

d'un animal est associé à un oscillateur, mais tous ces oscillateurs ne sont pas en phase).

Le physiologiste Charles Peskin fut un des pionniers des couplages d'oscillateurs. En 1975, il étudia la synchronisation des fibres musculaires du cœur et il proposa un modèle détaillé des systèmes à accumulation et décharge. Il proposa notamment une équation qui décrivait l'accumulation en fonction de la phase ; cette même équation décrit le comportement lumineux des lucioles. Dans le modèle de Ch. Peskin, le couplage n'est assuré que par les décharges : un oscillateur qui atteint son seuil de décharge envoie à ses voisins un signal qui avance leur phase vers le seuil de décharge. Quand cette stimulation fait dépasser le seuil d'un des oscillateurs, ce dernier émet à son tour un signal, et ainsi de suite.

Or les composés luminescents de certaines lucioles sont précisément modifiés par un mécanisme de ce type, la stimulation étant la lumière reçue d'autres lucioles. Quand une luciole perçoit le flash d'un congénère, elle est «excitée», et sa phase se rapproche de celle de la décharge. Ch. Peskin a montré que, pour deux oscillateurs à accumulation et décharge, avec des impulsions couplées, qui obéissent à son équation, la synchronisation survient généralement (si le déphasage initial est égal à des valeurs particulières, les flashes ne se synchronisent pas, et les émissions de lumière alternent plutôt ; cependant cet état est instable, et la moindre perturbation conduit à la synchronisation).

Ch. Peskin a également supposé qu'il en serait de même pour tout réseau d'oscillateurs couplés à accumulation et décharge. Dans un article de 1990, Renato Mirollo et Steven Strogatz ont démontré l'hypothèse de Ch. Peskin, mais pour une équation plus générale que la sienne. Sous réserve de quelques hypothèses techniques, R. Mirollo et S. Strogatz montrèrent que, pour un système composé d'un nombre quelconque d'oscillateurs couplés identiques, à accumulation et décharge, l'état final est le synchronisme (sauf pour quelques rares conditions initiales qui conduisent à un comportement périodique, et ces états sont instables).

Leur démonstration est fondée sur un phénomène nommé absorption, qui a lieu lorsque deux oscillateurs déphasés se synchronisent et restent synchronisés. Le couplage étant totalement symétrique (tous les oscillateurs agissent les uns sur les autres de la même façon), un groupe d'oscillateurs qui s'est accordé reste synchrone. Mathématiquement on démontre qu'une suite de telles absorptions doit finalement mettre en phase tous les oscillateurs.

Vous pouvez étudier des groupes de lucioles à l'aide d'un modèle simple, le «Jeu du flash solitaire», qui se joue avec des jetons que l'on déplace sur les bords d'un damier ou sur la plaque d'un jeu de Monopoly ; vous pouvez aussi construire un carré de six cases de côté (voir la figure 1). On n'utilise que le pourtour, où l'on marque un coin que l'on nomme «seuil», ou «coin flash». Les quatre côtés sont alors numérotés 1, 2, 3, 4 à partir de cette case, dans le sens des aiguilles d'une montre. Quelques jetons placés aléatoirement représentent les lucioles. La position d'une luciole par rapport au coin flash, dans le sens des aiguilles d'une montre, indique sa phase. Les lucioles qui atteignent le seuil émettent un flash, puis reconstituent leurs réserves de composé luminescent selon quatre règles.

Règle 1 : on déplace chaque luciole d'une case dans le sens des aiguilles d'une montre. Bien qu'on doive déplacer les lucioles les unes après les autres, considérez que leur mouvement est simultané.

Règle 2 : quand une luciole tombe sur le coin flash, on déplace toutes les autres lucioles dans le sens des aiguilles d'une montre ; l'amplitude du déplacement est égale au numéro de la rangée sur laquelle se trouve initialement la luciole déplacée. Ainsi une luciole sur le côté 3 est déplacée de trois cases dans le sens des aiguilles d'une montre. Toutefois, quand ce déplacement conduit une luciole à dépasser le coin flash, la luciole s'arrête au coin flash (cette étape représente le couplage). Les autres lucioles perçoivent le flash qui les avance vers leur seuil.

Règle 3 : quand une luciole atteint le coin flash à la suite du pas 2, on répète ce pas ; on déplace une nouvelle fois tous les jetons.

Règle 4 : appliquer à nouveau les quatre règles.

Notons que l'arrivée de deux lucioles ou plus sur le coin flash correspond à une synchronisation ; on les déplace ensuite en bloc. Dans l'exemple de la figure 1, c'est ce que font deux des lucioles. Si vous poursuivez cet exemple, vous observerez que les trois lucioles finissent synchrones.

Je soupçonne que, pour certaines tailles de damier, on trouve des placements initiaux qui conduisent à des comportements périodiques asynchrones qui correspondent aux états instables de la théorie de Mirollo-Strogatz. Le Jeu du flash est un modèle à nombre fini d'états plus simple que celui qui a été analysé mathématiquement, et il pourrait ne pas se comporter exactement de la même façon. À vous de jouer : faites-moi part de vos découvertes.



Lutte territoriale

CATHERINE PERRIN • RENAUD BOISTEL

Dans le brouhaha de la forêt guyanaise, une oreille exercée distingue, près des cours d'eau, le coassement répété du petit crapaud diurne au ventre rose *Atelopus franciscus*, de deux centimètres de long. Perché sur une feuille, à quelques dizaines de centimètres du sol, le mâle qui répète ce signal espère attirer les femelles situées à proximité. Ce marquage sonore indique aussi aux autres mâles que le territoire environnant, sur cinq à dix mètres carrés, est occupé.

