes de numération symbolique à ce «sens des quantités», l'enfant apprenant à mettre en rapport le mot «quatre», le chiffre «4» et la quantité «:».

Quelle que soit la validité de ce schéma, un principe général d'organisation cérébrale émerge : la modularité des réseaux. Sans que nous en soyons conscients, des dizaines d'aires cérébrales spécialisées, réparties dans les deux hémisphères, s'activent lorsque nous pratiquons le calcul mental. L'information passe sans effort des représentations visuelles, spécialisées dans l'identité des chiffres, aux aires du langage, où les nombres sont codés sous forme de chaînes de mots, et aux aires du «sens quantitatif» où leurs quantités et leurs relations de proximité sont retrouvées. Nous commençons à saisir les principaux nœuds de ce réseau, mais deux questions demeurent en suspens. Quels mécanismes assurent la cohérence des informations numériques réparties et nous donnent l'impression subjective d'effectuer un calcul unique? Comment ces mécanismes de calcul élémentaires cèdent-ils la place, au fil de l'éducation mathématique, à des représentations

cérébrales d'objets mathématiques beaucoup plus élaborés et jusqu'à l'extraordinaire fluidité calculatoire et à la créativité mathématique d'un Einstein, d'un Poincaré ou d'un Ramanujan? Peut-être Hadamard, s'il prenait connaissance de ces interrogations, serait-il frustré de constater que ses questions les plus fondamentales demeurent sans réponse. Il éprouverait sans doute aussi quelque satisfaction à constater que ses méthodes introspectives sont désormais remplacées par de solides techniques expérimentales issues de la neurobiologie et de la psychologie cognitive.

Stanislas DEHAENE est chargé de recherches à l'unité INSERM 334, dans le service hospitalier Frédéric-Joliot du CEA à Orsay.

J. HADAMARD, *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique*, éditions Gauthier-Villars, Paris, 1975.

S. DEHAENE et L. COHEN, *Towards an Anatomical and Functional Model of Number Processing*, in *Mathematical Cognition*, n° 1, pp. 83-120, 1995.

M. GAZZANIGA, *Le cerveau social*, éditions Odile Jacob, Paris, 1996.

Le cerveau en action : l'imagerie cérébrale en psychologie cognitive, sous la direction de S. DEHAENE, Presses universitaires de France, Paris, 1997.

S. DEHAENE, *La bosse des maths*, éditions Odile Jacob, Paris, 1997.

Peut-on sauver les forêts tropicales ?

RICHARD RICE • RAYMOND GULLISON • JOHN REID

Une gestion «durable» des exploitations forestières tropicales peut réduire la biodiversité. La constitution de réserves serait un mode de préservation plus efficace.

La destruction des forêts tropicales humides est une catastrophe écologique : ces habitats luxuriants abritent une flore et une faune très variées, dont les biologistes n'ont encore étudié qu'une infime partie. L'une des causes principales de cette destruction est l'abattage des arbres exotiques dont le bois a une grande valeur.

Comment concilier les intérêts économiques des exploitants forestiers et la conservation de la forêt ? Cette dernière serait-elle préservée par une réglementation plus stricte de l'abattage des arbres et par la replantation des espèces d'arbres coupées ? Il y a quelques années, nous aurions accepté l'idée, car cette pratique concilie l'intérêt des populations locales et la biodiversité. Toutefois, nous avons changé d'avis depuis que nous observons des exploitations forestières en Amérique du Sud : la régénération, naturelle ou artificielle, des ressources forestières ne protège pas la forêt, et elle n'est pas rentable.

Dans la plaine bolivienne, l'Organisation internationale du bois tropical étudie la durabilité des méthodes d'exploitation dans la Forêt de production permanente Chimanés, qui s'étend sur 500 000 hectares de forêt humide amazonienne. La principale essence de bois exploitée dans cette région

est l'acajou du Honduras (*Swietenia macrophylla* King). Nous avons découvert que les jeunes plants d'acajou ne poussent et ne prospèrent que sur des zones bouleversées par des événements naturels, notamment près de rivières dont des crues récentes ont nettoyé les rives et enfoui la végétation sous une épaisse couche de sédiments. Par suite, les acajous poussent par groupes de même âge et de même taille, assez distants les uns des autres. Dans une seule de ces zones, tous les arbres atteignent une taille commercialisable au même moment : une exploitation non réglementée aboutira donc inéluctablement à la coupe de tous les arbres les plus âgés.

