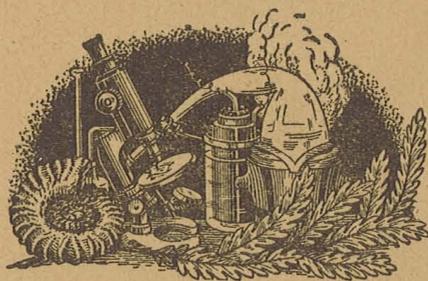


**BULLETIN MENSUEL**  
**DE LA**  
**SOCIÉTÉ DES SCIENCES**  
**DE**  
**NANCY**

(FONDÉE EN 1828)

---

MÉMOIRES N° IV



**SIÈGE SOCIAL**  
**Institut de Zoologie, Rue Sainte-Catherine**  
**NANCY**

**BULLETIN**  
DE LA  
**SOCIÉTÉ DES SCIENCES**  
DE  
**NANCY**  
(FONDÉE EN 1828)

SIÈGE SOCIAL :

Institut de Zoologie, 30, Rue Sainte-Catherine - NANCY

**RÉUNION DU 14 FÉVRIER 1946**

*Amphithéâtre du P. C. B. de la Faculté des Sciences*

**Présidence de M. OUDIN**

Directeur de l'École Nationale des Eaux et Forêts



La séance est ouverte à 16 heures 30 dans l'amphithéâtre du P.C.B. de la Faculté des Sciences. M. OUDIN remercie des membres de la Société de lui avoir accordé leurs suffrages. Il exprime la gratitude de la Société à M. le Professeur FLORENTIN, qui a réussi à maintenir, dans les conditions difficiles, l'activité de notre groupement. Il salue l'élection de M. le Professeur MEUNIER comme deuxième vice-président, et remercie tous les membres du bureau de leur dévouement à la Société, depuis de nombreuses années, et remercie spécialement M. le Professeur REMY de l'hospitalité si gracieusement accordée à la Société.

La cotisation est portée à 100 francs à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1946, afin de permettre la publication régulière d'un bulletin. La Ville de Nancy a accordé, à la Société, une subvention de 1.000 francs.

Les prochaines réunions sont fixées aux : 11 avril, 13 juin 1946, sans préjudice de réunions intercalaires si possible. Deux excursions à l'extérieur sont décidées dans la mesure du possible : jardin botanique de Saverne et réunion dans la région de Pont-à-Mousson avec la Société des Sciences de Metz. Par économie, il ne sera plus rendu compte des excursions dans le Bulletin.

Il est décidé de remettre gratuitement aux auteurs, 10 bulletins contenant leur communication. Les tirés à part doivent être réglés directement, par les intéressés, à l'imprimeur.

Le Maire de Nancy a confirmé le privilège accordé aux membres d'emprunter des livres à la Bibliothèque Municipale, sur présentation d'une attestation constatant leur affiliation à la Société.

### Elections de nouveaux membres

Aucune objection n'ayant été formulée au sujet des candidatures présentées en février, MM. PHILLIPOT, ECHEVIN, BALLAND, et Mlle L. DHÉRISSART sont nommés membres titulaires de la Société des Sciences de Nancy.

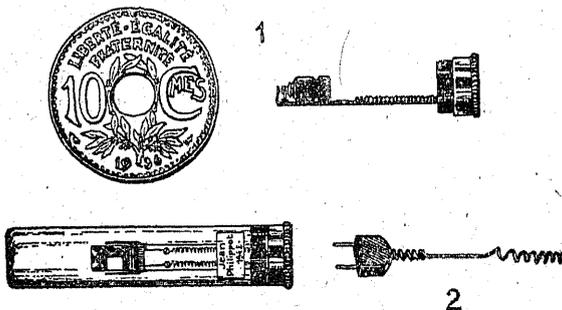
### Présentations de nouveaux membres

MM. CORDEBARD et MEUNIER, présentés par MM. les Professeurs FLORENTIN et MEUNIER.

MM. NÉROT et Colonel LANEL, présentés par MM. DE MAU-D'HUIT et OUDIN.

---

### COMMUNICATIONS



Un moteur électrique minuscule pesant 15 centigrammes  
construit par M. PHILIPPOT

---

### Errata

Prière de vouloir bien rectifier ainsi la note de M. P. MAU-  
BEUGE : Observations à propos de publications récentes sur le  
Bajocien supérieur lorrain (Bulletin n° 5, octobre 1945) :

Page 7, 2<sup>e</sup> ligne, lire « niveau » et « zone à *Strenoceras nior-  
tense* ».

Page 7, 5<sup>e</sup> ligne, rétablir ainsi le texte : « Cette position est  
extraordinaire si « l'oolithe de Jaumont » est dans la zone à *Ga-  
rantia garanti* (*str. sens.*) : *Teloceras Blagdeni* serait 2 zones plus  
haut que son niveau habituel comme partout ailleurs ! ».

Page 7, 35<sup>e</sup> ligne, lire « est introduit ».

## CONFÉRENCE de M. Marcel LAPORTE

Professeur à la Faculté des Sciences

### sur la Radioactivité artificielle et ses Applications

---

Essayons d'abord de préciser le sens de l'expression « radioactivité artificielle » et même ceux des mots « radioactifs » ou « radioactifs », c'est, je le crois, nécessaire, car ils risquent, par eux-mêmes, d'introduire dans les esprits des idées inexacts.

Les mots « radioactifs et radioactivité » ont été introduits dans la Science par Marie CURIE.

Henri BECQUEREL, en 1896, avait découvert que l'Uranium, soit pur, soit en combinaison, donne naissance à des rayons que BECQUEREL appela « rayons uraniques ».

L'année suivante, Madame CURIE ayant montré que le Thorium et ses composés donnaient, eux aussi, naissance à un rayonnement ayant les mêmes propriétés que les rayons uraniques, proposa d'appeler « radioactifs » le Thorium, l'Uranium, et éventuellement tous les corps qui donneraient lieu à une émission analogue de rayons ; le terme entra en usage.

Ce terme était aussi bien choisi qu'il pouvait l'être à une époque où l'on était dans l'ignorance complète de l'origine du rayonnement, mais, dans l'état actuel de nos connaissances, il risque d'introduire, dès l'abord, une idée fautive dans les esprits.

Quand on dit du fer, par exemple, qu'il est magnétique, chacun pense avec juste raison dans ce cas que « tous » les atomes d'un échantillon de fer ont, de façon « permanente », des propriétés magnétiques ; de même, quand on dit que l'Uranium est radioactif, l'on est conduit à penser que « tous » les atomes contenus dans une masse d'Uranium ont une activité « permanente » de rayonnement, autrement dit, qu'ils émettent tous ensemble et continuellement des rayons, et c'est peut-être ce que pensait Madame CURIE à l'origine.

Nous savons maintenant qu'une telle conception est entièrement fautive : sur cent milliards d'atomes d'Uranium, par exemple, il n'y en a en effet que 16 seulement, en une année, qui émettent un rayonnement, c'est-à-dire qui soient à proprement parler « radioactifs » ; encore, ces 16 atomes ne sont-ils pas radioactifs tout le long de cette année, bien au contraire, ils n'émettent chacun un rayon que pendant un temps infiniment court, qui est justement l'instant fugitif où, en sorte d'explosion, ils se détruisent en tant qu'atomes d'Uranium pour donner un atome nouveau, l'Uranium  $X_1$ , et un noyau d'hélium lancé à grande vitesse qui s'échappe du noyau d'Uranium explosé en une trajectoire rectiligne comme un « rayon » d'une sphère dont l'atome d'Uranium serait le centre.

En résumé, ni l'Uranium, ni le Thorium, ni aucune des substances radioactives que nous connaissons, ne sont formés d'atomes continuellement et tous ensemble radioactifs ; ce que l'on

peut dire, c'est que ce sont des substances dont les atomes sont « périssables », que ces atomes ne périssent d'ailleurs pas tous ensemble, et que c'est seulement lorsqu'ils disparaissent, à leur heure, en des explosions « spontanées », orgines de métamorphoses appelées « transmutations », qu'ils sont fugitivement « radioactifs ».

Cette susceptibilité « spontanée » de transmutation différencie d'ailleurs profondément les substances dites radioactives des substances ordinaires qui, elles, ne portent en aucun de leurs atomes, aucun germe de mort spontanée, et que l'on a longtemps considérées comme indestructibles.

Nous verrons que des procédés « artificiels » permettent de provoquer la transmutation des atomes de ces substances ordinaires ; ces transmutations conduisent soit à d'autres substances ordinaires déjà connues ou nouvelles, soit à des substances analogues aux corps dits radioactifs, c'est-à-dire à des substances dont les atomes sont périssables ; on aura donc dans ce cas produit artificiellement de nouvelles substances radioactives ; c'est en cela, et en cela seulement, que consiste la radioactivité dite « artificielle » ; ici encore, cette expression prête à confusion, car on n'a aucun moyen de rendre radioactif un corps qui ne l'est pas de par sa nature, ni même de modifier si peu que ce soit la radioactivité d'un corps qui est, de par sa nature, radioactif ; il semble que personne ne s'aviserait de dire que l'on a réalisé de l'élasticité artificielle à propos de l'obtention d'un caoutchouc synthétique.

La radioactivité des noyaux auxquels on sait artificiellement donner naissance, suit d'ailleurs exactement les mêmes lois que celles que suivent les éléments radioactifs que l'on trouve dans la nature.

Rappelons les rapidement.

Considérons une masse d'un élément qui, à un certain instant  $t$  contient  $n$  atomes ; s'il s'agit d'un élément ordinaire stable, ce nombre  $n$  reste indéfiniment constant quelles que soient les conditions physiques ou les traitements chimiques qu'on lui fasse subir ; si au contraire le nombre  $n$  varie, et, en fait, diminue par suite de la désintégration de certains atomes avec émission de rayonnements corpusculaires ou électromagnétiques, l'élément est « radioactif ».

Comme nous l'avons indiqué, il est essentiel de savoir que la désintégration n'affecte pas simultanément tous les atomes présents.

S'il en existe  $n$  à l'instant  $t$ , la transmutation porte de l'instant  $t$  à un instant voisin  $t+dt$  sur un nombre d'atomes qui est proportionnel à  $dt$  et aussi à  $n$ , de telle sorte que  $n$  varie de  $dn$  suivant la relation :

$$(4) \quad \frac{dn}{n} = -\lambda \cdot dt$$

$\lambda$  est une constante, indépendante de toutes actions physiques ou chimiques connues ; sa valeur, qui varie d'un élément radioactif à un autre, est caractéristique de chaque élément ;

c'est ce que l'on appelle la « constante radioactive » de l'élément considéré.

