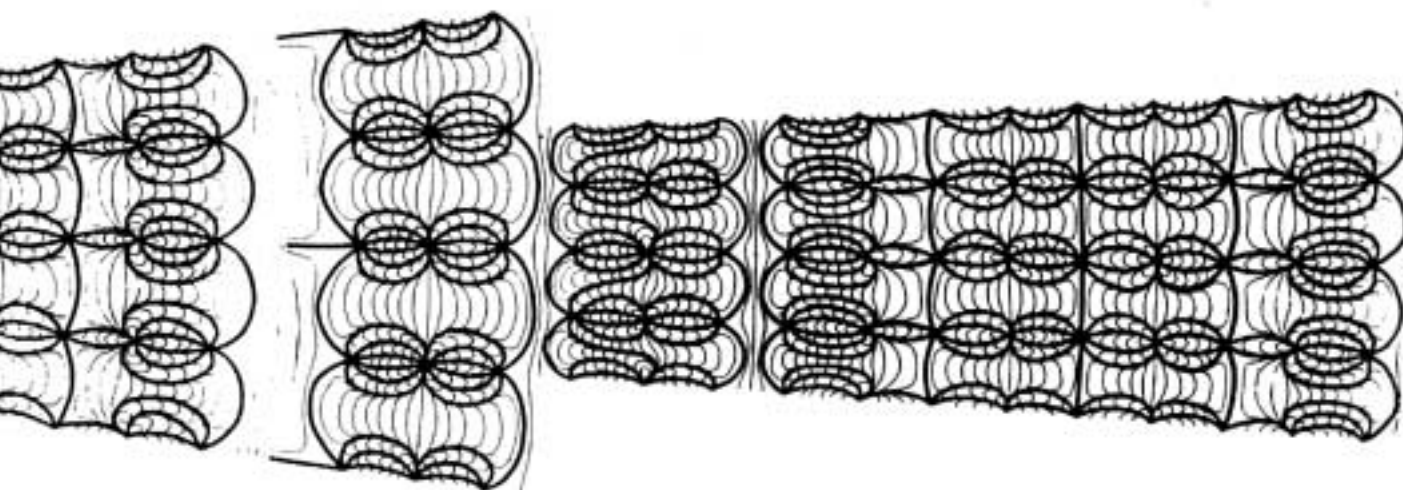




l'agrandissement d'un secteur qui permet de vérifier que les courbes intégrales couvrent effectivement la totalité du plan sans aucune lacune.

l'agrandissement d'un secteur qui permet de vérifier que les courbes intégrales couvrent effectivement la totalité du plan sans aucune lacune.

libre, ni ne disparaît vers l'infini, elle devra forcément se dérouler quelque part dans le plan lynx-lièvres.

– Cela va donner un drôle de graffiti.
– Justement pas, car la courbe ne peut pas se recouper. Elle ne peut pas non plus se coller contre elle-même, bien que les tangentes deviendraient égales en pareil cas. Il apparaît donc que cette courbe doit être refermée sur elle-même, et la solution serait alors de nature périodique, car cet état se reproduirait à chaque tour de courbe.

– C'est ce qui expliquerait le mouvement de balancier que l'on observe tous les dix ans entre les lynx et les lièvres ?

– Pour ainsi dire.

– Je n'en reviens pas ! Tu me racontes les histoires les plus absurdes sur des fractions de lièvre par seconde infiniment petites, tu affirmes que le hasard ne joue aucun rôle, tu me gâches le soleil parisien avec tes flèches directionnelles que l'on ne peut pas voir et avec tes points qui ne sont plus attractifs qu'abordés de côté, et tout ce non-sens finit par donner quelque chose qui colle avec la réalité ?
– Cela n'a rien d'étonnant. S'il est vrai que la nature ne cadre que très approximativement avec les théories mathématiques...

– Je dirais plutôt l'inverse...