Même si les forestiers ne coupaient pas tous les acajous, la croissance naturelle ne suffirait pas au remplace-

ment des arbres récoltés : les jeunes plants d'acajou (et de quelques autres essences tropicales) ne poussent pas à l'ombre de la forêt tropicale dense, de sorte que l'intervention humaine serait indispensable. Les exploitants devraient créer des conditions favorables au développement de nouveaux plants d'acajou en ouvrant de larges espaces dans la forêt, comme la nature le fait parfois. Le travail nécessaire serait gigantesque et devrait en outre s'accompagner de coûteux «nettoyages» périodiques, afin d'éliminer les espèces concurrentes de l'acajou. Au total, les interventions perturberaient une si grande surface de forêt que l'objectif global de conservation serait compromis. La préservation de l'acajou réduirait la diversité biologique de la forêt.

D'autre part, nous avons calculé que l'exploitation durable de la forêt Chimanés serait moins rentable. Les forestiers ont probablement fait le même calcul : ils appliquent des règles d'exploitation durable dans moins de 0,12 pour cent de leurs concessions tropicales. La plupart du temps, ils abattent le plus vite possible les arbres de plus grande valeur marchande, sans se préoccuper de l'état des bouquets d'arbres résiduels et sans investir dans leur régénération. Le nombre d'essences ex-



1. DES GRUMES D'ACAJOU CENTENAIRE attendent d'être découpées dans une scierie bolivienne. L'acajou (*Swietenia macrophylla* King), l'une des essences tropicales les plus précieuses, est exploité dans de nombreuses régions d'Amérique centrale et du Sud, notamment au Guatemala, au Belize, en Bolivie, au Pérou et au Brésil.

traites va de une à 80 ou 90 (lorsqu'il existe une demande pour une grande variété d'espèces).

Couper est plus rentable

Afin de comprendre cette attitude, comparons les rentabilités de la coupe immédiate des arbres accompagnée d'un placement du produit de la vente, et du maintien des arbres sur pied, leur valeur augmentant avec leur volume. Dans le premier cas, les taux d'intérêt donnent la mesure du profit. Dans les pays en développement, les risques étant considérables et les capitaux rares, les taux d'intérêt réels sont souvent élevés : 17 pour cent en moyenne ces dernières années, en Bolivie. Les sociétés qui réalisent rapidement leur actif placent leurs profits immédiatement et obtiennent des rendements permanents élevés.

La conservation des arbres sur pied est d'un rapport inférieur : entre 1987 et 1994, l'augmentation réelle du prix de l'acajou a été en moyenne de un pour cent par an, tandis que la croissance annuelle en volume des arbres de taille commercialisable est inférieure à quatre pour cent. Au total, la valeur des acajous (ainsi que de la plupart des autres essences commerciales des régions tropicales américaines) augmente au plus de quatre à cinq pour cent par an. Le gain est donc quatre fois inférieur à celui d'un placement en Bolivie.

En outre, la valeur des arbres sur pieds peut s'effondrer si le vent, le feu ou une maladie les détruit, ou si le gouvernement décide de limiter l'exploitation forestière. Le choix de ne pas couper les arbres est donc un investissement incertain, dont le rendement est, au mieux, égal à celui d'un placement sûr (dans un pays riche) de l'argent tiré de l'abattage des arbres. Les exploitants forestiers, comme la plupart des investisseurs, évitent les

2. CES DEUX ZONES FORESTIÈRES SONT EXPLOITÉES, mais les dégradations sont très différentes. Des forestiers pratiquant une exploitation conforme à une réglementation stricte ont abattu la plupart des arbres de cette zone de l'île de Vancouver, au Canada (*en haut*) ; paradoxalement, les forestiers de Bolivie du Sud (*en bas*), soumis à un faible contrôle gouvernemental, n'ont coupé qu'une infime partie de la forêt renfermant des espèces de valeur marchande élevée.



Michael M. Stewart



Robin B. Foster

placements à risques dans les pays en développement sans la contrepartie de taux d'intérêt élevés. Dans la région de Chimanes, l'abattage non limité est deux à cinq fois plus rentable qu'une coupe qui permettrait une production d'acajou continue et durable. Les exploitations forestières ont donc adopté l'approche financièrement la plus rationnelle : elles récoltent tout l'acajou disponible, sans investir dans la régénération qui garantirait de futures récoltes, puis elles exploitent successivement toutes les essences qu'elles peuvent vendre en faisant des bénéfices.