Si l'on prend pour  $dt$  l'unité de temps, on peut dire que  $\lambda$  représente la proportion du nombre des atomes qui se désintègrent dans l'unité de temps au nombre des atomes présents à l'instant considéré ; c'est cette proportion qui est immuable pendant toute la durée de la désintégration.

La comparaison suivante permet de se faire une représentation imagée de ces phénomènes : considérons une troupe comportant 10.000 combattants ; supposons qu'en un premier jour, 1 % de cette troupe soit mis hors de combat, soit 100 hommes ; 9.900 combattants monteront en ligne le second jour ; si le tir ennemi conserve même intensité, et si ce tir frappe « au hasard », on conçoit que la « même proportion » soit éliminée au deuxième jour, soit 99 hommes ; il en restera 9.801, qui, à leur tour, perdront 1 % au troisième jour de bataille..., etc.

Le nombre des combattants soumis à cette intensité de feu, frappant « au hasard » variera suivant la loi :

$$\frac{dn}{n} = - \frac{1}{100} dt$$

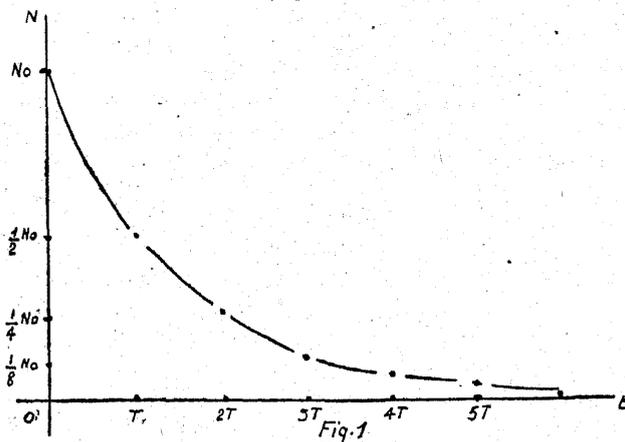
c'est la loi de désintégration radioactive, c'est pourquoi l'on dit que les désintégrations radioactives suivent une loi de « hasard ».

De la relation différentielle (1) on tire :

$$(2) \quad n = n_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

qui donne en fonction du temps le nombre des atomes qui subsistent d'un nombre  $n_0$  présents à l'instant choisi comme origine du temps ;  $e$  est la base des logarithmes Népériens.

C'est une loi exponentielle de décroissance (fig. 1).



Cherchons au bout de combien de temps il subsistera une fraction donnée, par exemple la moitié de la quantité initiale ; c'est la question que pourrait se poser le chef d'une unité combattante qui, connaissant la proportion de ses pertes par jour,

se demanderait au bout de combien de jours il ne lui restera plus en ligne que la moitié de son effectif.

Soit  $T$  ce temps de diminution de moitié, on a :

$$\frac{n_0}{2} = n_0 e^{-\lambda T}$$

d'où :

$$\lambda T = \text{Log. } 2 = 0,693$$

Ce temps  $T$  s'appelle la « période » de la substance radioactive, on voit que cette période est inversement proportionnelle à  $\lambda$ , et, comme  $\lambda$ , c'est une caractéristique de la substance radioactive considérée.

Ex. : La constante radioactive de l'Uranium I est :  $\lambda = 16.10^{-11}$  années<sup>-1</sup>, c'est-à-dire que chaque année, comme nous l'avions indiqué, il se désintègre 16 atomes sur 100 milliards ; la période correspondante est :  $T = 4,4 \cdot 10^9$  années, soit plus de 4 milliards d'années.

C'est donc seulement au bout de 4,4 milliards d'années que d'une quantité initiale d'Uranium, il restera seulement la moitié : une demie tonne, par exemple, disparaîtra sur une tonne initiale ; la longueur de cette période rend compte de la persistance actuelle de l'Uranium sur la Terre.

De la relation (1) et de la relation (2) nous tirons que le nombre  $dp$  des atomes qui se désintègrent de l'instant  $t$  à  $t+dt$  est  $dp = -dn$ , soit :

$$(3) \quad dp = \lambda n_0 e^{-\lambda t} dt$$

comme l'émission d'un rayonnement accompagne chaque désintégration atomique, la relation (3) représente aussi la loi de décroissance de l'activité de rayonnement de la substance, activité qui est le plus souvent la seule manifestation expérimentale de l'existence de cette substance, notamment quand sa masse est par trop petite.

En particulier, la variation du courant d'ionisation dont l'intensité est proportionnelle au nombre des rayons émis par unité de temps, suivra en fonction du temps la loi de décroissance représentée par la relation (3) :

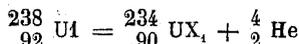
$$(3') \quad i = i_0 e^{-\lambda t}$$

L'étude expérimentale de la fonction :  $i = f(t)$  mettra en évidence une décroissance exponentielle qui permettra de déterminer la constante radioactive de la substance, et par suite, sa période ; ce mode opératoire est valable tout aussi bien pour les substances radioactives naturelles que pour celles qui sont obtenues artificiellement, c'est pourquoi nous avons cru utile de le rappeler.

Toutes les substances radioactives naturelles dérivent par filiation de l'Uranium, du Thorium ou de l'Actinium ; le Radium par exemple, que l'on extrait des minerais d'Urane, se trouve dans ces minerais dans une proportion qui dépend à la fois de

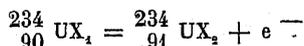
sa vitesse de formation et de sa vitesse propre de désintégration ; un problème analogue va se poser dans l'obtention de substances radioactives artificielles ; les quantités de ces substances que l'on peut accumuler, dépendent à la fois de la vitesse de production et de leur vitesse de désintégration spontanée ; c'est ce que nous allons maintenant examiner.

La désintégration de l'Uranium I se fait suivant la réaction :



c'est-à-dire avec émission d'une particule *alpha*, noyau d'hélium lancé avec une vitesse de 14.000 km/s et formation d'un nouvel élément, l'Uranium X<sub>1</sub>, qui diffère de l'Uranium I par son nombre atomique (nombre de protons contenus dans son noyau, 90 au lieu de 92, et par le nombre des neutrons contenus dans le noyau 234 — 90 = 144 au lieu de 238 — 92 = 146).

L'uranium X<sub>1</sub> qui prend naissance, est lui-même radioactif, il se désintègre suivant la réaction :



par formation de l'Uranium X<sub>2</sub> et émission d'un électron rapide qui constitue ce que l'on appelle un rayon *bêta*.

La constante radioactive de l'Uranium X<sub>1</sub> est :  $\lambda_1 = 328.10^{-9} \text{ s}^{-1}$ , c'est-à-dire que sur 10<sup>9</sup>, soit un milliard d'atomes, il s'en détruit 328 par seconde ; la période correspondante est :  $T_1 = 2,12 \cdot 10^6 \text{ s}$ , soit 24,5 jours.

Proposons-nous de chercher comment, en fonction du temps, va se former l'Uranium X<sub>1</sub> à partir de l'Uranium I.

Supposons que nous ayons à l'instant zéro, un nombre  $n_0$  d'atomes d'Uranium I ; la constante radioactive,  $\lambda_0$ , de UI étant très petite (nous avons vu qu'elle correspond à la désintégration de seulement 16 atomes sur 100 milliards en un an), nous pouvons considérer que le nombre des atomes d'Uranium I restera sensiblement constant pendant des années, et que, par conséquent, pendant des années il s'en détruira :

$$\lambda_0 n_0 dt$$

pendant un intervalle de temps  $dt$  ; c'est aussi le nombre des atomes d'UX<sub>1</sub> qui se formeront pendant le même intervalle de temps  $dt$  ; autrement dit, il y a une vitesse constante de production de UX<sub>1</sub> égale à :  $\lambda_0 n_0$ , mais, au fur et à mesure de sa formation, l'UX<sub>1</sub>, qui est radioactif, va partiellement se désintégrer, et nous avons vu que s'il existe, à l'instant  $t$ ,  $n$  atomes d'UX<sub>1</sub>, il s'en détruira spontanément :

$$\lambda_1 n. dt \text{ dans le temps } dt$$

Finalement, la variation de l'instant  $t$  à l'instant  $t+dt$  du nombre  $n$  des atomes d'UX<sub>1</sub> sera :

$$(4) \quad dn = (\lambda_0 n_0 - \lambda_1 n) dt$$

égale à la différence entre le nombre des atomes qui se forment et celui des atomes qui disparaissent par désintégration.

La relation (4) conduit par intégration à :

$$(5) \quad n = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} n_0 (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

c'est une fonction croissante du temps qui tend vers une valeur limite :  $n_1$  lorsque le temps augmente indéfiniment (fig. 2) :

$$(6) \quad n_1 = n_0 \frac{\lambda_0}{\lambda_1}$$

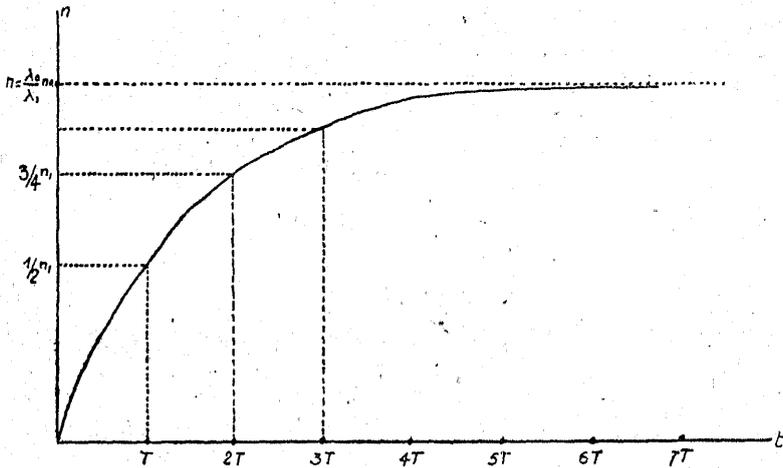


Fig. 2

Au bout d'un temps infini, il existerait donc un rapport bien déterminé

$$(7) \quad \frac{n_1}{n_0} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \frac{T_1}{T_0}$$

entre les nombres d'atomes de l'Uranium  $X_1$  et de l'Uranium I, rapport égal au rapport inverse de leurs constantes radioactives ou au rapport de leurs périodes.

Dans le cas actuel :

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{2,12 \cdot 10^8}{1,4 \cdot 10^{17}} = 1,5 \cdot 10^{-11}$$

c'est-à-dire que pour mille milliards d'atomes d'Uranium I on n'obtiendra à la limite que 15 atomes d'Uranium  $X_1$ .