Cet interdit n'est pas toujours suffisant : un concurrent un peu plus téméraire que les autres pénètre parfois sur le territoire du mâle qui coasse sur une feuille. Le rythme du coassement s'accélère en réponse au coassement de l'intrus, mais ce dernier, peu impressionné, grimpe sur une plante voisine (1) afin de se placer vis-à-vis de son adversaire. Après un échange de cris, le nouvel arrivant saute sur la feuille du mâle résident, qui riposte immédiatement en poussant un cri et en sautant sur l'assaillant (2). Il s'accroche à lui et essaie de l'expulser de la feuille. Pendant près d'une demi-heure, ils s'affrontent au corps à corps (3 et 4). Enfin, les deux crapauds tombent au sol (5). Celui qui est en position supérieure (ici, le défenseur) pousse un dernier cri, et le vaincu s'allonge complètement sur le sol, les pattes relevées, en signe de soumission. Le vainqueur se redresse, et remonte sur la feuille. Le perdant n'a plus qu'à s'éloigner à la recherche d'un autre territoire, vacant ou moins vigoureusement défendu (6).





Géographie

Couleurs de la Terre, des mappemondes médiévales aux images satellitales

Sous la direction de Monique Pelletier. Éditions du Seuil/Bibliothèque nationale de France, 1998.

Ce grand et bel ouvrage a paru à l'occasion de l'exposition de prestige organisée par la Bibliothèque nationale de France sur son site de la rue de Richelieu, à la fin de l'année 1998. Il aborde l'histoire de la cartographie sous un jour inédit, en prenant pour thème l'emploi de la couleur, et combat l'idée répandue que les cartes anciennes sont belles et fausses, alors que les cartes modernes seraient exactes, mais peu agréables à regarder.

Une douzaine de collaborateurs ont composé cette œuvre collective en s'attachant, chacun pour son époque ou sa spécialité, à mettre l'accent sur l'affirmation et sur la diversification des couleurs en tant que langage visuel. Si la France se trouve naturellement au cœur de ces études, les innovations d'autres pays d'Europe y sont aussi exposées, notamment dans les Pays-Bas du Nord et du Sud, avec également une ouverture sur le Japon ancien.

Les cartes léguées par le Moyen Âge sont avant tout des mappemondes

schématiques, illustrant des manuscrits enluminés, où les couleurs deviennent de plus en plus significatives. Deux exemples seulement : certains auteurs antiques pensaient qu'à chacun des quatre éléments devait être attribuée une couleur qu'il avait engendrée. Ainsi la Terre était-elle colorée en bleu pervenche, car le lin – dont on extrayait cette couleur – en était le fruit, mais les mers étaient figurées en pourpre, pigment produit par un mollusque qui vivait dans les eaux océaniques. Par ailleurs, dans le système ptoléméen des planètes, la Terre se voyait souvent attribuer une couleur sombre, attirée en raison de son immobilité au sein du mouvement perpétuel des autres planètes qui, elles, portaient des couleurs vives.

Avec les cartes-portulans, à la fin du Moyen Âge, naissent les premières cartes outils, à l'usage des navigateurs. Elles apparaissent en Méditerranée, chez les Catalans et les Génois, et leurs couleurs chatoyantes évoquent le Sud. Les Portugais, à leur tour, donnent aux cartes destinées à de hauts personnages l'aspect de luxueux tableaux. Il s'agit d'éblouir les commanditaires des expéditions au Brésil et en Inde. Les cartes, mises au service des conquérants et des marchands, doivent évoquer la promesse de fructueux profits.

Les rares cartes de l'école normande du XVI^e siècle s'inscrivent dans cette tradition. Trop belles pour naviguer, elles servaient de tableaux d'apparat. Leurs coloris se distinguent par la dominante des teintes froides, des bleus et des verts délicats, souvent rehaussés d'or. Elles font cependant peu de cas des artistes

qui les ont ornées : leurs noms sont restés inconnus.

L'imprimerie révolutionne la cartographie, mais avec un certain retard. On constate d'abord une continuité entre le manuscrit et l'imprimé, les mêmes hommes exerçant les fonctions d'enlumineur, d'imprimeur et de cartographe. L'impression en couleur étant presque impossible techniquement, les cartes gravées sont imprimées en noir et blanc, puis enluminées pour séduire un plus large public. L'âge d'or de la cartographie imprimée se situe aux XVI^e et XVII^e siècles, en Flandre et aux Pays-Bas, où les cartes, les atlas et les globes sont omniprésents dans les intérieurs, comme en témoignent les tableaux de Vermeer.

À la même époque, la cartographie française revêt un aspect plus austère, mais elle se développe aux XVII^e et XVIII^e siècles, dans une direction originale, grâce au perfectionnement des corps d'ingénieurs, militaires ou civils, rompus aux techniques du paysage. Une fois maîtrisées les difficultés de la géodésie, ils portent leurs soins au rendu du terrain, inventent les plans en relief et élèvent à son apogée la peinture au naturel de la géographie physique. L'École des ponts et chaussées, créée en 1747, instaure notamment, à partir de 1775, un «exercice de carte» qui porte sur un territoire imaginaire complexe, réunissant tous les éléments du savoir-faire du dessinateur et donnant lieu à de ravissantes et curieuses cartes utopiques. Les cartes des ingénieurs des Lumières sont des chefs-d'œuvre de méticulosité et de raffinement où, à la fin du XVIII^e siècle, l'amplification de certains éléments annonce déjà le romantisme.