– ... Il n'en reste pas moins que, dans le cas présent, la solution périodique reste stable, car le système est capable de reprendre son comportement périodique après une perturbation qui n'a pas été trop forte. Si, par exemple, un lièvre échappe de manière imprévisible aux griffes d'un lynx, cela n'aura à la longue aucune conséquence dramatique.

– Et que se passe-t-il si l'on libère d'un coup de nombreux lièvres au moment même où leur population est en train d'augmenter ?

– Alors, le prochain maximum de lièvres sera plus marqué, et le prochain cycle présentera des oscillations plus importantes, mais à la longue, le système s'équilibrera.

– Et si l'on fait la même chose au moment où les lynx sont en force ?

– Alors ils attaqueront les lièvres de plus belle. Et les retardataires seront condamnés à mourir d'inanition. Mais en principe, les règles qui s'appliquent au premier cas restent valables.

– Est-ce que cela veut dire qu'on peut calculer si un écosystème est stable ?

– En principe oui, à condition que le modèle mathématique se rapproche suffisamment de la réalité.

– Mais est-ce que vous, les mathématiciens, vous ne pourriez pas tout simplement partir de la réalité ?

– Nous n'aimons pas cela, c'est trop compliqué. Il nous est beaucoup plus simple de bricoler une théorie et de l'adapter ensuite à la réalité.

– Et si plus de deux espèces animales interviennent ?

– Dans ce cas, les choses se compliquent. La série de solutions périodiques stables n'est valable que dans un espace à deux dimensions. Nous nous retrouvons dans le cas du problème à N corps en mécanique céleste. Un soleil et une planète se déplacent sur des trajectoires bien établies l'un par rapport à l'autre, mais dès qu'un troisième corps céleste entre dans la danse, le chaos menace !»

La collègue d'Heidi vint nous rejoindre et commença à nous expliquer de manière détaillée comment deux mâles échidnés se disputaient les femelles. Je dus me faire à l'idée que Heidi ne se serait de toute façon pas intéressée à l'apparence remarquable d'un attracteur en trois dimensions – qui ne serait en fait ni bidimensionnel, ni tridimensionnel, mais se situerait

quelque part entre les deux, tout comme l'attracteur en forme de papillon de Lorenz, entre-temps devenu célèbre. Toujours est-il que de telles quantités sont définies dans le jargon spécialisé comme *étrange*.

Pendant que je subissais ma leçon de choses sur l'échidné, Heidi avait brusquement disparu. Avait-elle pris la fuite de peur d'entendre d'autres mathématiques ? Je dévalai les escaliers quatre à quatre et m'enfonçai sous terre jusqu'à la station de métro – pour la voir monter dans une rame et assister à la fermeture des portes du wagon...

Le métro parisien constitue un cas typique de solution périodique du problème de transport à courte distance. Afin de conserver sa stabilité à la solution et d'éviter que les voyageurs pressés ne retardent le départ en se précipitant au dernier moment, l'accès à certains quais est pourvu de portillons automatiques. C'est ainsi qu'on évite des perturbations qui risqueraient d'influencer trop profondément le système.

Je restais là, planté sur le quai, en me disant que je n'étais qu'une perturbation d'un système périodique qui était arrivée au mauvais moment.

Christoph PÖPPE est journaliste à la revue *Spektrum der Wissenschaft*.

Earl A. CODDINGTON ET **Norman LEVINSON**, *Theory of Ordinary Differential Equation*, McGraw-Hill, 1955.

Martin BRAUN, *Differentialgleichungen und ihre Anwendungen*, éditions Springer, 1991.

Edward BELTRAMI, *Von Krebsen und Kriminellen*, Vieweg, Brunswick / Wiesbaden, 1993.

Wilhelm SCHARNOWELL, *Schaubilder komplexer Funktionen*, à compte d'auteur, Dortmund 1983.

Géologie

Carte géologique de la France au millionième.

Éditions du BRGM, 1996.