L'équation (5) permet de voir comment, au cours du temps, on s'approchera de cette valeur limite ; elle montre que, au bout d'une période de l' $UX_1$ , c'est-à-dire au bout de 24,5 jours, on a déjà la moitié de la valeur limite ; au bout de deux périodes, on en a les  $3/4$  ; les  $7/8$  au bout de 3 périodes... ; la valeur limite est atteinte à moins de 1 % près au bout de seulement 7 périodes, conformément à la courbe (2) qui représente les variations de  $n$ .

Dès qu'il s'est écoulé environ 7 périodes, le nombre des atomes

de l'UX<sub>1</sub> ne varie pratiquement plus au cours du temps, on dit qu'il s'est réalisé un équilibre radioactif entre l'Uranium I et l'Uranium X<sub>1</sub>.

Cet établissement d'un équilibre radioactif peut être rendu intuitif par la comparaison suivante :

Imaginons un vase A dans lequel tombe un liquide par un robinet R à débit constant, supposons en outre que le liquide de ce vase puisse s'échapper par un tube capillaire T (fig. 3). Cet

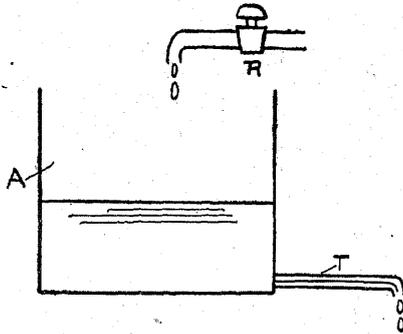


Fig. 3

écoulement par tube capillaire suit la loi de Poiseuille, c'est-à-dire que le débit de perte par le tube T est proportionnel à la hauteur du liquide dans le vase ; nous pouvons dire aussi que le nombre des molécules du liquide dans le vase tend à augmenter proportionnellement au temps, et simultanément à décroître proportionnellement au nombre des molécules qu'il contient déjà ; il est clair que le niveau dans le vase n'augmentera pas indéfiniment ; il arrivera un moment où l'arrivée constante de liquide sera compensée par la fuite ; un équilibre hydraulique sera atteint ; ce problème du remplissage du vase se poserait mathématiquement comme celui que nous avons traité ci-dessus ; la quantité de liquide à l'équilibre dépendrait de la vitesse de remplissage et des dimensions géométriques du tube capillaire servant à l'écoulement.

Lorsque l'Uranium X<sub>1</sub> est en équilibre radioactif avec l'Uranium I, le nombre des atomes d'Uranium X<sub>1</sub> reste constant, égal à  $n_1$  de sorte qu'il s'en détruit constamment :  $\lambda_1 n_1$  par seconde, c'est-à-dire qu'il se forme de façon permanente le même nombre d'atomes d'Uranium X<sub>2</sub> ; l'on retombe donc, relativement à la formation de l'Uranium X<sub>2</sub> à un problème identique à celui de la formation de l'Uranium X<sub>1</sub> à partir de l'Uranium I ; nous arrivons donc à ce résultat qu'il va s'établir aussi entre UX<sub>1</sub> et UX<sub>2</sub> un équilibre radioactif tel que le nombre des atomes d'UX<sub>2</sub> à l'équilibre sera :

$$n_2 = n_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{ soit tel que : } \frac{n_2}{n_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Nous montrerions de même de proche en proche que tous

les descendants radioactifs de l'Uranium I se mettent en équilibre avec leurs ascendants, de telle sorte que les nombres d'atomes à l'équilibre de deux descendants  $p$  et  $q$  seront entre eux dans le rapport :

$$\frac{n_p}{n_q} = \frac{T_p}{T_q}$$

c'est-à-dire dans le rapport de leurs périodes.

C'est ainsi que le rapport du nombre des atomes de Radium au nombre des atomes d'Uranium dans un minerai ancien est :

$$\frac{n_{\text{Ra}}}{n_{\text{U}}} = \frac{1590}{4,4 \cdot 10^6} = 0,36 \cdot 10^{-6}$$

ce qui conduit au résultat expérimentalement vérifié que la quantité maxima de Radium que l'on peut trouver en présence d'une tonne d'Uranium est de 3,4 décigrammes.

Si j'ai traité cette question de la formation d'une substance radioactive naturelle en présence d'une substance mère à vie longue, c'est que le même problème se pose en radioactivité artificielle.

En effet, pour produire artificiellement des éléments radioactifs, nous serons amenés à bombarder avec des projectiles appropriés des atomes stables, et à provoquer leur transmutation en atomes radioactifs.

Dans cette action, la vitesse de production sera maintenue constante de la même manière que la vitesse de production de l'Uranium  $X_1$  à partir de l'UI ; si donc la technique utilisée produit  $p$  atomes par seconde d'un élément radioactif de constante  $\lambda$ , le nombre limite de cet élément que nous pourrions accumuler sera :

$$n = \frac{p}{\lambda} = \frac{p \cdot T}{0,693}$$

encore cette quantité limite ne sera-t-elle atteinte à 1 % près qu'au bout d'environ 7 périodes de l'élément radioactif artificiel, par suite, la vitesse de production étant techniquement limitée par les puissances qu'il est possible d'utiliser, on ne pourra obtenir, si la période est très courte, que des quantités insignifiantes de l'élément artificiel ; si, par contre, ce dernier a une période très longue de l'ordre d'un siècle par exemple, l'expérience de fabrication ne pouvant durer qu'une fraction petite de cette période, dans ce cas encore on ne pourra obtenir qu'une fraction de la quantité limite dont le rayonnement radioactif sera faible.

La conséquence pratique est que seuls pourront être fabriqués en quantités expérimentalement décelables, les éléments radioactifs dont la période n'est ni trop longue ni trop courte, ceci malgré les moyens extrêmement sensibles qui nous permettent de déceler la radioactivité de masses extraordinairement petites de matière.

Revenant à ce que nous avons indiqué au début, que la radio-activité artificielle consiste dans la production d'éléments radio-actifs en utilisant comme matière première des éléments naturels qui ne le sont pas eux-mêmes, nous comprenons que cette production ne peut être obtenue que par « transmutation » des noyaux, c'est-à-dire par le passage d'un noyau caractérisé par son nombre atomique  $Z$  ou son nombre de masse  $A$  à un autre de nombre atomique ou de nombre de masse différents.

De telles transmutations ont été longtemps considérées comme impossibles ; cette conviction était basée sur l'échec de toutes les tentatives faites pour les provoquer.

En fait, le moyen le plus puissant mis en jeu dans ces essais était l'action d'une élévation de température.

Nous savons que le résultat d'une telle élévation est d'augmenter l'énergie cinétique d'agitation moléculaire.

Dans les gaz en particulier, l'énergie cinétique moyenne d'agitation est proportionnelle à la température absolue  $T$ .

La formule classique de la théorie cinétique des gaz est en effet :

$$(8) \quad \frac{1}{2} m C^2 = \frac{3}{2} k T$$

$k$  Constante de Boltzmann =  $R/N = 1,37 \cdot 10^{-16}$  ergs/deg.  
 $C$  vitesse quadratique moyenne.

Dans les questions de physique nucléaire, on utilise en général une autre unité d'énergie que l'erg : l'électron-volt, qui est l'énergie fournie à une charge d'une électron ( $4,8 \cdot 10^{-10}$  UES) lorsque cette charge traverse une différence de potentiel de un volt ( $1/300$  UES CGS); on trouve que un électron-volt vaut :  $1,6 \cdot 10^{-12}$  ergs.

On peut déduire de la formule (8) lorsque la répartition des vitesses des molécules est celle de MAXWELL la formule suivante :

$$(9) \quad W_p = 8,6 \cdot 10^{-5} T$$

qui est due à BARKHAUSEN, dans laquelle  $W_p$  est l'énergie la plus probable évaluée en électrons-volts à  $T^\circ K$  (degrés absolus Kelvin).

À  $15^\circ C$ , soit  $288^\circ K$ , la formule donne  $W_p = 0,024$ , soit environ  $2/100 eV$  comme énergie la plus probable d'agitation thermique ; à la température de l'arc électrique, la plus élevée que nous sachions atteindre :  $T = 3.500^\circ K$  l'énergie de la majorité des molécules n'est encore que de  $0,3 eV$ .

De telles énergies de chocs intramoléculaires se montrent seulement capables d'arracher les électrons aux atomes (ionisation des flammes), ou de les perturber, ce qui, comme on sait, provoque l'émission de radiations (incandescence).

En 1919, RUTHERFORD inaugura une autre méthode d'attaque des noyaux, qui consiste à les bombarder par des particules  $\alpha$  rapides provenant de certaines désintégrations radioactives.

Si l'on utilise par exemple, celles du Thorium C dont la vitesse est de  $2,05 \cdot 10^9$  cm/s ( $20.500$  km/s) et dont l'énergie cinétique atteint  $8,7 MeV$ , soit :  $8,7$  millions d'électron-volts, l'ordre

de grandeur est changé, car, d'après la formule de BARKHAUSEN, c'est l'énergie la plus probable d'agitation à la température absolue de  $10^{11}$  degrés : cent milliards de degrés !

En physique nucléaire, nous rencontrerons fréquemment des particules possédant une énergie de l'ordre du million ou de dizaines de millions d'électron-volts ; le calcul ci-dessus donne déjà une idée de la grandeur de telles énergies ; on peut s'en rendre compte d'une autre manière.

Supposons par exemple que tous les atomes, en nombre  $N = 6,04 \cdot 10^{23}$ , contenus dans la masse atomique d'un élément quelconque, soit dans 4 grammes d'Hélium, possèdent chacun une énergie de un *MeV*, l'énergie totale sera :

$$W = 6,04 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ ergs} = 9,6 \cdot 10^{17} \text{ ergs}$$

soit sensiblement  $10^{10}$  ou dix milliards de kilogrammètres ou 26.800 Kwh ou 23 millions de grandes calories, l'équivalent de la combustion de 3 tonnes environ de charbon.

La méthode instaurée par RUTHERFORD consiste donc essentiellement à utiliser, pour attaquer les noyaux des atomes, des projectiles atomiques ayant, à l'échelle atomique, des énergies extrêmement grandes.

La nécessité d'employer des projectiles rapides se présentera toutes les fois que ces projectiles seront des particules chargées d'électricité positive comme c'est le cas des particules *alpha*, car, pour être efficace, un projectile doit pouvoir pénétrer dans le noyau or, les noyaux d'un élément de nombre atomique  $Z$  sont porteurs d'une charge positive :  $Z.e$  qui repousse à distance toute particule positivement chargée et tend à lui interdire l'accès du noyau.