Elles connaissent un aboutissement particulier dans le cadre de la diplomatie, lors des règlements des litiges territoriaux entre États, lorsqu'il faut démêler l'enchevêtrement des frontières. Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle et, surtout, dans le cadre du traité de Vienne, en 1815, se manifeste en effet la volonté de stabiliser les frontières. Les cartes des limites entre la France et les Pays-Bas deviennent alors des instruments juridiques et politiques à part entière, qui se démarquent des cartes strictement topographiques pour ne retenir que les éléments utiles aux négociateurs.

Avec le XIX^e siècle vient la grande époque de la cartographie thématique, dans l'élaboration de laquelle la couleur joue un rôle essentiel. Celle-ci perd peu à peu son rôle décoratif pour devenir un élément symbolique fondamental, résultant d'une synthèse intellectuelle : la plage



Carte réalisée vers 1460, selon le système de Claude Ptolémée.

Bibliothèque nationale de France



Ce Globe vert, réalisé vers 1506, serait le plus ancien document représentant l'Amérique.

de couleur résume une somme d'observations ponctuelles. L'invention du procédé de la chromolithographie, en 1845, permet de diminuer les coûts et d'ouvrir le champ de son utilisation.

Les cartes géologiques, inventées entre 1790 et 1830, adoptent assez tôt des conventions de couleurs durables, pour lesquelles le choix se fonde sur la ressemblance avec la nature. La comparaison des trois éditions successives de la *Carte géologique de France*, de 1889, 1933 et 1996, démontre la continuité du choix des couleurs.

Dans le domaine de la végétation et des climats, le naturaliste allemand Alexandre de Humboldt (1769-1859) est à l'origine d'innovations importantes ; mais, pendant longtemps, l'emploi de la couleur dans les cartes de végétation repose davantage sur les conseils de l'imprimeur que sur les principes des auteurs. La carte de la végétation de la France au 1/200 000, entreprise en 1945 marque un pas important vers l'utilisation raisonnée des couleurs.

Dans les cartes des phénomènes politiques, à la fin du XIX^e siècle, la couleur vient remplacer les drapeaux et les armoiries comme symboles d'appartenance politique. Le rouge est fréquemment employé, dans un contexte d'exacerbation des nationalismes et d'affrontements coloniaux, tandis que l'emploi des cartes se généralise dans les écoles et dans la presse.

L'époque contemporaine voit la fin de la cartographie descriptive, aux couleurs tantôt réalistes, tantôt symboliques. Les cartographes ont aujourd'hui à leur disposition des appareils photographiques perfectionnés, mais aussi des capteurs généralement embarqués sur des satellites artificiels qui enregistrent des tranches

de rayonnement électromagnétique situées au-delà du visible. Pour rendre perceptibles les mesures instrumentales faites dans l'invisible, de même que pour élaborer les cartes théoriques appelées « modèles », il leur appartient de choisir des couleurs et des nuances artificielles proposées par milliers par des logiciels infographiques et identifiables, chacune, par un numéro qui la distingue. « L'abondance de l'offre peut être source de cacophonie comme elle peut servir à révéler des espaces insoupçonnés », écrivent les auteurs de ce chapitre.

La cartographie de notre fin de siècle a enfin inventé, grâce à l'informatique, la carte animée, qui permet de passer des observations localisées à des prévisions géospatiales simulées, comme cela est proposé chaque jour aux téléspectateurs lors de la diffusion des bulletins météorologiques.

Mireille PASTOUREAU

Géologie

La subduction océanique

S. Lallemand. Édition Gordon and Breach Science, 1999.

La subduction, un des phénomènes le plus caractéristiques de la tectonique des plaques, correspond à l'enfoncement d'une plaque dans le manteau sous-jacent ; le phénomène est toujours accompagné d'une forte sismicité. Les zones de subduction actuelles se suivent sur quelque 50 000 kilomètres. Elles correspondent pour l'essentiel à l'enfoncement de plaques océaniques. Il existe aussi des subductions continentales, à l'origine de chaînes de montagnes, mais elles sont encore mal connues.

Étant moi-même un « subducteur continental », j'ai évidemment été très intéressé par la mise au point proposée par Serge Lallemand, car la plupart des subductions continentales ont été précédées par des subductions océaniques. Le travail de présentation était difficile, car, comme l'a signalé Xavier Le Pichon dans sa préface, « aucun auteur ne peut dominer seul un sujet aussi vaste ».

L'auteur signale d'entrée que son livre est essentiellement destiné aux étudiants de troisième cycle des universités et aux chercheurs de la spécialité. La difficile figure de la première page donne le ton. Puis, tout au long de l'ouvrage, l'accent est mis sur les aspects

mécaniques de la subduction, l'auteur utilisant beaucoup la modélisation.

Grâce à l'information abondante qui est présentée, le livre donne rapidement une idée claire de l'état actuel de la discipline. La présentation est éclairée par 130 figures, consacrées à des exemples variés, et complétée par une longue bibliographie, localement surabondante mais où j'ai déposé une étrange lacune, probablement due aux délais de publications : n'est pas mentionnée la célèbre publication de S. Grand, R. van der Hilst et S. Widiyantoro, parue en avril 1997, qui montrait pour la première fois que la subduction Ouest-américaine s'enfonçait dans le manteau jusqu'à 2 700 kilomètres de profondeur ; ce travail révolutionna nos idées sur la subduction.

Dès les premières pages, le lecteur constate que les méthodes d'investigation utilisées par les géologues océanologiques sont bien différentes de celles des géologues continentaux : comme les structures sous-marines se trouvent souvent à plusieurs kilomètres de profondeur, le spécialiste de subduction océanique doit raisonner sans la moindre roche (sauf dans le cas rarissime de sondage profond). Il se focalise alors inévitablement sur la topographie sous-marine (dont on tire de magnifiques cartes topographiques), sur quelques profils sismiques à travers les empilements sédimentaires, et sur la localisation et la signification des séismes. Comme la part d'incertitude est grande avec cette géologie sans roche, il utilise largement la modélisation.