Dans les pays en développement, les États ont peu de moyens pour lutter contre ces pratiques. Ainsi, en Bolivie, le budget de l'Office national des forêts est de moins de 1,70 franc par hectare de terres administrées et par an. Les organismes de contrôle boliviens ont beaucoup de difficultés à contrebalancer les avantages financiers que représente la coupe de tous les arbres de valeur en une seule fois.

Ces pratiques détruisent-elles la forêt? Dans la région de Chimanes

l'acajou est menacé, mais l'exploitation forestière a peu de conséquences sur l'ensemble de la forêt. Un ou deux acajous en moyenne poussent sur une parcelle de dix hectares : la construction de routes, l'abattage et l'enlèvement des grumes détruisent moins de cinq pour cent de la forêt. L'exploitation forestière actuelle est beaucoup plus respectueuse de l'environnement qu'une gestion durable qui nécessiterait des récoltes plus intensives d'une plus grande variété d'essences : cette dernière doublerait les dégradations.

Une durabilité destructrice

Ainsi la durabilité est un mauvais critère d'évaluation des dégâts environnementaux de l'exploitation forestière. L'idéal serait bien sûr que les sociétés forestières régénèrent la forêt qu'elles exploitent, sans la dégrader. Toutefois, compte tenu des pratiques réelles, la biodiversité est mieux préservée par une exploitation non durable, mais qui détruit peu l'environnement, que par une exploitation durable et destructrice.

Les défenseurs de la nature, soucieux de préserver les forêts tropicales, proposent de nombreuses mesures. Toutefois, la plupart du temps, elles n'auraient pas les conséquences bénéfiques escomptées, car elles ne distinguent pas les avantages de l'abattage des forêts existantes de ceux de la régénération. À moins d'un étroit contrôle de l'État, qui peut seul gérer les forêts sur le long terme, les sociétés forestières ne développent que les activités bénéficiaires financièrement à court terme.

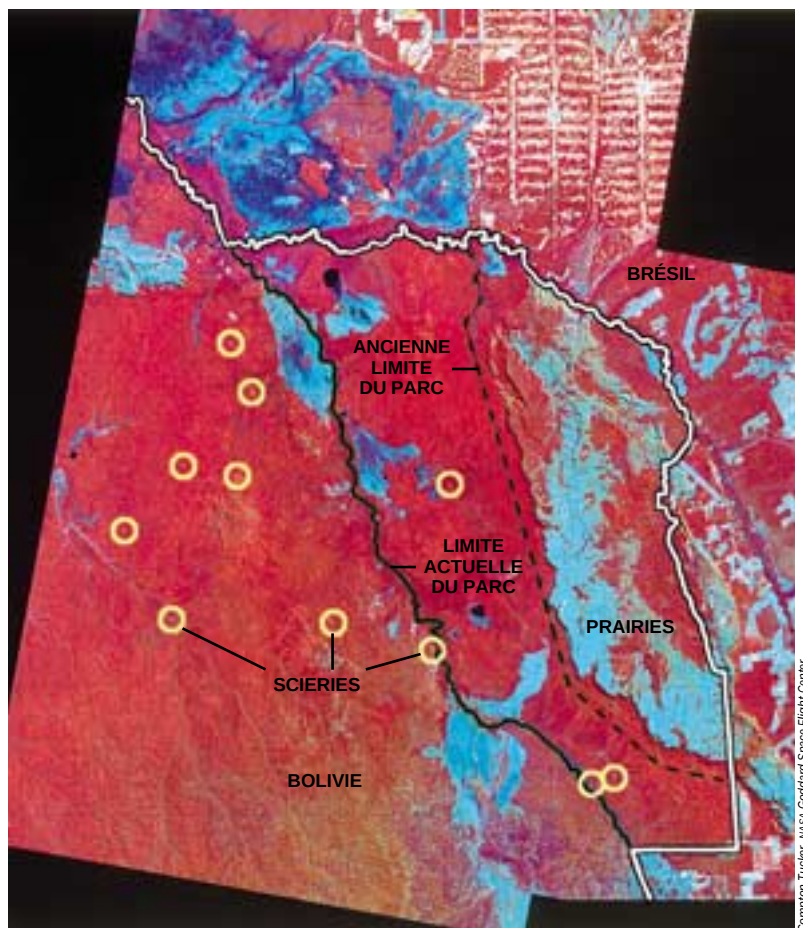
Ainsi, la promotion du commerce et de l'utilisation d'essences moins connues ne préserve pas les forêts contre le défrichage en vue d'une exploitation agricole des terres. Pourquoi serait-il plus rentable d'investir dans la régénération de nouvelles essences plutôt que dans celle d'essences que l'on exploite déjà? Le développement de marchés des espèces secondaires risque plus d'augmenter le nombre d'arbres récoltés que le souci de la conservation.