Ces considérations peuvent être précisées de la façon suivante : Soit une particule porteuse d'une charge positive :  $q$  ; la force de répulsion qu'elle subit à une distance  $r$  de la part d'un noyau porteur d'une charge  $Z.e$  est, d'après la loi de COULOMB :

$$f = - \frac{q.Z.e}{r^2}$$

cette force dérive d'un potentiel :

$$v = \frac{q.Z.e}{r}$$

c'est-à-dire que le travail fourni par cette force, de répulsion quand la particule venant de très loin ( $r = \infty$ ) s'approche à la distance  $r$  est

$$W = \frac{q.Z.e}{r}$$

$W$  mesure ce que l'on appelle « l'énergie potentielle mutuelle » de la particule et du noyau ; pour que la particule puisse s'approcher à cette distance  $r$ , il est nécessaire que son énergie cinétique soit supérieure ou au moins égale à  $W$  ; de même que pour

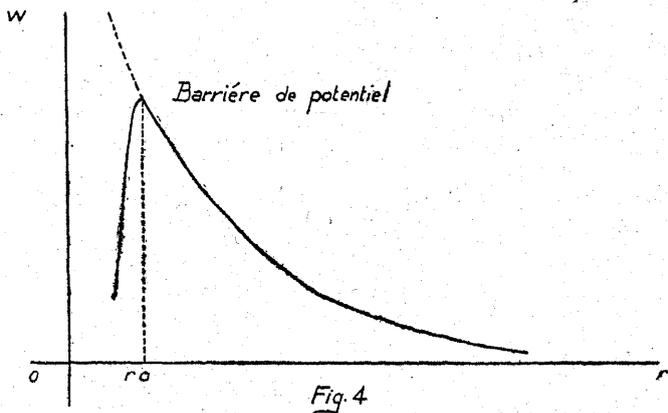
faire monter un projectile de masse  $m$  à une hauteur  $h$  malgré l'attraction terrestre qui fournit un travail résistant  $m.g.h$ , il faut lancer ce projectile avec une énergie de mouvement

$$1/2 m.v^2 \geq m.g.h.$$

La loi de variation de l'énergie potentielle en fonction de  $r$ , ( $W = \frac{q.Z.e}{r}$ ) se représente par une branche d'hyperbole de telle façon que si la loi de COULOMB continuait à s'appliquer pour des distances infiniment petites, il faudrait aux particules une énergie infinie pour pénétrer dans le noyau.

Il n'en est pas ainsi ; on a dû admettre, à la suite d'expériences sur le passage des particules *alpha* à travers la matière, que la loi de COULOMB cesse de s'appliquer à partir d'une certaine valeur  $r_0$  que l'on peut considérer comme définissant le rayon du noyau.

Cette valeur  $r_0$  varie d'un élément à l'autre, son ordre de grandeur est de  $10^{-13}$  cm. Si la particule possède une énergie cinétique supérieure à  $\frac{q.Z.e}{r_0}$  elle peut s'approcher à moins de  $r_0$  du noyau, à partir de quoi une force d'attraction remplace la force de répulsion ; la courbe  $W(r)$  marque une dépression ; c'est l'allure de cette courbe qui a conduit à dire que pour pénétrer dans le noyau, le projectile doit être capable de franchir la « barrière de potentiel » (fig. 4).



La condition d'une énergie cinétique minima nécessaire pour franchir la barrière de potentiel qui est rigoureuse en mécanique classique, s'atténue en mécanique ondulatoire où ce qui était rigoureusement impossible devient seulement plus ou moins « improbable », d'autant plus improbable que l'énergie cinétique du projectile est plus inférieure à l'énergie critique correspondant à la barrière de potentiel.

Ces considérations nous expliquent que si l'on utilise comme projectiles de transmutation des particules chargées, il soit né-

cessaire de leur communiquer au préalable une énergie minima d'autant plus grande que le nombre atomique  $Z$  de l'élément à attaquer est lui-même plus élevé.

Nous comprenons par contre qu'il n'existe pas de barrière de potentiel pour des particules ne portant aucune charge électrique telles que les neutrons, et que, par suite, il soit possible d'obtenir des transmutations, même avec des neutrons de faible vitesse.

En définitive, toutes les techniques utilisées en radioactivité artificielle se ramèneront à bombarder les noyaux soit avec des neutrons dont nous aurons à examiner le mode de production, soit avec des particules *alpha* provenant de la désintégration de substances radioactives naturelles, soit enfin à accélérer dans des tubes à gaz, sous très basses pressions et avec des tensions très élevées des ions positifs tels que des protons ou noyaux d'hydrogène ou des deutons qui sont des noyaux de l'isotope lourd de l'hydrogène.

C'est sous l'empire de cette nécessité que se sont développées très rapidement dans ces dernières années, toutes les techniques de production des tensions élevées : dispositifs de VAN DER WAALS, GREINACHER ou le cyclotron de LAWRENCE.

Nous laisserons de côté toutes ces techniques et dirons seulement que l'on sait actuellement donner à des ions positifs des énergies de plusieurs millions d'électron-volts, supérieures à celles des rayons *alpha* les plus rapides.

On connaît actuellement environ un millier de réactions de transmutations produites artificiellement par l'emploi de l'un ou l'autre des projectiles qui constituent l'arsenal des physiciens.

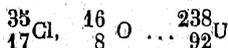
Précisons en quoi consiste exactement une transmutation. On sait que les noyaux des différents atomes consistent dans un rassemblement de protons et de neutrons, et que chaque atome est caractérisé par deux nombres :

1° Le nombre atomique  $Z$ , égal au nombre de protons contenus dans le noyau, égal au nombre des électrons planétaires qui gravitent autour du noyau ;

2° Le nombre de masse  $A$  qui est égal à la somme du nombre des protons et du nombre des neutrons contenus dans le noyau.

Pour représenter un élément, on est convenu d'écrire les valeurs de  $Z$  et de  $A$  à gauche du symbole chimique,  $S$ , de l'élément, respectivement en bas et en haut :  $\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} S$

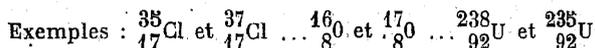
Exemples :



Pour que deux atomes soient différents, il suffit qu'ils diffèrent par l'un ou par l'autre de leurs nombres caractéristiques :  $Z$  ou  $A$ .

Si, en particulier, ils ont même nombre atomique  $Z$  et ne diffèrent que par leurs nombres de masse, ils ont mêmes pro-

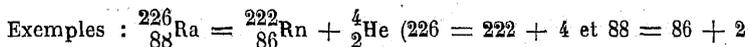
priétés chimiques, ils ont même place dans la classification de MENDELÉIEFF, ce sont des « isotopes ».



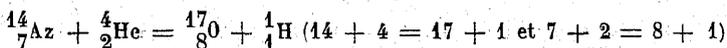
Nous dirons qu'il y a transmutation si, à partir d'un atome qui disparaît, il y a apparition d'un autre atome « différent » au sens qui vient d'être précisé.

Une transmutation peut se représenter par une équation qui contient, dans le premier membre le symbole de l'élément de départ et éventuellement celui du projectile utilisé, réunis par le signe + et, dans le second membre, les symboles des éléments obtenus réunis par le signe +.

Dans toute transmutation il y a conservation du nombre total des protons et du nombre total des neutrons, par conséquent, la somme des nombres atomiques figurant dans le premier membre est égale à la somme des nombres atomiques figurant dans le second, de même les sommes des nombres de masse sont les mêmes dans les deux membres.



représente la transmutation par radioactivité naturelle du radium en radon avec émission d'une particule *alpha* qui est un noyau d'hélium.



représente la première transmutation obtenue artificiellement par RUTHERFORD en bombardant de l'Azote avec des particules *alpha* du Thorium C' ; elle donne l'isotope 17 de l'oxygène et émission d'un proton rapide (rayon *H* de désintégration).

On peut aussi considérer que dans les deux membres de ces équations figurent non les atomes eux-mêmes, mais seulement leurs noyaux, car également les électrons planétaires des atomes engagés dans le premier membre doivent se retrouver en nombre égal dans le second.

Si alors on suppose que la réaction, au lieu de porter sur un atome porte sur un nombre d'atomes égal au nombre d'Avogadro, chaque symbole chimique va correspondre à une masse égale à la masse atomique du noyau correspondant, l'on devrait donc s'attendre, si la loi de LAVOISIER de la conservation des masses qui est rigoureuse en chimie s'appliquait encore à ces réactions de transmutation, à ce que la somme des masses atomiques des noyaux engagés soit exactement la même que celle des noyaux formés.

#### Relation d'EINSTEIN.

L'expérience montre qu'il n'en est généralement pas ainsi. Dans la transmutation du Radium, la somme des masses atomiques du radon et du noyau d'hélium est inférieure à la masse atomique du radium ; dans la transmutation de l'azote par bombardement par particules *alpha*, c'est au contraire la somme des

masses atomiques du premier membre qui est inférieure à la somme des masses atomiques de l'oxygène et du proton projetés.

Ces anomalies s'expliquent si l'on admet, conformément à la théorie de relativité développée par EINSTEIN, qu'il peut y avoir transformation de la masse en énergie et réciproquement, suivant le taux indiqué par la relation fondamentale :

$$E = m \cdot c^2 \text{ (ergs, grammes, cm/s)}$$

dans laquelle,  $c$  est la vitesse de la lumière,  $c = 3.10^{10}$  cm/s. La disparition d'un gramme de matière peut donc faire apparaître :  $9.10^{20}$  ergs ou inversement.

Le taux formidable de cette transformation apparaît plus clairement avec d'autres unités : la disparition d'un gramme de matière peut faire apparaître :

9.100 milliards de kilogrammètres

ou 25 millions de KWh

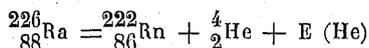
ou 21,5 milliards de grandes calories

l'équivalent de la combustion de 2.700 tonnes de charbon.

Cette énergie correspondrait à, 931 MeV pour chacun des atomes contenus dans un atome-gramme, soit à : 931.N millions d'électrons-volts.

Pour tenir compte de cette équivalence, il y aura lieu d'inscrire dans chaque membre d'une réaction nucléaire l'équivalent en masse des énergies. Les principes fondamentaux de la conservation de l'énergie et de la conservation des masses, considérés très longtemps comme séparés, se fondent en un seul qui est celui de la conservation « globale » de la masse et de l'énergie.