Un intéressant chapitre est consacré au fonctionnement des zones de subduction ; se fondant sur une abondante documentation glanée dans toutes les parties du Globe, S. Lallemand s'efforce d'être pluridisciplinaire. Il tire de son exploration une série de coupes générales théoriques, assez parlantes, des zones de subduction. Quel dommage qu'elles soient souvent sans échelle, ou avec des échelles non respectées ! Chemin faisant, il utilise constamment la sismologie, mais parfois trop rapidement (le moment sismique, qui résume le cisaillement le long de la faille, n'est pas proportionnel au cube de la surface ; la magnitude des séismes ne varie pas de 0 à 10...).

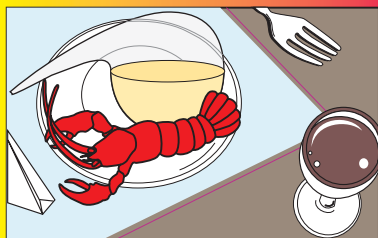
Puis il considère les prismes d'accrétion sédimentaires associés aux subductions, dont la structure est toujours compliquée. D'importants développements sont tirés de leur comparaison avec la très belle expérimentation analogique mise au point depuis longtemps par mon collègue J. Malavielle, à l'aide de couches de sables. L'auteur ne fait-il pas trop confiance à ces belles

FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

vous invitent
à écouter la chronique
de Marie-Odile Monchicourt :

Info Sciences

Tous les jours
sur **France Info**
à 15 heures 41,
17 heures 10,
20 heures 12,
22 heures 12,
et 23 heures 42



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 26 mai 1999.

FRANCE

info

expériences? Quand il écrit «il est démontré expérimentalement et vérifié sur de nombreuses marges», ne prend-il pas un raccourci dangereux?

Il n'en reste pas moins que les expériences analogiques comparables de S. Dominguez, à l'Université de Montpellier, sur le devenir des grands volcans sous-marins qui sont entraînés dans la subduction, sont impressionnantes. Dans ce cas, des aller-retour expérimentation-observation ont montré de façon convaincante que les effets de ces aspérités pouvaient être suivis jusqu'à des dizaines de kilomètres en arrière du front de chevauchement et jusqu'à des profondeurs de 10 à 20 kilomètres.

Le livre fait ensuite une large place à «l'érosion tectonique». Je trouve malheureux ce terme, utilisé par une partie de la communauté internationale, non pas pour évoquer l'érosion que tous les géologues continentaux connaissent bien, mais pour décrire un phénomène susceptible de se produire en profondeur : des subductions «ablatives», capables d'arracher des copeaux à la plaque supérieure et de les entraîner à grande profondeur ; le bord de la plaque serait ainsi peu à peu grignoté, de sorte que sa surface diminuerait notablement.

Après une longue discussion, l'auteur propose que l'érosion tectonique (= ablation) «est certainement un processus aussi répandu que l'accrétion sédimentaire». Cette conclusion me semble fort exagérée, car elle ne s'appuie guère que sur la subsidence des marges, sans envisager d'autres phénomènes.

L'ouvrage se termine de façon méritoire par des considérations générales, prenant en compte des régions émergées de l'Ouest Pacifique, et en allant jusqu'à la collision continentale. Cependant les problèmes restent traités avec la logique sous-marine ; on ne voit pas apparaître les raisonnements géologiques, à base de cartographie, de données, de paléogéographie, de structures... utilisés par les géologues aériens, à partir de l'observation d'un grand éventail de roches affleurant sur le terrain.

C'est ainsi que l'obduction (enfouissement d'un continent sous un océan), dont l'exemple le plus célèbre se trouve en Oman, est quasi oublié. On ne trouve aucune discussion sur l'hypothèse classique du métamorphisme de haute pression, qui admet que ce métamorphisme est lié à des subductions océaniques.

Malgré ses inévitables imperfections, cet ouvrage sera certainement utile, car il fera découvrir le monde particulier et attachant de la géologie sous-marine, avec ses diverses tendances, ses modes actuelles, et cela juste avant le bouleversement de la discipline dû à

la tomographie sismique. Il montrera que, grâce aux nombreux (et coûteux) projets internationaux, les spécialistes de la subduction océanique ne se cantonnent plus à une région. Dans un cadre international, ils sont informés sur toutes les zones de subduction actuelles de la planète en envisageant toujours les choses de façon globale... d'une manière qui ne se fait pas encore pour les subductions continentales.

Des progrès surviendront quand on poursuivra ces tendances, sans se limiter aux phénomènes actuels ou très récents. Il est temps de s'intéresser à l'histoire géologique des subductions qui ont eu lieu depuis au moins 150 millions d'années.

Maurice MATTAUER

Biologie

Biochimie : livre compagnon

R.I. Gumport, A. Jonas, R. Mintel, C. Rhodes et R.E. Koeppe (traduction de P. Kamoun). Flammarion, Médecine-Sciences, 1998.

Imaginons un moment un étudiant idéal qui se destine à apprendre la biochimie dans les grandes largeurs.

Outre son assiduité sans faille au cours magistral, il s'exerce et cerne mieux sa discipline lors des travaux dirigés. Dans la foulée, il assiste à quelques travaux pratiques, où il effleure de ses mains la genèse expérimentale du savoir et essaie, comme il peut, de concilier sciences et techniques.