La première carte géologique de la France au millionième a été réalisée en 1889, l'année de l'Exposition universelle de Paris ; elle fournissait la première synthèse géologique du territoire français, à une époque où l'exploitation du charbon et des minéraux était active. Quatre éditions lui ont succédé, en 1905, 1933, 1955, 1968, chacune correspondant à un progrès marquant de l'exploitation géologique de notre territoire et de l'interprétation des structures géologiques. Depuis le siècle dernier, la France avait successivement été couverte par des cartes au 1/500 000, au 1/320 000, au 1/80 000 et au 1/50 000. Aujourd'hui on dispose de cartes géologiques détaillées à cette échelle pour 85 pour cent du territoire français ; en vente partout, elles fournissent un inventaire géologique précieux.

La sixième édition est la première qui fasse la synthèse de cette nouvelle couverture géologique, au 1/50 000. Depuis plus de 100 ans, la façon d'aborder les problèmes s'est, naturellement, considérablement modifiée. On est progressivement passé d'une période exploratoire, essentiellement descriptive, à des périodes de plus en plus explicatives, dominées par des concepts renouvelés. Cette sixième édition est la première qui succède à la révolution de la tectonique des plaques et qui essaie de prendre en compte les nombreux modèles géodynamiques qui en ont résulté. Elle correspond donc à une étape importante de l'étude de notre patrimoine minéral.

La nouvelle carte donne immédiatement une impression de nouveauté et de progrès. Les couleurs sont lumineuses et artistiquement contrastées. Les 32 couleurs utilisées pour les roches sédimentaires respectent la succession des teintes adoptée sur le plan international et permettent d'avoir une information immédiate.

On peut la lire de trois façons. C'est d'abord une carte murale qui, à distance, donne une bonne idée d'ensemble de la géologie de la France. C'est ensuite une carte à contours géologiques fins, beaucoup plus précis qu'auparavant ; elle fournit des informations régionales qui la rendent digne d'être emportée sur le

terrain. C'est enfin un document à déchiffrer avec soin, parfois à la loupe, car il contient de nombreuses informations, exprimées par des symboles et par des surcharges. Passons en revue les plus importantes des nouveautés.

Les bassins : des courbes de niveau discrètes indiquent, en tout point, l'épaisseur approximative des sédiments accumulés dans les bassins et dans leur prolongement en mer. On voit ainsi le bassin de Paris se prolonger dans la Manche, et l'on apprécie la forte épaisseur des sédiments du bassin du Sud-Est (jusqu'à dix kilomètres !) et du Tertiaire du golfe du Lion.

Des informations structurales : sommaires dans les éditions précédentes, les informations structurales prennent ici une grande importance ; leur expression est fondée sur l'excellente carte tectonique de la France au millionième, qui fut publiée en 1980. On a d'abord figuré avec soin beaucoup plus de failles, en distinguant, pour la première fois, mais hélas pas systématiquement, les chevauchements, les décrochements et les failles normales, classées par importance dans une certaine mesure. La lecture de la carte s'en trouve améliorée. Les grands charriages apparaissent immédiatement dans les Alpes, où seuls les spécialistes s'y retrouvaient, et, surtout, on voit bien ceux de la chaîne hercynienne, qui s'étendait dans le Sud de l'Europe il y a plus de 300 millions d'années et dont on ne montrait guère, jusqu'à présent, que les aspects pétrographiques, en négligeant totalement la tectonique.

Tout a changé, et, à la suite d'une révolution cartographique, le visage du Massif central a été entièrement modifié. On est enfin en présence d'une chaîne à part entière, avec de grandes nappes de charriage. Ce changement est d'autant plus important que de nouveaux symboles structuraux ont été créés pour la tectonique profonde, concernant les gneiss, les micaschistes et les granites. On a figuré, pour la première fois, la trace de la «foliation» (ou débit en feuillets des roches déformées à chaud). On trouve en outre des indications précieuses sur les roches métamorphiques. Des symboles en distinguent les principaux faciès (schistes verts, schistes bleus, amphibolites, granulites, éclogites), localisant par une étoile la présence de coésite (variété de «quartz» de haute pression), qui s'est formée à plus de 100 kilomètres de profondeur. On localise ainsi les régions où se sont produites des subductions continentales et où l'exhumation des roches profondes a été rapide.