Ainsi, l'équation de transmutation du Radium doit s'écrire :



or l'énergie cinétique,  $E$  (He), des particules *alpha* du Radium est de 4,79 millions d'électron-volts par particule, soit  $N.4,79$  MeV par atome gramme qui correspondent à :  $4,79/931$  grammes, soit environ 5 mg. En tenant compte de ces 5 mg qui correspondent à l'énergie cinétique des particules *alpha*, le défaut de masse du second membre de l'équation se trouve supprimé.

Après ces considérations générales applicables à toutes les réactions de transmutation, il nous reste à les étudier individuellement.

On connaît actuellement plus d'un millier de réactions de transmutation ; on peut les classer de différentes façons ; nous les classerons suivant la nature du projectile utilisé pour les provoquer.

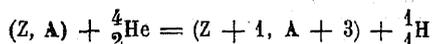
### I. Transmutations par les rayons *alpha*.

On en connaît de deux types.

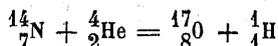
1° Transmutation avec émission d'un proton rapide, dit : rayon *H* de désintégration.

A ce type appartiennent les premières réactions de transmutation réalisées dès 1919 par RUTHERFORD.

Un élément de nombre atomique  $Z$  et de nombre de masse  $A$ , incorpore la particule *alpha* et émet un proton suivant le schéma général :



Exemple : le bombardement de l'azote par les rayons *alpha* du Thorium C' provoque la transmutation en un isotope de l'oxygène :

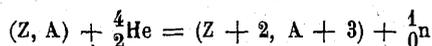


Le proton rapide éjecté peut être mis en évidence expérimentalement par une scintillation d'un écran de sulfure de zinc à une distance anormalement grande ; des photographies WILSON montrent aussi ces chocs exceptionnels par la présence d'une fourche à trois branches qui correspondent respectivement à la trajectoire de la particule *alpha*, à celle de l'oxygène et à celle du proton.

2° Type.

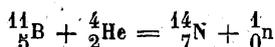
Suivant un autre type de transmutation, la particule *alpha* s'incorpore dans le noyau et provoque l'émission d'un neutron.

Le schéma des réactions de ce type est le suivant :



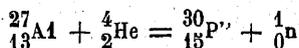
Le neutron formé est une particule sans charge électrique (nombre atomique  $Z = 0$  et de masse voisine de celle du proton : nombre de masse  $A = 1$ ).

Dans ce type rentre l'action des particules *alpha* sur le bore ou l'aluminium :

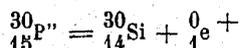


la transmutation fait apparaître un atome d'azote stable.

Dans certains cas, la transmutation fait apparaître un atome radioactif ; c'est ce qui se produit par exemple avec l'aluminium, qui conduit à un isotope radioactif du phosphore, lequel se désintègre spontanément en donnant du silicium et émission d'un électron positif :



le phosphore radioactif ou radiophosphore ( $\text{P}''$ ) donne :



Cette interprétation est basée expérimentalement sur les constatations suivantes :

1° L'émission d'électrons positifs augmente d'intensité à partir du début du bombardement, puis tend vers une limite suivant la loi d'accumulation d'une substance radioactive.

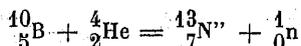
2° L'émission d'électrons positifs se continue « après » que l'on a arrêté le bombardement de l'aluminium par les particules

*alpha*, suivant une loi de décroissance exponentielle, caractéristique de la disparition d'un corps radioactif ; la période observée dans ce cas est :  $T = 3 \text{ m } 15 \text{ s}$ .

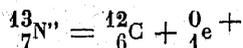
3° La formation d'un isotope du phosphore est mise en évidence par une séparation basée sur les propriétés chimiques du phosphore.

Ces réactions sont de la plus haute importance ; elles ont conduit à la découverte du neutron (CHADWICK) et à celle de la radioactivité dite artificielle ; le radiophosphore mis en évidence par JOLIOU-CURIE est en effet le premier corps radioactif dont on ait établi la production par voie artificielle.

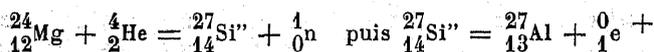
On connaît un grand nombre de radioéléments artificiels produits de la même manière :



formation d'un radioazote,  ${}^{13}_7\text{N}''$  (isotope radioactif de l'azote  ${}^{14}_7\text{N}$  stable) qui se désintègre spontanément avec une période de 14 m pour donner un carbone stable et émission encore d'un électron positif :



Le bombardement du magnésium donne des réactions analogues :



la période du radiosilicium est :  $T = 7 \text{ m}, 6 \text{ s}$ .

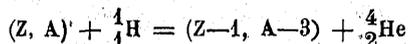
La vitesse de production de radioéléments par cette méthode de bombardement par les rayons *alpha* étant limitée par l'activité des sources que l'on peut pratiquement utiliser, on ne peut mettre en évidence que des radioéléments dont la période n'est ni trop courte ni trop longue ; les périodes de quelques minutes sont les plus faciles à mettre en évidence ; il est possible que beaucoup d'autres productions de cette nature existent qui n'ont pu encore être mises en évidence.

## II. Transmutations par les protons.

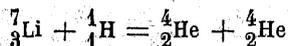
On utilise des protons accélérés dans des tubes à décharge contenant de l'hydrogène sous basse pression et alimentés sous des tensions élevées.

On connaît deux types de réactions :

1° Transmutations avec émission de rayons *alpha* :



Exemple :



Cette réaction, la première de ce type, réalisée par COCKROFT (1932), est très intéressante ; il y a émission de deux particules

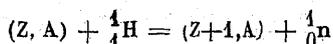
*alpha*, dont on peut mettre en évidence la formation à l'appareil WILSON ; les parcours de ces rayons *alpha* permettent de déterminer leurs énergies ; la somme des énergies est de 17,2 MeV, ce qui correspond, d'après la relation d'EINSTEIN, à une masse de 18 mg par atome-gramme qui est justement le défaut de masse du second membre de l'équation.

C'est l'une des premières et des plus précises des vérifications de l'équivalence de la masse et de l'énergie.

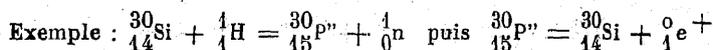
On connaît une vingtaine de réactions de ce type.

2° Transmutations avec émission de neutrons :

Ces transmutations rentrent dans le schéma général :



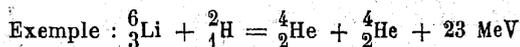
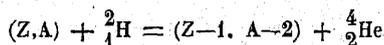
l'élément formé peut-être instable, c'est-à-dire que l'on a produit un radioélément artificiel :



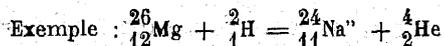
### III. Transmutations par les deutérons.

Les deutérons sont, comme on le sait, des noyaux de l'isotope lourd de l'hydrogène,  ${}^2_1\text{H}$  ; on peut les accélérer dans un tube à décharge sous basse pression ; le bombardement par deutérons donne lieu à des transmutations de l'un des trois types suivants :

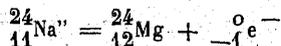
1° Transmutations avec émission de rayons *alpha* :



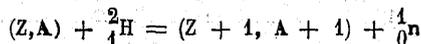
réaction fortement exoénergétique ; on connaît une vingtaine de réactions de ce type ; certaines conduisent à des radioéléments artificiels :



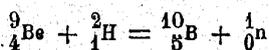
formation d'un radiosodium dont la période est  $T = 15 \text{ h}$  et que par suite, l'on peut obtenir en quantités notables ; ce radiosodium se désintègre spontanément avec émission d'électrons négatifs (rayons *bêta*) :



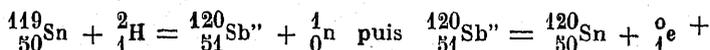
2° Transmutations avec émission d'un neutron :



Ces réactions ont un très bon rendement, un choc sur 10.000 est efficace, le bombardement du Beryllium par des deutérons accélérés dans un cyclotron constitue la source la plus active actuellement connue de neutrons :

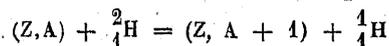


Dans certains cas, l'atome obtenu est radioactif :

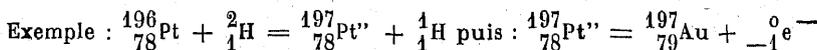


La période du radioantimoine obtenu est  $T = 13 \text{ m}$ .

3° Transmutations avec émission d'un proton :



On obtient un isotope du noyau initial ; le rendement de transmutation est très bon ; avec des deutérons assez rapides, on désintègre même les noyaux lourds tels que le Bismuth.



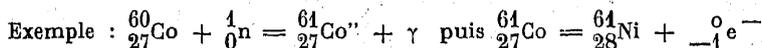
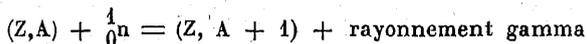
la période du radioplatine est de 14,5 h ; on obtient de l'or artificiel.

#### IV. Transmutations par les neutrons.

On en observe de 4 types :

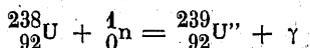
1° Capture du neutron avec émission de radiation (capture radiative).

Ce mode de réaction conduit à un isotope du noyau de départ qui, éventuellement, est radioactif :

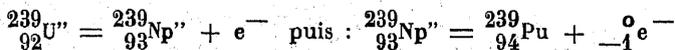


le radiocobalt formé a une période de 10 ans.

C'est dans ce type de réaction que rentre la formation de l'isotope 239 de l'Uranium à partir de l'uranium naturel 238.

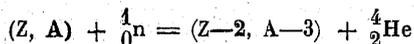


la désintégration spontanée de l'uranium 239 ( $T = 23 \text{ m}$ ) conduit au Neptunium élément transuranien, lui-même radioactif (période 2,3 j) qui se désintègre en donnant le Plutonium stable de nombre atomique 94

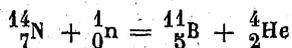


Le plutonium ainsi formé peut être séparé par voie chimique ; comme l'uranium 235, il subit la fission par chocs de neutrons avec libération d'une très grande quantité d'énergie, constituant ainsi l'une des matières premières de l'énergie atomique.

2° Transmutations avec émission de rayons *alpha*.



La première transmutation réalisée par FATHER par bombardement de neutrons rentre dans ce type :

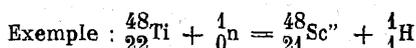
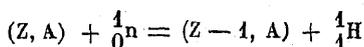


À la chambre de WILSON, le trajet du neutron est invisible, mais on enregistre les fourches à deux branches correspondant aux trajectoires des deux atomes projetés.