Il se heurte alors au volume considérable des connaissances à intégrer, à l'art subtil de l'approximation, à la nuance capitale entre une hypothèse et un acquis. Il aborde le difficile mariage de la chimie et de la biologie, du macroscopique et du microscopique, du qualitatif et du quantitatif, de l'empirisme et de l'analyse. Finalement, il doit, vaille que vaille, se situer face au cours du professeur et à la trilogie «cours-TD-TP» : sa vision de la biochimie étant très fragmentaire, il conclut rapidement que seul le recours au livre lui permettra d'élargir son savoir et de mûrir sa compréhension. Quel livre choisir? Ils sont si nombreux et il en paraît presque chaque jour!

Lubert Stryer rallie depuis longtemps un grand nombre de suffrages, au grand bonheur de la maison Flammarion pour

l'édition française : étudiants et enseignants de tous pays sont unanimes pour vanter ce cours complet et récemment actualisé, plus particulièrement sur le plan de la biologie moléculaire. Depuis 1995, aux États-Unis, et, depuis cette rentrée universitaire, en France, le livre de ce maître incontesté de la biochimie est accompagné d'un autre ouvrage réalisé par un collectif d'universitaires américains. Cet autre ouvrage de 800 pages, le *Livre compagnon*, veut aider l'étudiant à s'évaluer par rapport au cours. Il pourra alors saisir inéluctablement et machinalement une somme de connaissances que ses prédécesseurs avaient péniblement ingurgitée, des effets de puits à électrons du phosphate de pyridoxal aux propriétés topologiques de l'ADN, des pompes à protons au chaperonnage des protéines, du bilan thermodynamique d'un chaînon métabolique au flottement des appariements codon-anticodon lors de la traduction. Il différenciera les mondes eucaryotes des mondes bactériens et comprendra aisément ce qu'un inhibiteur peut apporter à la compréhension d'un mécanisme réactionnel complexe, etc.

Il bénéficiera alors d'un texte remarquablement traduit, sans faiblesse. À ce propos, il pourra tout de même s'étonner que l'ADN et l'ARN aient gardé la terminologie anglaise ; il pourra aussi s'amuser du choix de certains termes tels que le mot tassage, qui évoque la compaction de la chromatine, ainsi que l'empilement des paires de bases dans la double hélice. En fin de compte, il réussira là où ses aînés ont généralement échoué : acquérir à la fois un solide fonds de culture en biochimie et en biologie moléculaire, et une vivacité d'esprit qui lui permettra de s'adapter à n'importe quel sujet d'examen de n'importe quel professeur.

Son travail sera récompensé par la réussite aux examens (l'indulgence des examinateurs ne sera plus nécessaire) et par une exigence supplémentaire vis-à-vis des enseignants, qui devront être particulièrement vigilants au cours de l'année pour éviter les bourdes. Pour ceux-ci, une lecture attentive des cours et des tests de notre duo *Stryer et Compagnon* évitera toute bévue et alimentera le débat au moment de la confrontation avec les étudiants.

Mais... évidemment, ces perspectives sont irréalistes. L'étudiant ne serait l'idéal précédemment décrit que s'il préparait ses cours, ce qui n'est pas le plus courant, et s'il cassait sa tirelire, ce qui n'est pas le plus facile... À moins que les bibliothèques n'achètent en masse ? Ne rêvons pas. L'étudiant devrait en outre faire preuve d'une ténacité et d'une

disponibilité implacables : à raison d'un chapitre par semaine (soit environ 50 pages pour l'ensemble des deux livres), il devrait consacrer à la biochimie une bonne dizaine d'heures en solitaire, auxquelles s'ajouterait une charge de travail équivalente s'il voulait rester au niveau dans les autres matières.

Là est la difficulté : il y a les autres matières. En pratique, l'étudiant sera alors contraint de limiter ses ambitions, soit à n'être qu'un perroquet, soit à réduire son champ de curiosité. En revanche, l'étudiant ne devra pas redouter d'incompatibilité entre le livre (américain) et le programme universitaire français : les enseignants du monde entier ont tous choisi les mêmes modèles.

Ainsi l'arrivée dans nos librairies du *Compagnon* de l'étudiant, seul livre d'exercices aussi complet en biochimie, accompagnant de surcroît un traité majeur, est une bénédiction. Aux enseignants de profiter de cette aubaine pour affûter l'esprit de l'étudiant et sa réflexion spontanée, véritable clé pour que celui-ci se transforme petit à petit en un biochimiste éclairé. Et s'il est prouvé que la lecture de ce type d'ouvrage est une garantie de réussite, les maisons d'édition et les biochimistes francophones pourront collaborer davantage pour aller plus loin que la publication de cours, et les prix baisseront. Simultanément l'école française de biochimie disposera de jeunes talents suffisamment armés pour faire face aux enjeux de la recherche et de la bio-industrie de demain. Il ne restera plus qu'à reconnaître la qualité de la formation par la recherche et à régler le problème des offres d'emplois. Mais je m'égare...

Gilles MIRAMBEAU

Sciences de la Terre

Histoires d'une mer au Sahara. Utopies et politiques.

René Letolle et Hocine Bendjoudi.
Éditions L'Harmattan, 1997.