De même, les transformations du bois, qui créent de la valeur ajoutée (telles les fabrications de meubles



Jennifer C. Christiansen

3. UNE IMAGE SATELLITE (à droite) des forêts amazoniennes (zones en rouge) fait apparaître une faible dégradation due à l'exploitation forestière le long de la frontière, côté bolivien. La forêt a été exploitée sur l'ensemble de cette partie de la Bolivie, y compris dans le parc national récemment agrandi. Du côté brésilien, une forte colonisation et une agriculture de subsistance, le long des routes aménagées, ont fait disparaître la couverture forestière (zones en blanc), tout comme les clairières ouvertes pour l'élevage extensif. Les autres régions non boisées (en bleu) sont des marais et des prairies naturelles que l'on trouve à des altitudes supérieures.



Compton Tucker, NASA Goddard Space Flight Center

ou de contreplaqué), accroissent la vitesse et l'étendue de la destruction de la forêt, contrairement au but visé. En outre, le développement d'industries de transformation a fait baisser le revenu global de plusieurs pays, car d'importantes subventions sont nécessaires pour attirer les investissements requis.

La garantie, pour les sociétés forestières, d'un accès à long terme aux ressources forestières les inciterait-elle à investir dans des récoltes futures? Si cette garantie n'est pas accompagnée de subventions, les investissements pour la régénération ne deviendront pas rentables pour autant. Tout au plus réduit-elle le risque associé à des investissements plus lourds dans des équipements d'exploitation : elle encouragerait donc un abattage plus rapide des arbres.

Ainsi, en 1994, dans le Petén, province très boisée du Nord-Ouest du Guatemala, après une suspension de l'exploitation forestière décrétée par le gouvernement, des responsables guatémaltèques envisageaient d'attribuer de vastes étendues de forêt aux exploitants par des contrats d'une durée de 25 ans. Nous pensions que des concessions aussi longues ne rendraient pas les exploitations plus durables ni n'évitieraient l'extension des terres agricoles ; pis encore, nous prévoyions qu'elles perturberaient la récolte artisanale de gomme chicle, de feuilles de palmier d'ornement et de piments, produits d'exportation qui fournissent un revenu à des milliers de personnes. Nous avons donc adressé au gouvernement guatémaltèque un rapport où nous démontrions que les exploitations devraient beaucoup réduire leurs bénéfices pour gérer durablement ces forêts. Le projet a été suspendu, malgré la pression des industriels du bois pour sa réalisation.

Les limites du «label vert»

Une autre incitation à la protection des forêts est la création d'un «label vert», attribué aux forestiers qui respectent volontairement des normes environnementales. Le bois «vert» est vendu plus cher, mais il bénéficie d'un accès réservé à certains marchés. Toutefois, les surcoûts que les consommateurs acceptent de payer pour des produits «verts» sont inférieurs à dix pour cent : ils ne compensent

Vive la différence

Pourquoi protéger les forêts tropicales? En premier lieu, parce qu'elles abritent une partie de la biodiversité de la planète : écosystèmes, espèces et gènes. Les biologistes n'ont décrit que 1,4 à 1,5 million d'espèces vivantes, alors qu'il en existerait des dizaines de millions. La moitié des espèces décrites aujourd'hui vivent dans les forêts tropicales.

Quelques exemples illustrent la richesse biologique des forêts tropicales. Presque 600 espèces d'oiseaux vivaient sur une parcelle de cinq kilomètres carrés de forêt humide au Pérou (la France compte 537 espèces d'oiseaux). Dans la même jungle péruvienne, 43 espèces de fourmis vivaient dans le même arbre, autant que dans l'ensemble des îles Britanniques. Une parcelle de 1 000 mètres carrés de forêt tropicale contient en moyenne 300 espèces de plantes, contre moins d'une centaine sur une parcelle équivalente en région tempérée. La Guyane, territoire de 90 000 kilomètres carrés, est peuplée du même nombre d'espèces de plantes que la France métropolitaine, de 550 000 kilomètres carrés.