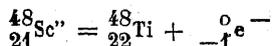
Les corps formés dans ce mode de transmutation sont très souvent radioactifs.

3° Transmutations avec émission de protons.

On obtient des noyaux qui ont même masse que les noyaux de départ et qui, très souvent, sont radioactifs.



Le radioscandium ( $T = 41$  h), se désintègre spontanément avec formation de titane et émission de rayons bêta :



4° Scission ou fission.

Dans toutes les transmutations que nous avons rencontrées jusqu'ici, les noyaux formés avaient soit le même nombre atomique que le noyau de départ, soit un nombre atomique voisin ne différant que de une ou deux unités ; en 1938, HAHN et STRASSMANN, étudiant l'action des neutrons sur l'Uranium, émirent l'hypothèse, confirmée depuis, que le noyau d'uranium se scindait en deux gros morceaux de nombres atomiques très différents de celui de l'Uranium.

On sait actuellement, à la suite des recherches pour la bombe atomique, que c'est seulement l'isotope 235, contenu en faible proportion (1/140) dans l'uranium naturel, qui subit la fission.

Autant qu'on puisse savoir, il existerait d'ailleurs plusieurs modes possibles de fission ; les premiers produits formés, radioactifs, se désintégreraient avec émission de différents rayonnements, *bêta* ou *gamma*, et en moyenne de deux ou trois neutrons.

La probabilité de provoquer la fission de U 235 dépend de la vitesse des neutrons ; les neutrons lents ayant une énergie d'une fraction d'électron-volt (neutrons thermiques), sont les plus efficaces.

Les neutrons provenant de la fission sont très rapides ; il convient de les ralentir si l'on ne veut pas être obligé d'utiliser de grands volumes de substance pour leur absorption. On mélange à cet effet l'uranium 235 (séparé de son isotope U 238 par spectrographie de masse ou par diffusions fractionnées à travers des parois poreuses) avec du graphite, aux atomes légers duquel les neutrons cèdent de l'énergie par chocs élastiques.

Le graphite doit être très pur, exempt notamment de tous corps absorbant les neutrons.

On conçoit que les fissions obtenues à partir d'un petit nombre de neutrons initiaux multiplient les neutrons dont le nombre croît en progression géométrique, finalement la fission pourra porter sur une masse importante d'Uranium 235.

Si cette masse est de un kilogramme, il y a une libération d'énergie de 8.300 milliards de kilogrammètres, soit 23 millions de KWh ou 20 milliards de grandes calories, de quoi porter de 0° à 100° 200 mille mètres cubes d'eau, l'équivalent de la combustion de 2.500 tonnes de charbon ; un peu de matière seulement se sera annihilé, exactement, d'après la relation d'EINSTEIN : 9 décigrammes.

Telle est actuellement l'une des sources de l'énergie atomique.

Une autre méthode, qui paraît plus avantageuse, car elle évite la séparation extrêmement pénible des isotopes de l'Uranium, consiste à bombarder l'Uranium naturel, mélange de U 238 et de U 235 par des neutrons, en profitant de l'enrichissement progressif en plutonium qui, comme l'uranium 235, est susceptible de subir une fission qui libère des neutrons.

Si la libération des neutrons se faisait au moment même de la fission, la réaction atomique serait toujours explosive ; il semble que la libération d'une partie tout au moins des neutrons se fasse dans la désintégration radioactive des produits immédiats ou successifs de la fission ; cette libération est donc dans une certaine mesure, retardée plus ou moins suivant les périodes des substances formées ; on dispose donc d'un certain délai que l'on peut utiliser à arrêter les neutrons à l'aide d'écrans interposés entre des couches d'uranium.

Autant que l'on sache, des écrans de Cadmium sont efficaces, et leur interposition permet de régler la libération de l'énergie.

Les grandes difficultés à résoudre dans l'installation des Centrales d'énergie atomique proviennent de la nécessité de manœuvres rigoureusement automatiques, à cause des dangers mortels des rayonnements qui accompagnent les désintégrations, également de la nécessité d'employer des corps d'une grande pureté, exempts de tous corps absorbants de neutrons, enfin du choix des matériaux, notamment des canalisations susceptibles d'évacuer les énormes quantités de chaleur produites, canalisations qui doivent résister aux températures élevées et aux actions chimiques que favorisent les divers rayonnements.

Outre cette application industrielle des phénomènes de transmutation, on doit prévoir des applications scientifiques nombreuses :

La préparation de radioéléments, isotopes de corps stables, tels que les radiocarbone ou radiosodium doit permettre de suivre dans les organismes vivants le cheminement de ces éléments que l'on décèle facilement par leur radioactivité.

La sensibilité des méthodes de détection des corps radioactifs doit permettre des études de microchimie qui seraient impraticables par tout autre procédé.

Cette conférence très applaudie fut suivie d'une très jolie expérience destinée à déceler par le son, dans un haut-parleur, la désintégration des atomes.

# SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY

---

## Convocation

---

La prochaine réunion de la Société des Sciences de Nancy aura lieu le *jeudi 11 Avril 1946*, à 16 h. 30, à l'Institut de Zoologie, 30, rue Sainte-Catherine, (dans l'Amphithéâtre du P. C. B.).

### ORDRE DU JOUR :

MM. Stéphane ERRARD : *Perfectionnement aux amplificateurs de basse fréquence.*

G. GARDET : *Sur le faciès oolitique du Lédonien de la Lorraine (= Bajocien inférieur).  
Sur un horizon gréseux du Domérien lorrain.*

H. CONTAUT : *Contrôle thermique de la marche des usines métallurgiques.*

---

Les personnes étrangères à la Société peuvent demander une invitation au Secrétariat général, 54, rue Stanislas.

---

**BULLETIN**  
DE LA  
**SOCIÉTÉ DES SCIENCES**  
DE  
**NANCY**

(Fondée en 1928)

SIÈGE SOCIAL :

Institut de Zoologie, 30, Rue Sainte-Catherine - NANCY

---

**COMMUNICATIONS**

**SÉANCE DU 11 AVRIL 1946**

**Présidence de M. OUDIN**

Directeur de l'Ecole Nationale des Eaux-et-Forêts



**Sur les faciès oolithiques du Lédonien de la Lorraine  
(Bajocien inférieur)**

par G. GARDET

Le Bajocien inférieur (= ex-Bajocien s. str.) se termine partout, du Jura à l'Ardenne, par un faciès calcaire blanc-grisâtre chargé d'entroques et d'oolithes claires ; à la base se discerne un horizon marneux un peu plus grossier (oolithe canabine) assez riche en *Bourguetia striata* Sow, tandis qu'au sommet réapparaissent des Polypiers en plateaux (*Isastrea*, *Latimæandra*, *Thamnastrea*, etc.) qui provoquent la topographie de petits escarpements ruiformes.

Polypiers, débris de Crinoïdes et d'Echinides mis à part, cette assise est peu fossilifère, mais c'est le gîte normal de *Cadomites Blagdeni* Sow, ce qui suffit à dater exactement la zone. Toutefois, la rareté de cette Ammonite a poussé les Géologues à adopter d'autres fossiles pour synchroniser ces dépôts dans le temps et dans l'espace et parmi eux un Echinide irrégulier (*Clypeus angustiporus* Ag.), assez fréquent

et généralement bien conservé, de préférence à des Lamellibranches de détermination difficile, parce que souvent à l'état de moules internes, ou à des Brachiopodes par trop liés aux formations coralligènes (*Rhynchonella Pallas* Ch. et Dew., *R. Langleti* Ch. et Dew., *R. Edwardsi* Ch. et Dev., etc.).

Dans le Jura méridional, la Côte-d'Or, le Plateau de Langres, les Vosges occidentales, les caractéristiques pétrographiques et paléontologiques de cette zone permettent de la différencier facilement des horizons sous-jacents définis par leurs faciès à entroques purs et leur puissante assise coralligène terminale (masse inférieure des Polypiers); par contre, à partir des environs de Nancy les choses se compliquent par suite de l'apparition d'assises oolithiques au niveau des Polypiers inférieurs, d'abord, puis se substituent de plus en plus aux calcaires à entroques typiques de la zone à *Cadomites Humphriesi* et *Otoites Sauzei*: au SW de Villerupt, la plus grande partie de l'étage est oolithique, avec alternats irréguliers plus ou moins purs de calcaires à entroques et de marnes grises à *Witchellia complanata* séparant le niveau à *O. Sauzei* de celui proprement dit à *C. Humphriesi*. En remontant vers le NW, par contre, la sédimentation oolithique et marneuse s'atténue progressivement et l'on retrouve les mêmes assises de calcaires à entroques et à oolithes plus ou moins fines qu'au S de Nancy.

Cette substitution d'assises oolithiques fines, dans l'axe du géosynclinal luxembourgeois, à celles franchement détritiques observées sur les ailes n'a rien d'extraordinaire, car elle cadre avec tout ce que l'on sait sur les sédimentations antérieures et postérieures du dit synclinal, mais elle complique les études sur le terrain, surtout quand foisonnent les petits accidents stratigraphiques difficilement identifiables à même le sol. Dès lors il devient nécessaire d'examiner attentivement la faune fossile, laquelle n'est jamais très abondante et absolument caractéristique.

À cet effet, on ne peut tabler ni sur les Polypiers, cependant abondants, ni sur les Crinoïdes (*Pentacrinus bajocensis*), ni la plupart des Echinides et surtout sur ceux dont les fragments de tests, les débris de radioles constituent la majeure partie des entroques (*Paracidaris spinulosa*, *P. Zschokkei*, *Balanocidaris cucumifera*, etc.); par contre, la succession verticale des Trigonies, des Cucullées, des Lucines, etc., fournit de bons indices et surtout celle des Brachiopodes que confirmera, la chance aidant, l'exceptionnelle récolte de fragments d'Ammonites.

Je viens de dire que les Echinides, s'ils facilitent l'identification en gros du Bajocien inférieur, ne permettent pas de dater exactement

une zone, car on les trouve abondamment du haut en bas de l'échelle stratigraphique ; il en serait de même pour certaines espèces moins communes et supposées jusqu'alors mieux localisées dans le temps, *Clypeus angustiporus* Ag., par exemple. Comme je viens de l'indiquer récemment dans le *B. S. G. F.* (1935, C. R., som., p. ) le type d'Agassiz provient de l'ex-Bajocien supérieur, c'est-à-dire de la zone à *Blagdeni* dont il reste un élément faunique essentiel, mais cela ne signifie pas que l'espèce n'ait pas apparu plus tôt, là, notamment, où les conditions de sédimentation ont permis à cette forme aplatie de s'installer (venant d'où ?), de prospérer ensuite. A moins, comme je l'ai fait remarquer dans la note précitée, qu'il ne s'agisse d'une forme voisine ou précurseur du type d'Agassiz, ce qui était l'idée de P. Thiéry, spécialiste en Echinologie.