Les chotts, ces immenses dépressions au fond couvert d'une croûte de sel et, parfois, d'un peu d'eau, sont aujourd'hui une des principales attractions touristiques du Sud tunisien (pour des raisons évidentes, les

chotts algériens, qui prolongent vers l'Ouest ceux de Tunisie, n'attirent guère les touristes, ces temps-ci). Depuis le siècle dernier, toutefois, on a voulu à plusieurs reprises leur trouver une toute autre utilité : le creusement d'un canal, à partir du golfe de Gabès, devait les inonder et les transformer en mer intérieure, source supposée de bienfaits climatiques et économiques. L'excellent livre de René Letolle et Hocine Bendjoudi raconte l'histoire aujourd'hui méconnue de projets qui, en leur temps, firent couler beaucoup d'encre ; il démonte, par la même occasion, les ressorts d'une utopie qui fut à la fois scientifique, technique, économique, politique et militaire.

Cette utopie de la mer saharienne prend ses sources dans une Antiquité presque mythologique, avec les récits d'Hérodote au sujet d'un mystérieux lac Triton, dont certains voyageurs européens, dès le XVIII^e siècle, voulurent trouver l'emplacement dans les chotts. Le motif de l'antique lac Triton, associé souvent à celui de l'Atlantide, revient périodiquement dans les nombreuses publications consacrées aux chotts depuis le début du XIX^e siècle.

C'est alors que commença l'exploration géographique et scientifique de ces régions arides, sous l'impulsion de la conquête de l'Algérie par la France. Rien de particulièrement aventureux, pourtant, dans les voyages de cette époque, sinon l'aventure intellectuelle suscitée par le mystère de ces dépressions situées en partie au-dessous du niveau de la mer. On sait aujourd'hui, comme l'expliquent les auteurs, que leur origine est liée à la formation de l'Atlas, elle-même conséquence de la dérive du continent africain vers le Nord. Le résultat actuel, dans ces bassins sursalés, est un écosystème particulier, auquel les populations locales se sont adaptées.

La grande question que se posèrent bientôt les explorateurs fut la suivante : dans le passé, les chotts n'ont-ils pas été occupés par la mer ? Leur topographie, leurs eaux salées l'indiquaient, ainsi que la découverte, sur leur pourtour, de couches contenant de nombreuses coquilles, fossiles ou non, réputées appartenir à des espèces marines. La controverse qui a longtemps fait rage s'est encore rallumée, naguère, même si les tenants de cette antique mer des chotts sont aujourd'hui très minoritaires. Cependant l'utopie technique et économique s'est nourrie de cette hypothèse hasardeuse ; au XIX^e siècle, les deux se trouvèrent mêlées.

Deux hommes furent les principaux acteurs de la tragi-comédie de la mer saharienne. L'un était un assez obscur officier de l'armée française, et l'autre

un entrepreneur et financier de haut vol. Le premier se nommait François Élie Roudaire, et le second n'était autre que Ferdinand de Lesseps. Roudaire avait été chargé, en 1872, d'un relevé topographique dans la région des chotts ; il en revint en voulant convaincre la France de l'intérêt d'une mer saharienne. Il fut appuyé par de Lesseps, auquel le percement de l'isthme de Suez avait valu un fauteuil à l'Académie des sciences, où les débats sur la mer saharienne furent vifs.

Toute cette affaire est narrée ici en détail. On voit comment Roudaire s'obstina, malgré les difficultés (les missions ultérieures montrèrent notamment que les chotts Djerid et Fejej, les plus orientaux, se trouvent au-dessus du niveau de la mer). Toutefois le projet fut soutenu par l'armée et par la marine françaises, qui voyaient dans la mer intérieure une possibilité d'un beau port de mer au Sahara et d'une barrière aquatique contre les pillards.

En 1882, une commission parlementaire finit par conclure qu'il n'y avait pas lieu d'encourager cette entreprise. Roudaire mourut en 1885 de fièvres contractées sur le terrain, et Lesseps eut bientôt d'autres chats à fouetter avec le scandale du canal de Panama. Le projet tomba... à l'eau pour resurgir dans *L'invasion de la mer*, de Jules Verne, mais aussi avec une nouvelle étude à la fin de la guerre d'Algérie : l'idée de la mer intérieure fut envisagée comme débouché pour le pétrole saharien et, aussi, pour inquiéter le gouvernement provisoire de la République algérienne (GPRA), semble-t-il. Une étude par une firme suédoise, en 1980, conclut à l'inutilité et au coût excessif d'un ultime projet algéro-tunisien.

Non contents de relater l'histoire de ces projets avortés, les deux auteurs ont examiné comment l'inondation des chotts situés au-dessous du niveau de la mer pourrait être réalisée et quelles seraient ses conséquences : ils concluent que le projet est réalisable, bien que coûteux, mais que ses effets sur l'environnement seraient désastreux, sans bénéfice aucun pour l'économie locale.

Les auteurs sont bien documentés, et leur livre comporte de nombreuses annexes et une belle bibliographie ; sa rigueur scientifique et historique ne lui nuit bien sûr en rien. Au-delà du récit passionnant d'une curieuse affaire à la fois scientifique, économique et politique, c'est une analyse pénétrante de la façon dont naît une utopie et de la manière dont elle peut résister à toutes les désillusions.

Il est donc possible qu'en dépit des études le vieux mythe du lac Triton renaisse un jour.

Eric BUFFETAUT

Biologie

Plantes transgéniques : les graines de la discorde

Sous la direction de P. Philippon et C. Tastemain. Éditions Elsevier, 1998.

Un avertissement précise clairement que ce livre de 157 pages rassemble des textes d'origines et d'intentions diverses, dont le sujet, les plantes transgéniques, défraie la chronique depuis la fin de l'année 1996, avec l'arrivée, dans les ports européens, de fèves de soja et de grains de maïs issus de plantes transgéniques. Ce livre conçu par des journalistes regroupe des articles parus dans la revue *Biofutur* et des résultats d'enquêtes récentes. Il ne se limite pas à une description des avancées scientifiques apportées par cet outil que représente la transgénèse végétale, mais élargit le débat aux choix socio-économiques suscités par le développement des plantes transgéniques.