Cette diversité végétale et animale est vitale pour notre espèce : c'est une source irremplaçable de nourriture, de médicaments et de matières premières. Ainsi, les plantes sauvages portent des ressources génétiques nécessaires à la formation d'hybrides agricoles résistants aux ravageurs et aux maladies. Par ailleurs, près de 120 médicaments proviennent de 95 espèces végétales, dont 39 poussent dans les forêts tropicales.

La Convention sur le commerce international des espèces menacées d'extinction est un moyen de protéger la biodiversité. Cet accord de 1973 a contribué à éviter l'extinction des éléphants et des gorilles. La Bolivie, deuxième exportateur d'acajou après le Brésil, a récemment convaincu les États-Unis de soutenir la demande d'inscription de l'acajou dans l'Annexe 2 du traité, ce qui obligerait les pays à surveiller leurs exportations, afin de s'assurer que le commerce international ne met pas l'espèce en danger. Bien que les conséquences de cette proposition restent floues, nous espérons qu'elle attirera l'attention sur la préservation de la biodiversité.



M. Fogden, Bruce Coleman Inc.



N.O. Tomalin, Bruce Coleman Inc.



N.O. Tomalin, Bruce Coleman Inc.



J. van Worman, Bruce Coleman Inc.



R.G. Fairbanks



T. De Roy, Bruce Coleman Inc.



D. Lyons, Bruce Coleman Inc.

PARMI LES ESPÈCES PROTÉGÉES déjà répertoriées dans l'Annexe 2 de la Convention sur le commerce international des espèces menacées d'extinction, on trouve (de haut en bas), les orchidées, les grenouilles vénéneuses, les caméléons, les colibris, les coraux, le ginseng d'Amérique et les phoques à fourrure des Galápagos (à gauche).

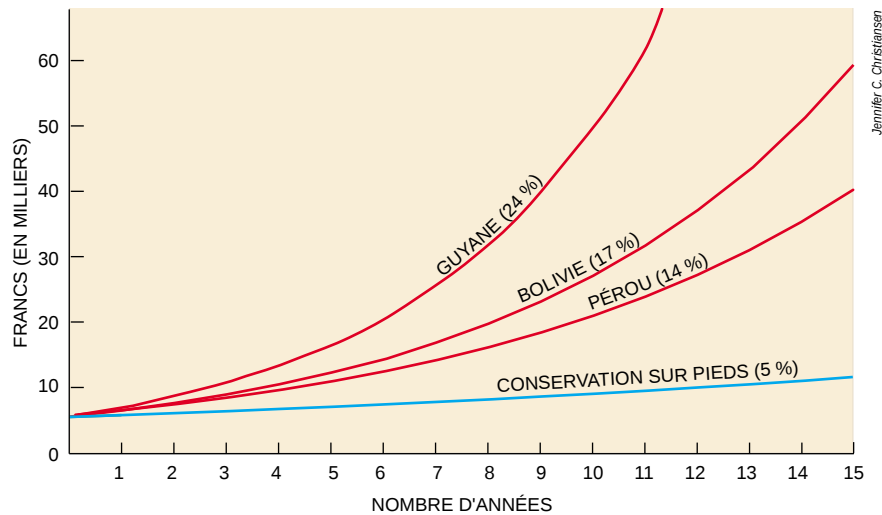
pas le manque à gagner d'une exploitation durable.

Des normes «vertes» favorisent effectivement la conservation de la forêt si leur respect coûte peu et s'il réduit vraiment la dégradation de l'environnement (une clause utile, par exemple, est l'interdiction de chasser les animaux de la forêt). Bien que la demande des consommateurs pour du bois «vert» soit encore faible, le marché de tels produits, avec un faible surcoût, pourrait être développé.

En attendant, restons prudents : les mesures les mieux intentionnées peuvent avoir pour seul résultat une accélération de la dégradation des forêts tropicales. Les écologistes doivent s'y résoudre : la gestion durable des forêts tropicales n'est pas pour demain. La logique économique et la faiblesse de la plupart des États des pays en développement sont des obstacles difficiles à surmonter.