Retenons de ces notes sommaires : 1° que les faciès colithiques ne sont pas exclusivement propres à la zone à *C. Blagdeni* du Lédonien et 2° que *Clypeus angustiporus*, à défaut d'Ammonites, permet à l'occasion, de sérier les niveaux dont il se compose : il demeure un élément typique de la zone dite à *C. Blagdeni*.

---

### Sur un horizon gréseux de la base du Domérien lorrain

par G. GARDET

---

1<sup>re</sup> Observation. — Lors d'une excursion préliminaire en forêt domaniale d'Amance, en compagnie de MM. GUINIER, OUDIN et SCHAEFFER, en 1935, j'ai été fortement intrigué par la présence d'une colonie de *Pogonatum aloides* P. de B., fructifiée, associée à de menues touffes de *Polytrichum formosum* L., dans le fossé S du chemin du Savoyard, au point où celui-ci se détache de la route de Champenoux à Bouxières-aux-Chênes, soit à 200 m. environ au NW du Rond-Point et de la Maison forestière de Champenoux (Cote 260,2 de la carte au 1/20.000<sup>e</sup>, la Seille). Un sol sablonneux, avec minuscules cristaux roulés de quartz, laissait supposer la présence en ce point d'un matériel alluvial lévigé (problématique ?) ou d'un horizon gréseux altéré superficiellement, en place, en couverture du niveau calcéro-marneux à *Deroceras Davoei* et *Lytoceras fimbriatum* atteint par des fouilles en lisière toute proche de l'Arboretum.

2<sup>e</sup> Observation. — En 1936, explorant seul sur la périphérie de la dite forêt, je tombai par pur hasard sur une fouille effectuée à 500 m.

environ au SW de la route de Lanfroicourt à Armaucourt (flanc NW de la cote 226,4) en vue de capter une sourcette sourdant à la base de bancs gréseux gris-jaunâtre de 100 à 120 cm. environ de hauteur. Le substratum de ces grès n'était pas observable ; le toit de la formation était coiffé par des sables siliceux fins (sol arable) pouvant provenir du remaniement par les charrues des bancs affleurants ou de la lixiviation de la terrasse fluviale de la Seille facilement observable à la cote 227,7, ainsi qu'au N de Lanfroicourt. J'ai cru me trouver en présence d'assises moyennes du Rhétien et, comme, à quelques mètres au SW de ce point j'avais pu observer de nombreux débris de *Deroceras Dawæi* et de *Lytoceras*, j'ai fait passer une faille en bordure SW de l'affleurement gréseux : la fugitive observation de l'année précédente était complètement oubliée.

3° *Observation.* — Une belle terrasse fluviale de la Seille domine de 30-35 m. sa plaine inondable et nivelle le plateau sinémurien entre Brin et Bey ; ses éboulis descendent jusqu'au-dessous de l'horizontale de 220 m. Plus haut, à la cote 243,8 s'observent d'autres matériaux de transport empruntés pour la plupart au démantèlement des assises gréseuses du Rhétien situé assez loin, en amont de la vallée de la Seille et de ses affluents. Cette dernière terrasse de + 45 m., ne s'étend pas loin au S de la cote citée et ne semble pas atteindre le bois communal de Bioncourt, dans les premières coupes duquel apparaît un sol sablonneux fin dont je n'ai pu m'expliquer de suite l'origine.

4° *Observation.* — Courant 1936, MM. OUDIN, SCHÆFFER et moi, à l'aide d'une petite sonde portative, cherchions à atteindre par forages peu profonds soit le Calcaire ocreux, soit l'horizon calcaréo-marneux à *D. Dawæi*, dans les coupes 5 à 10 de la forêt de Bioncourt. A notre grande surprise, en plusieurs points de la coupe n° 8, la sonde ramena des grès grisâtres fins identiques à ceux précédemment entrevus à l'W de Lanfroicourt. Il ne pouvait faire de doute ici que ces bancs gréseux étaient en place, car le Calcaire ocreux s'observe également en place dans les terrains communaux situés en lisière N du bois ainsi que, au SE et en contre-bas, dans les parties moyennes des coupes 16, 17, 18, etc., de la Série de Futaie claire dite de Saint-Jean-Fontaine, terminant au N la forêt domaniale d'Amance.

*Coordination et signification de ces observations.* — a) Entre Champenoux et Armaucourt au moins, à la base du Domérien et au toit des calcaires marneux à *Deroceras Dawæi* existe un niveau gréseux très mal connu et non exactement daté par une faune quelconque.

b) Ces assises poreuses, quand elles viennent affleurer par leur tranche orientale en bordure de la Seille, emmagasinent des eaux plu-

viales, ainsi que celles filtrant sans encombre au travers des sables siliceux alluviaux les coiffant localement, d'où la petite source captée à l'W de Lanfroicourt.

c) C'est cette zone siliceuse qui affleure en partie en corne NE de l'Arboretum. Décapée par des travaux de curetage du fossé de la route du Savoyard et non atteinte pour le moment par les eaux de ruissellement, elle a permis à de petites colonies muscinales achaliciques de s'installer et de prospérer temporairement.

d) La faille supposée et figurée au SW de Lanfroicourt et d'Armaucourt doit disparaître.

e) L'affleurement en biseau de ces grès sur la rive gauche de la Seille complique l'étude des sols. Sans analyse granulométrique poussée, il sera parfois difficile sinon impossible de discerner ce qui est produit d'altération du sous-sol ou matériel emprunté par lixiviation aux terrasses fluviales anciennes de la Seille. Du point de vue stratigraphique pur, il conviendra de penser que, par suite d'accidents stratigraphiques, les bancs gréseux identifiés peuvent se trouver parfois en contact direct avec les Grès rhétiens ou avec ceux de la base de la zone à *Paltopleuroceras spinatum* du Domérien supérieur.

f) Les bancs gréseux du Domérien prouvent nettement que la mer du Lias moyen était peu profonde et que quelque part sur l'emplacement des Vosges actuelles ou anciennes émergeaient de la mer d'importantes zones cristallines et gréseuses, ce qui confirme en partie les judicieuses observations de P. MAUBEUGE.

---

## SÉANCE DU 6 JUIN 1946

---

### Contribution à l'étude de la vision chez les Insectes

par R. MOREAUX

---

La fonction visuelle chez les Insectes a donné lieu à de multiples hypothèses relativement au rôle respectif des yeux composés et des ocelles.

Alors que certains auteurs, PHILIPPS, DOBKLEWICZ, von FRICH en particulier, ont considéré les yeux composés comme spécialement adaptés à la vision lointaine sous un fort éclairage et à la distinction des couleurs ou, du moins, de certaines couleurs, pour d'autres auteurs, tels

que LUBBOCK, FOREL, les ocelles constitueraient les organes de la vision rapprochée en éclairage réduit.

Nous nous sommes demandé si des observations faites sur l'Abeille, à l'étude de la biologie de laquelle nous continuons à consacrer une partie de notre temps, confirmeraient ou infirmeraient ces théories et ce qui nous a incité à des recherches dans ce sens c'est que, d'une part, l'Abeille possède les deux systèmes visuels et que, d'autre part, elle effectue des travaux nécessitant tantôt une vision lointaine sous un fort éclairage, lors du butinage par exemple, et tantôt une vision rapprochée dans la pénombre de la ruche.

De prime abord il semble bien que les yeux composés soient les organes de la vision lointaine en pleine lumière, le nombre de leurs ommatidies paraissant proportionné à cette fonction visuelle : c'est ainsi que les yeux composés des faux-bourçons, appelés à découvrir avec précision et à poursuivre au loin, sous une luminosité intense, une reine vierge, en vue de sa fécondation, seraient, d'après CHESHIRE, composés de 13.000 ommatidies ; ceux de l'ouvrière, nécessitant moins de précision, mais cependant destinés à la guider vers de vastes champs floraux diversement colorés, compteraient 6.300 ommatidies ; ceux de la reine, qui sort rarement de son logis et qui vit presque entièrement dans sa pénombre, ne comporteraient que 5.000 ommatidies, d'après le même observateur.

Mais si l'on est enclin à admettre ces hypothèses de vision lointaine pour les yeux composés et proche pour les ocelles, encore faut-il les baser sur des observations concluantes.

Dans ce but nous nous sommes attaché à supprimer artificiellement la vision de l'un ou l'autre système oculaire chez un certain nombre d'insectes. Pour ce faire nous avons opacifié, à l'aide d'un vernis spécial, les surfaces des yeux composés ou des ocelles d'abeilles et avons ensuite observé leur comportement. Voici les résultats de ces expériences :

Des ouvrières dont nous avons opacifié les yeux composés, replacées au sein de leur ruche, y vauaient normalement à leurs occupations intérieures (cirières, nourrices, nettoyeuses, etc...) Par contre elles ne sortaient plus de leur logis et si elles se hasardaient sur la planche d'envol, elles rentraient précipitamment, ne prenant pas leur essor.

Si, par hasard, quelques-unes d'entre elles s'envolaient, elles ne tardaient pas à se jeter contre un obstacle (mur, arbre) qu'elles semblaient n'avoir pas vu.

Il en fut de même de faux-bourçons aux yeux composés artificiellement opacifiés.

Si, au contraire, on opacifiait les ocelles d'ouvrières, laissant libres

leurs yeux composés, elles gagnaient toutes l'entrée de leur ruche. Après quelques hésitations elles s'envolaient et allaient normalement à la récolte. Mais lorsqu'elles en revenaient, elles ne rentraient dans leur logis que pour en ressortir aussitôt, comme si hypermétropes ou aveugles dans la pénombre, elles ne pouvaient se diriger, ni effectuer aucun travail. Dès lors, leur jabot non vidé, elles demeuraient sur la planche d'envol.

Poussant plus loin nos expériences, nous nous sommes adressé à deux reines particulièrement prolifiques, assurant normalement une ponte dense en larges placards sans interstices. A partir du moment où nous avons opacifié leurs ocelles, ces reines ont effectué une ponte disséminée, d'abord en travées irrégulières sur un même rayon, puis au hasard de leurs courses sur des rayons différents, comme si elles étaient aveugles au sein obscur de leur ruche.

L'épreuve contraire consistant à opacifier les yeux composés d'une reine ne modifia aucunement la distribution de sa ponte.