Tout commence, naturellement, par une évaluation des potentialités scientifiques de la transgénèse végétale, suivie d'une première analyse et de leurs conséquences. Marc van Montagu, l'un des pionniers dans ce domaine, nous rappelle comment une bactérie naturelle du sol, *Agrobacterium tumefaciens*, à l'origine de l'induction de tumeur végétale, a été modifiée en outil efficace avec lequel les biologistes savent aujourd'hui transformer génétiquement des plantes d'intérêt agronomique.

Puis Philippe Bournat présente les deux grands types de méthodes pour introduire des transgènes dans le génome d'une cellule végétale : le transfert indirect, qui utilise des vecteurs biologiques comme les bactéries telluriques du genre *Agrobacterium*, et le transfert direct, qui met en œuvre des méthodes physiques et chimiques. Toutes ces méthodes sont fondées sur une propriété remarquable de la cellule végétale : la totipotence (une cellule végétale peut, dans des conditions de culture particulières, se différencier dans tous les types cellulaires qui composent une plante entière).

Plusieurs applications sont ensuite expliquées. Harry Smith décrit comment des tabacs transgéniques surproduisent le phytochrome A et augmentent la biomasse de leurs feuilles par rapport à celle de leurs tiges, lorsque ces plantes sont cultivées en densité serrée. L'ob-

jectif visé est d'augmenter la croissance des organes de stockage (semences, racines, tubercules) chez la plupart des plantes européennes de grande culture. À terme, certaines plantes transformées pourraient survivre dans des conditions de stress abiotiques comme la sécheresse, le froid, l'oxydation et la présence de métaux lourds. Julio Salinas et Friedrich Shoeffl expliquent comment l'activation d'un facteur de transcription et l'induction de gènes codant des protéines chaperonnes devraient protéger les cellules végétales de ces stress abiotiques.

La transgénèse permet également de protéger les plantes contre des pathogènes qui les agressent. Ainsi Michel Ravelonandro décrit comment des pruniers transformés qui deviennent résistants à un virus véhiculé par des pucerons présentent des symptômes qui rendent les fruits inconsommables. Dans cet exemple, les plantes ont acquis leur résistance à la maladie par insertion et expression d'un gène codant une protéine de la capsid virale.

Dans son *Plaidoyer pour la transgénèse*, Jeff Schell montre les promesses du génie génétique : compréhension des mécanismes qui gouvernent la croissance et le rendement des plantes aux stress environnementaux, amélioration des qualités nutritives ou gustatives des végétaux. On sait déjà produire des protéines riches en acides aminés indispensables en cultivant des tubercules de pomme de terre modifiés, et la tomate *Flavr Savr* mûrit plus lentement, ce qui allonge et sa longévité en rayon (ce résultat est dû au blocage d'une des étapes de la biosynthèse de la polygalacturonase, une enzyme qui dégrade les parois cellulaires au cours du mûrissement). Plus récemment, le mûrissement du melon a été contrôlé par blocage de la synthèse d'éthylène, une hormone végétale qui joue un rôle essentiel dans ce phénomène : un gène antisens de l'enzyme ACC-oxydase a été introduit dans ces melons transgéniques. Ces fruits transformés peuvent rester plus longtemps sur la plante, où ils se changent en sucres solubles, en vitamines et en molécules aromatiques volatiles.

L'obtention d'espèces transgéniques produisant des molécules sucrées « à basses calories » comme les fructosanes intéresse aujourd'hui les agronomes. De même, on doit au génie génétique des aubergines dépourvues de graines amères et qui, de plus, restent d'excellente qualité en conditions hivernales. Cette fois, le résultat résulte de l'introduction dans les plantes du gène *iaaM* d'une souche bactérienne de *Pseudomonas syringae* pv *savastanoi*, qui

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06
Tél : 01-55-42-84-00
<http://www.pourlascience.com>

POUR LA SCIENCE Directeur de la rédaction : Philippe Boulanger. Hervé This (Rédacteur en chef), Françoise Cinotti (Rédactrice en chef adjointe), Bénédicte Leclercq (Rédactrice en chef adjointe), Luc Allemand, Yann Esnault, Philippe Pajot, Loïc Mangin (Rédacteurs). Secrétariat de rédaction : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Céline Lapert. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Séverine Merviel et Christelle Dumas. Direction financière : Pierre Lecomte, assisté de Anne Gusdorf. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Camille Lamorte. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Ludovic Bot, Bettina Debû, Paul Decaix, Marc Dujardin, Françoise Ferré, Ivan Ineich, Philippe Janvier, Sönke Johnsen, Marie-Thérèse Landousy, Jean-Marc Levailant, Valérie Martin-Rolland, Claude Olivier, Guy Paulus, Christophe Pichon, Pierre Thomas.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press, Mark Alpert, Timothy Beardsley, Carol Ezzell, Marguerite Holloway, Wayt Gibbs, Alden Hayashi, Steve Mirsky, Madhusree Mukerjee, George Musser, Sasha Nemecek, Ricki Rusting, Sarah Simpson, Gary Stix, Paul Wallich, Philip Yam, Glenn Zorpette. President and Chief Executive Officer : Joachim Rosler. Chairman : John Hanley. Co-Chairman : Rolf Grisebach. Vice-président : Frances Newburg.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06
Tél. : 01 55 42 84 28.
Tél. : LIBELIN 202978F.
Télécopieur : 01 43 25 18 29

Étranger : Kate Dobson, 415 Madison Avenue, New York. N.Y. 10017 - Tél. (212) 754.02.62

SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Grémillon : 01 55 42 84 04.