Malgré ce constat pessimiste, nous faisons quelques propositions. En premier lieu, le remplacement des arbres coupés et la protection de la diversité biologique ne sont pas rentables aux taux d'intérêt élevés pratiqués dans les pays en développement, mais elles le deviendraient si des banques de développement ou des investisseurs motivés prêtaient à faible taux aux sociétés forestières. On pourrait aussi encourager la création de réserves dans les concessions exploitées et à leur périphérie. La surveillance de telles réserves, peu coûteuse, contribuerait à la conservation de la biodiversité. Plutôt que de simplement maintenir la couverture forestière, ces zones protégées permettraient de conserver la quasi-totalité des espèces qu'abrite la forêt, ainsi que des arbres âgés. L'idéal serait que ces terres soient voisines d'autres forêts intactes. Pour minimiser le coût, nous proposons de choisir des parcelles non exploitables, situées sur des pentes trop raides ou dans des forêts modérément exploitées dans le passé.

Bien sûr, les sociétés forestières s'opposeraient probablement à la création de ces réserves, même si elles étaient établies sur les terres les moins productives de leurs concessions. Le gouvernement bolivien s'est attaqué à ce problème par une incitation financière : il a créé une taxe forfaitaire d'exploitation (d'environ six francs par hectare et par an), dont sont exemptées les zones déclarées non exploitées par les forestiers.



4. LE PROFIT apporté par une récolte rapide des arbres et l'investissement des produits aux taux d'intérêt réels pratiqués dans les pays en développement (en rouge) est bien supérieur à celui de la conservation des arbres sur pieds (en bleu).

Ces zones peuvent atteindre 30 pour cent d'une concession. Cette mesure devrait encourager les exploitants à protéger leurs terres de faible valeur commerciale, et elle les habituera peut-être à l'idée de réserves environnementales.

Dans des forêts comme celle de Chimanes, où l'exploitation incontrôlée est sélective et où le défrichement est faible, le *statu quo* semble la meilleure des options disponibles. L'exploitation de la forêt de Chimanes se poursuivra probablement longtemps encore après l'épuisement de l'acajou : les pratiques actuelles de récolte sélective d'un grand nombre d'espèces commerciales, à raison d'une ou deux essences à la fois, pourrait durer plusieurs décennies. Le défi pour les protecteurs de l'environnement n'est pas tant de convaincre les sociétés forestières de pratiquer une exploitation durable, mais plutôt de protéger les forêts âgées tant qu'il en reste encore.

En outre, même si toute la forêt tropicale était exploitée de façon durable, elle resterait menacée. L'expansion des terres agricoles, le développement des routes et la colonisation sont, chacun, un danger considérable pour les forêts tropicales. La réduction des destructions associées serait plus efficace que la réorganisation de la production de bois.

Aucune solution miracle ne garantira la survie des forêts tropicales. Même nos propositions, notamment la création de réserves, seront inapplicables si, les ressources se raréfiant ou la demande augmentant, les forestiers exploitent les zones aujourd'hui non rentables. Cette proposition est toutefois applicable aujourd'hui, et elle aurait des conséquences immédiates en protégeant les forêts âgées. En outre, elle repose sur de simples restrictions des zones exploitées, faciles à contrôler et peu coûteuses, et non sur des règles techniques complexes d'exploitation.

Richard RICE est directeur à Conservation Internationale, à Washington. Raymond GULLISON est professeur au Collège impérial de Londres. John REID travaille à Conservation Internationale.

C.W. CLARK, *The Economics of Overexploitation*, in *Science*, vol. 181, n° 4100, pp. 630-634, 17 août 1973.

Jeffrey R. VINCENT, *The Tropical Timber Trade and Sustainable Development*, in *Science*, vol. 256, pp. 1651-1655, 19 juin 1992.

R.E. GULLISON, S.N. PANFIL, J.J. STROU-

SE et S.P. HUBBELL, *Ecology and Management of Mahogany (Swietenia macrophylla King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia*, in *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 122, n° 1, pp. 9-34, septembre 1996.

A.F. HOWARD, R.E. RICE et R.E. GULLISON, *Simulated Financial Returns and Selected Environmental Impacts from Four Alternative Silvicultural Prescriptions Applied in the Neotropics : A Case Study of the Chimanes Forest, Bolivia*, in *Forest Ecology and Management*, vol. 89, n°s 1-3, pp. 43-57, 1^{er} décembre 1996.