Les granites : ils ont été traités d'une manière nouvelle. Jusqu'alors, on avait

pris l'habitude de réserver les couleurs rouges pour représenter les différentes variétés de granites, sans se préoccuper de leur âge. Ainsi pouvait-on repérer du premier coup d'œil les massifs de granites, mais avec l'inconvénient de n'avoir aucune précision sur leur âge. Différentes nuances de rouge furent utilisées pour donner des informations pétrographiques et géochimiques, et tout le monde s'habitua à cette double signification des couleurs – l'une chronologique pour sédiments, l'autre pétrographique pour granites.

Les auteurs de la nouvelle carte ont innové : ils ont introduit pour les granites 23 couleurs, à signification chronologique, qui se trouvent en compétition avec les 32 couleurs de sédiments. Les teintes vont du brun au rouge, violet pour les granites anciens, et hélas au jaune pour les granites alpins, ce qui ne manquera pas de perturber les géologues, pour qui le jaune correspond, depuis toujours, à des sédiments d'âge tertiaire. Un tableau «radiochronologique» donne la correspondance entre les 23 couleurs de granites et l'échelle en millions d'années. C'est ainsi, par exemple, que la couleur 19 correspond à un intervalle compris entre –305 et –285 millions d'années. En mettant l'accent sur l'âge des granites, cette innovation fournit sans contester une information nouvelle ; toutefois l'essai ne me paraît pas encore concluant, pour les raisons exposées plus loin.

Considérations géodynamiques : pour la première fois, des informations géodynamiques sont exprimées par des symboles superposés aux couleurs des roches plutoniques et volcaniques. On distingue ainsi le magmatisme de l'«extension continentale (qui se manifeste par des fossés d'effondrement), de «marge active» (bordure de continent sous lequel s'enfonce un océan), de l'«accrétion océanique» (qui se produit aux rides médio-océaniques) et d'«orogène de collision» (chaîne qui s'érige quand deux continents entrent en collision, l'un s'enfonçant sous l'autre). Ces indications permettent au lecteur de se raccorder aux modèles géodynamiques en cours. On repère ainsi, rapidement, les nombreux restes de l'océan alpin et les rares témoins des océans hercyniens.

Cependant la notion de collision devrait être explicitée. Dans les Vosges, par exemple, le volcanisme du Carbonifère inférieur est à la fois de «marge active» et de «collision» ; en Corse du Nord, il n'est pas raisonnable d'attribuer le volcanisme extensif du Fango à la collision. Les hésitations sont aggravées par les «cartouches structuraux», qui présentent, à l'échelle du

1/8 000 000, des schémas très peu géodynamiques des «cycles» (c'est un mauvais terme) alpins et varisque. On n'y évoque pas les sutures océaniques hercyniennes, ni les nappes du Massif central ni le grand déplacement Espagne-Europe de la faille Nord-pyrénéenne... Et peut-on faire de la géodynamique sans coupes?

Cette rapide présentation montre que la nouvelle carte fournit un très grand nombre d'informations nouvelles. C'était un projet ambitieux, rompant avec les habitudes, et il était inévitable qu'une telle innovation se fasse avec quelques imperfections, que j'ai jugé utile de présenter afin de préparer l'avenir.