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP

Henri Gibelin.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE POUR LA SCIENCE

Canada : Modulo - 233, avenue Dunbar Mont-Royal, Québec, H3P 2H2 Canada

Suisse : Servioli - 5, rue des Chaudronniers - 15 Postale 3663 - CH 01211 Genève

Autres pays : Éditions Belin - B.P. 205, 75264 Paris Cedex 06.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue «Pour la Science», dans la revue «Scientific American», dans les livres édités par «Pour la Science» doivent être adressées par écrit à «Pour la Science S.A.R.L.», 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L.

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.»

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de Copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris).

Nos lecteurs trouveront dans ce numéro des bulletins d'abonnement en pages 18A, 18B, 98A et 98B.

code la synthèse d'une autre phytohormone, l'acide indole-acétique. Certains de ces aspects sont développés dans les articles : *Ingrédients basses calories* de Leen de Leenheer et Sjef Smeekens, et *Des lignines sur mesure*, par Alain-Michel Boudet.

Autre intérêt, et non des moindres : les plantes transgéniques peuvent fournir des protéines à l'industrie pharmaceutique. Des vaccins comestibles ont été préparés à partir d'aliments qui contiennent des principes vaccinaux actifs, tels les antigènes de surface de l'hépatite B et l'entérotoxine d'*Escherichia coli*. Récemment les biologistes ont réussi à faire exprimer, dans le tabac, des gènes codant les sous-unités des immunoglobulines A sécrétées. Ces anticorps, extraits à partir de feuilles de plants de tabac transformés, étaient dirigés contre des déterminants antigéniques associés à la souche bactérienne *Streptococcus mutans* ; ils neutralisent ce micro-organisme pathogène qui cause les caries dentaires. La méthode génétique est un moyen économique d'immunothérapie passive : à quand des bâtons de réglisse ou des feuilles de menthe à mâcher pour lutter contre les caries dentaires ?

Patrick Philippon expose l'actuelle polémique concernant les risques environnementaux ou sanitaires, voire éthiques. Les organismes génétiquement modifiés (OGM) secouent les syndicats d'exploitants agricoles qui revendiquent une maîtrise correcte des risques éventuels sur la santé animale et humaine comme sur l'environnement ; un étiquetage clair et vérifiable ; une surveillance de la concurrence dans l'agriculture et dans ses filières. Les premières plantes transformées résistant aux herbicides ou résistant aux ravageurs ont suscité des inquiétudes. Le problème du transfert de gènes entre cultures transgéniques et plantes sauvages apparentées a été posé. Le colza, qui s'hybride spontanément avec les plantes sauvages comme la ravenelle ou la moutarde des champs, fait partie des plantes surveillées. La résistance à un insecte (le maïs *Bt* porte un gène de résistance aux insectes provenant de la bactérie *Bacillus thuringiensis*) ou aux herbicides (*Roundup/Glyphosate* et *Liberty/Basta/Glufosinate*) pourrait transformer certaines mauvaises herbes en super mauvaises herbes au potentiel invasif décuplé. Les effets des plantes transgéniques sur les écosystèmes sont également évoqués.

Les premières constructions génétiques utilisées, tel le maïs *Bt*, comportent un ou des gènes de résistance aux antibiotiques. Ici le problème soulevé

serait la possibilité de transmettre ce gène à une bactérie du rumen d'un bovin ou de l'intestin d'un consommateur de maïs et de provoquer l'apparition d'une souche résistante à cet antibiotique. Dans le domaine de la santé publique, le caractère toxique de certains éléments issus de plantes transgéniques est posé. Certaines protéines peuvent déclencher des réactions allergéniques chez des sujets sensibles : l'effet a été observé avec un soja transgénique ayant intégré un gène provenant de la noix du Brésil et codant une albumine riche en méthionine, un acide aminé indispensable.

Comment la transgénèse végétale pourrait-elle profiter aux pays en développement et comment pourrait-elle nourrir la planète ? Le chapitre 5 apporte des réponses diverses. Peut-on envisager de fournir des variétés résistantes à la sécheresse, aux maladies, tolérant des sols salés ? Quelle serait la dépendance de ces pays en développement vis-à-vis des fournisseurs occidentaux de matériel, de constructions génétiques, de semences chères et de variétés non replantables ? Enfin le chapitre 6 aborde la réglementation sur les conditions de dissémination des OGM dans l'environnement et de leur mise sur le marché. Toutes les réglementations suffiront-elles à convaincre les consommateurs ? À ce jour, en Europe, l'insistance des consommateurs pour obtenir un étiquetage obligatoire des aliments contenant des OGM témoigne d'une confiance très limitée sur ces nourritures du futur.

Ce livre intéressant présente, avec un juste équilibre, les avantages et les inconvénients que suscite l'émergence des plantes transgéniques ; il invite réellement un lecteur non initié à une réflexion personnelle sur cette évolution scientifique et ses conséquences. Tous les acteurs susceptibles d'être impliqués peuvent trouver écho de leurs préoccupations : chercheurs scientifiques, responsables de sociétés agroalimentaires, sélectionneurs, agriculteurs, écologistes, sociétés de distribution, consommateurs et citoyens. Dans leur forme, les différents articles se lisent facilement, seule une redondance de certains éléments de discussion peut sembler lourde ; mais la pédagogie n'est-elle pas une succession de répétitions ?

Francis DELMOTTE

La liste de tous les livres reçus en service de presse par la rédaction de *Pour la Science* est donnée sur notre site Internet, à l'adresse :

<http://www.pourlascience.com>