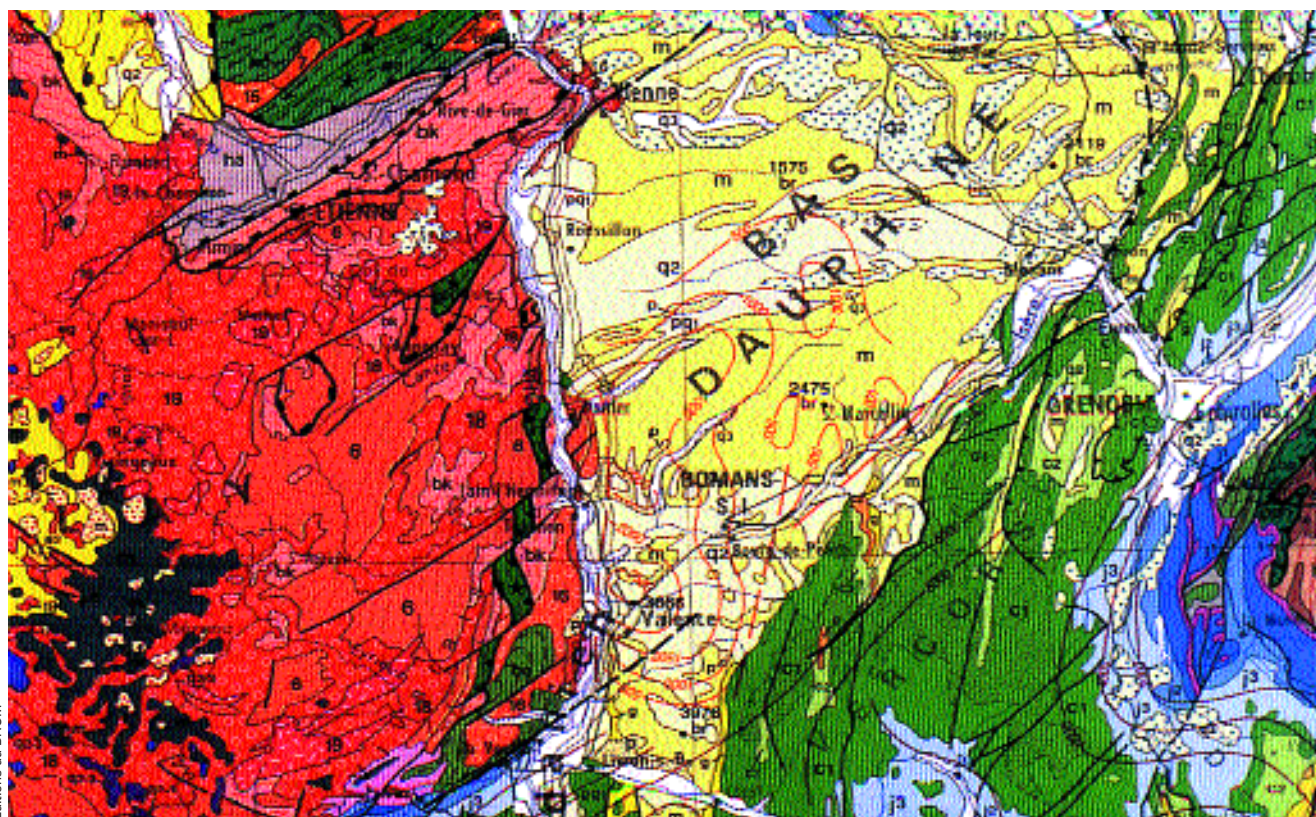
L'innovation qui a consisté à juxtaposer deux échelles de couleurs risque de dérouter les utilisateurs : il est difficile de s'y retrouver dans le lot de couleurs choisies pour les granites, dont la graduation ne fournit pas de message chronologique et visuel clair. C'est ensuite, et surtout, parce que les granites sont encore assez mal datés et que beaucoup d'âges retenus sont probablement inexacts. Au lieu des 16 subdivisions adoptées pour l'ère primaire, trois ou quatre auraient suffi, précisées, le cas échéant, par un nombre en millions d'années (plus facile à modifier que la couleur). On considère encore,

trop souvent, que les résultats radiochronologiques obtenus par des mesures physiques effectuées au spectromètre de masse sont nécessairement des résultats quantitatifs incontournables. Il ne faut pas oublier que l'on ne sait pas toujours ce que l'on date : lorsque plusieurs événements thermiques se sont succédés, lequel a laissé son empreinte? On ne le sait que si l'on utilise simultanément plusieurs méthodes, que l'on applique à plusieurs minéraux. Or, dans la chaîne hercynienne française, on n'a généralement utilisé qu'une seule méthode, et on a souvent effectué les datations en dosant les isotopes 39 et 40 de l'argon, qui ne donnent que des âges minimum, difficiles à interpréter. Il eut mieux valu utiliser plus systématiquement la datation à l'uranium et au plomb, beaucoup plus fiable. En un mot, le BRGM et toute la communauté géologique française n'ont pas eu une politique de datations ; nos excellents géochronologistes exportaient leurs compétences dans des pays lointains, mais la situation semble changer...

Les idées à la mode sont également risquées : les cartographes n'ont, à mon sens, pas maîtrisé la notion d'extension, très présente sur la carte, parce qu'ils se sont laissé influencer par un concept déjà dépassé et, donc, mal venu pour

une carte qui durera 20 ans. On a multiplié les «failles normales dites de détachement» dans la croûte ductile, en adoptant l'hypothèse fautive qu'il existe de nombreuses failles normales, dues à l'écoulement sous leur propre poids des reliefs des chaînes et, notamment, de la chaîne hercynienne. On a ainsi imaginé et dessiné des failles qui n'existent pas. Le plus bel exemple est celui de la belle faille qui limite le célèbre bassin carbonifère de Saint-Étienne (dont on a hélas supprimé les charriages), au Sud : elle a été figurée en «faille normale, dite de détachement» de faible pendage (ou faiblement pentée – environ 30 degrés), alors qu'il s'agit d'une très belle faille de décrochement verticale. La même erreur a été faite dans la Montagne noire, à l'Ouest de Lodève, et dans bien d'autres régions. De fil en aiguille, cette mode a finalement conduit à une aberration ; au Nord-Est de Toulon, on a transformé en faille normale une des plus spectaculaires structures compressives formées, il y a 40 millions d'années, au front de la chaîne des Pyrénées : le décollement provençal. Ce n'est pas acceptable.

En définitive, en reprenant l'unique symbole des Anglo-Saxons (caractérisé par de petits rectangles noirs) pour les failles normales de détachement ductile comme pour les failles normales cas-



Extrait de la carte géologique montrant une partie du Massif central granitique, un bassin d'âge tertiaire et la partie frontale de la chaîne des Alpes.

POUR LA SCIENCE

8, rue Férou 75278 PARIS CEDEX 06

POUR LA SCIENCE Directeur : Philippe Boulanger. Rédaction : Philippe Boulanger (Rédacteur en chef), Hervé This (Rédacteur en chef adjoint), Françoise Cinotti (Rédactrice - Secrétaire générale de la rédaction), Bénédicte Leclercq, Luc Allemand, Yann Esnault, Philippe Pajot. Secrétariat de Rédaction : Annie Tacquet, Pascale Thiollier, Marion Aguttes. Direction Marketing et Publicité : Henri Gibelin, assisté de Séverine Merviel. Direction financière : Pierre Lecomte. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Delphine Savin. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Nicole Bontemps, Jean-Claude Daniel, Paul Decaix, M. de Keersmaecker, Christian de Namur, Olivier Giraud, Évelyne Host-Platret, Michel Lagües, Anne Masé, Claude Olivier, Guy Paulus, Pierre Pfeiffer, Jacques Pradel, Dominique Schwartz.

SCIENTIFIC AMERICAN Editor : John Rennie. Board of editors : Michelle Press, Timothy Beardsley, Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, John Horgan, Kristin Leutwyler, Philip Morrison, Madhusree Mukerjee, Sacha Nemecek, Corey Powell, Ricki Rusting, David Schneider, Gary Stix, Paul Wallach, Philip Yam, Glenn Zorpette. Publisher : John Moeling. Chairman and Chief Executive Officer : John Hanley. Corporate Officers : John Moeling, Robert Biewen, Anthony Degutus.

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Susan Mackie, assistée de Anne-Claire Ternois, 8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06 Tél. (1) 46 34 21 42.

Télex : LIBELIN 202978F.

Télécopieur : 43 25 18 29

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

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 : GM Diffusion - Rue d'Etraz, 2 - CH 1027 Lonay

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, en pages, centrales, un encart publicitaire Encyclopaedia Universalis et, en pages 18A, 18B, 98A et 98B, des bulletins d'abonnement.



Association Curie et Joliot-Curie

Marie Curie.

cageots usagés» et «Le pouvoir d'ionisation de la substance est mesuré grâce au temps qu'elle met pour produire une saturation, c'est-à-dire atteindre le point à partir duquel l'air ne peut plus conduire davantage d'électricité.» En fait, la chambre d'ionisation utilisée alors était composée de deux plateaux métalliques horizontaux, parallèles, portés à une différence de potentiel électrique (le support était constitué par des morceaux d'étagère en bois, et non pas par des cageots usagés ; la substance radioactive était placée sur le plateau inférieur de la chambre, laquelle se trouvait dans une cage de Faraday. Les plateaux limitaient un volume d'air. Lorsque des particules chargées traversaient la chambre, elles créaient, le long de leur trajectoire, un grand nombre de paires d'ions (positifs et négatifs) qui étaient alors séparés et recueillis grâce au champ électrique. On travaillait à saturation lorsque la tension appliquée était suffisante pour que tous les ions formés soient collectés. La charge électrique ainsi recueillie pouvait être compensée pendant un certain temps par la charge électrique qui apparaissait sur les faces d'une lame de quartz piézo-électrique étirée par un poids. Ce temps était mesuré avec un chronomètre ; il était inversement proportionnel à l'intensité du rayonnement ionisant.

Une autre confusion apparaît à plusieurs reprises, entre le thorium X, l'émanation et la radioactivité «induite» (ou radioactivité excitée), qui sont considérés par l'auteur comme un seul et même élément ; l'auteur écrit en effet : «Rutherford et Soddy rigérèrent un article concluant que l'émanation, qu'ils avaient décidé d'appeler thorium X, était un gaz qui transportait (temporairement) la radio-

activité du thorium.» Et, plus loin : «Pierre Curie, en établissant que la radioactivité induite (ce que Rutherford appelait l'émanation) diminuait en fonction du temps.»

En réalité, Ernest Rutherford et Frederick Soddy avaient découvert, à Montréal, en 1902, que le thorium X, un radio-élément solide (que l'on a montré plus tard être un isotope du radium) se formait continuellement dans le thorium et se transformait spontanément, avec une période de quatre jours, en un gaz rare, l'émanation (nommée par la suite thoron, un isotope du radon) ; celle-ci, à son tour, se transformait en un dépôt solide, la radioactivité induite ou excitée (thorium A et thorium B). C'est pour avoir reconnu dans la radioactivité une telle série de transmutations que Rutherford reçut le prix Nobel de physique en 1908. Il existe une sorte de propagation des erreurs d'un livre à l'autre, car celle-ci apparaît dans plusieurs ouvrages récents, et semble montrer que les auteurs ne remontent pas toujours aux publications originales.

Enfin je suis gêné par le chapitre concernant la mort de Pierre Curie, renversé par un fiacre, et par les deux ou trois chapitres consacrés à la liaison de Marie Curie et de Langevin : l'auteur se met à la place de Marie Curie et décrit ses pensées, les sentiments que celle-ci a dû, ou aurait dû, éprouver. Il convient cependant de distinguer, me semble-t-il, biographie et biographie romancée ; ce dernier genre, tout à fait respectable, peut donner lieu à des ouvrages intéressants, mais Marie Curie est trop proche de nous pour que l'intrusion du second genre dans le premier ne provoque un léger malaise.

Cela dit, ce livre est passionnant.

Pierre RADVANYI