Ayant enfin opacifié les yeux composés d'une reine à la veille d'un essaimage, cette reine tarda quatre jours à sortir, malgré des conditions atmosphériques favorables et malgré la naissance d'une jeune reine de remplacement. Le cinquième jour elle sortit enfin, mais se laissa choir à un mètre de la ruche, où se rassembla tout l'essaim, comme si, privée de la vision lointaine en plein jour, cette reine n'avait pu se diriger, malgré sa parfaite constitution morphologique dont nous nous sommes assuré.

Ces quelques expériences assez délicates à réaliser, semblent donc nous permettre de nous rallier aux assertions des auteurs précités, à savoir que les yeux composés seraient destinés à la vision lointaine sous une luminosité intense et les ocelles à la vision rapprochée en faible lumière. Toutefois ce n'est là qu'une modeste contribution aux théories qui ont été émises relativement à la vision chez les insectes et qui demandent à être étayées de nouvelles et multiples observations.

*(Note du Laboratoire d'Etudes et de Recherches Apicoles  
de la Faculté des Sciences de Nancy).*

---

## Fréquence du Cestode *Nematotænia* chez la Grenouille rousse

par B. CONDÉ et R. HUSSON

---

Les *Nematotæniida* sont des *Cyclophillidea* aberrants dont le corps, de section sub-cylindrique, ne présente de segmentation apparente que dans sa région postérieure. Leur scolex, pourvu d'un rostellum rudimentaire, est inerme. Leur seul représentant français, *Nematotænia dispar* Goeze, parasite à l'état adulte de nombreux Anoures (*Pelobates fuscus* Laur., *Bufo vulgaris* Laur., *Bufo viridis* Laur., *Hyla arborea* L., *Rana esculenta* L., *Rana agilis* Thomas) des Urodèles (*Salamandra atra* Laur., *Triton alpestris* Laur.) et un Gecko (*Tarentola mauritanica* L.).

En France, selon Ch. JOYEUX et J. BAER (1936), ce Ver s'observe surtout dans la région méridionale où il est fréquent chez le Gecko ; cependant M. le Pr. Ch. JOYEUX nous a écrit tout récemment : « Ce Cestode méditerranéen est de plus en plus souvent signalé en climat tempéré et même assez froid, Je l'ai vu aux environs de Paris ; mon collègue J. BAER m'écrit qu'il l'a trouvé en Suisse près de Neuchâtel » (1).

Dans l'Est de la France, P. REMY (1943) en a signalé plusieurs exemplaires dans une *R. temporaria* récoltée à Weyersheim (Bas-Rhin) et disséquée en juin 1935 à Strasbourg ; H. BARTHÉLÉMY, chef de Travaux, voyait ce Cestode pour la première fois bien qu'il ait fait disséquer plus de 8.000 Grenouilles provenant de la région ; il ne semble pas qu'on l'ait revu depuis (J. VIVIEN et F. GOUIN, *in litt.*).

Nous avons rencontré de très nombreux *Nematotænia* dans des *R. temporaria* disséquées au Laboratoire fin janvier 1945 ; ces Grenouilles, achetées au marché de Nancy à la mi-décembre, provenaient de la vallée de la Moselle, sans que nous ayons pu malheureusement connaître la station exacte. Nous avons ouvert l'intestin de presque tous les exemplaires et procédé à la récolte systématique des Cestodes ; ceux-ci se trouvaient dans l'intestin antérieur et moyen qu'ils dilataient considérablement lorsqu'ils étaient en nombre ; les hôtes n'en paraissaient d'ailleurs pas incommodés.

Sur 176 Grenouilles examinées (86 ♂, 90 ♀), 52 (22 ♂, 30 ♀) étaient parasitées, soit 29,5 %. La densité des parasites était fort variable selon les individus ; chez 1 ♂ nous avons dénombré 195 sco-

(1) Nous remercions très vivement M. le Pr. Ch. JOYEUX des conseils et des renseignements précieux qu'il a bien voulu nous donner.

lex, chez 1 ♀ 105, dans 9 autres cas l'effectif s'échelonnait entre 80 et 30, ailleurs il était inférieur à 30. Ces nombres sont sans doute un peu au-dessous de la réalité, car il faut tenir compte des scolex qui sont demeurés fixés à la muqueuse intestinale et nous ont ainsi échappé. Pendant leur séjour au Laboratoire (environ un mois et demi) les Grenouilles avaient expulsé des paquets de Cestodes que nous avons retrouvés au fond du bac qui les abritait. Le plus long Ver observé atteignait 145 mm. (la plus grande longueur citée par les auteurs est 220 mm.).

Le cycle de *Nematotænia dispar* est inconnu. M. le Pr. Ch. JOYEUX (*in litt.*) a tenté sans succès d'infester de petits Crustacés (Gammare et Cyclopes) en les mettant en présence d'anneaux mûrs. Sur le conseil de cet éminent spécialiste, nous avons examiné le contenu intestinal de quelques Grenouilles parasitées, espérant obtenir ainsi des renseignements sur leur régime alimentaire ; ce fut en vain, car leur tube digestif était complètement vide à la suite du jeûne hivernal. Il ne serait pas impossible que l'hôte intermédiaire soit un Arthropode terrestre, car si les formes aquatiques constituent une partie de la nourriture des Batraciens, au moins à l'époque de la reproduction, il n'en va pas de même pour le Gecko qui est pourtant fréquemment parasité.

(Faculté des Sciences de Nancy, Laboratoire de Zoologie.)

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1936 — JOYEUX (Ch.) et BAER (J.-G.) — Cestodes (*Faunes de Fr.*, XXX, 613 p.).  
1943 — REMY (P.) — Notes faunistiques. I. (*Bull. Soc. Linn. Lyon*, XII, p. 139-142).

---

### Remarques sur la stratigraphie de l'« Aalénien ferrugineux » (Yéovilien supérieur et Aalénien) des bassins du nord de la Lorraine et de ceux du Luxembourg

par Pierre MAUBEUGE

---

Dans leur ouvrage bien connu « Le bassin ferrifère de Lorraine », BICHELONNE et ANGOT ont essayé de préciser les rapports des différents horizons exploités de l'« Aalénien ferrugineux » lorrain avec les zones classiques d'Ammonites. C'est d'ailleurs grâce aux travaux de M. le colonel Ch. GÉRARD que cette partie a pu être réalisée. De nombreuses incertitudes subsistent dans le travail quant à l'âge des dif-

férentes couches de minerai et de stériles ; les auteurs insistent d'ailleurs sur ce point.

Mes recherches dans les Bassins franco-luxembourgeois, aidées des remarquables travaux de N. LAUX, et de ceux, contemporains, de M. LUCRUS (1), me permettent de proposer le tableau stratigraphique suivant. Mes horizons paléontologiques successifs ne sont pas ceux du Colonel GÉRARD qui comprennent parfois plusieurs niveaux paléontologiques distinguables ; ceux-ci ne peuvent à aucun prix être acceptés ainsi : ils ne répondent pas, pour certains, à des divisions naturelles très importantes.

La justification et toutes les explications concernant ce tableau stratigraphique seront données dans mon travail de thèse.

BICHELONNE et ANGOT avaient nettement pressenti, et M. LUCRUS l'établit de son côté indépendamment de moi, qu'aucun synchronisme ne peut être fait entre les groupes de Bassins orientaux et occidentaux par rapport à la faille d'Audun-le-Tiche, en se basant uniquement sur les couleurs des couches. Seules les couches inférieures sont à peu près synchroniques dans les deux Bassins.

Cette dysharmonie s'explique comme il suit ; et cela vient compliquer les vues plus simples que l'on se faisait avec H. JOLY du Golfe du Luxembourg au Jurassique.

(1) Ce terme d'« Aalénien ferrugineux », consacré par l'usage, ne peut être conservé dans la littérature géologique. Les définitions et règles fondamentales en Stratigraphie obligent à observer la classification stratigraphique suivante admise par les auteurs anglais :

Le Yeovilien, étage le plus inférieur des deux, comprend une partie de l'ancien Aalénien des auteurs lorrains et la partie supérieure de l'ex-Toarcien.

L'Aalénien comprend la partie supérieure de l'Aalénien ancien style.

L'Aalénien, tel qu'il a été admis par HAUG après MAYER-EYMER (1864) a pour type une série stratigraphique prise à Aalen dans le Wurtemberg. Les couches correspondantes se sont déposées pendant les héméras *opalinum* à *murchisona* sensu-lato.

Le Yeovilien, tel qu'il a été admis et défini par S. S. BUCKMAN, en 1910, a pour type une série stratigraphique prise à Yeovil, dans le Somerset. Les couches correspondantes se sont déposées pendant les héméras *striatulum* (ex-Toarcien moyen) à *moorei* (ex-aalensis comprise):

Pour une commodité d'exposé, j'emploierai dans mes publications le terme de Yeovilien supérieur pour les couches correspondantes à l'ancien Aalénien : héméras *dispansum* à *moorei* incluses. Ceci correspond à des divisions naturelles dans tout le bassin ferrifère lorrain.

Le terme d'Aalénien sera appliqué aux épiboles correspondantes aux héméras *opalinum* à *concava*.

Dans le Bassin de Nancy, l'Aalénien ne comprend donc au maximum qu'une mince série de couches, très peu épaisse, au toit de la formation. Dans les Bassins septentrionaux, les séries correspondantes sont notablement plus épaisses.

Mes divisions stratigraphiques ainsi harmonisées avec celles utilisées par l'école anglaise, répondent à la réalité des faits.

Au début du Yeovilien supérieur, pendant le dépôt des zones à *Dumortieria Levesquei* et *Dumortieria pseudoradiosa*, les deux groupes de Bassins Esch-Orne, Differdange-Longwy, communiquaient à peu près librement. Car il semble bien certain qu'il y avait déjà à l'emplacement de l'actuelle Faille d'Audun-le-Tiche une région de surélévation.

Dès le dépôt de la zone à *Dumortieria Moorei*, les relations entre les deux groupes de Bassins sont franchement gênées par un haut fond.

M. M. LUCRUS croit déceler à cette époque des tendances à un soulèvement du fond marin dans le Bassin de Differdange et des tendances à un affaissement dans celui d'Esch. Rien de décisif ne permet de le démontrer.

En effet, l'auteur se base sur les faits suivants pour étayer son opinion.

Les couches siliceuses, sauf la couche 1 (brune d'Esch, rouge de Niedercorn), sont des minerais à ciment de chlorite et de sidérite liant les oolithes ; ce sont les types de minerai 1 et 2 de M. LUCRUS. Pour l'auteur, ce minerai est formé dans une mer assez profonde. Dans sa couche 1, les oolithes sont de ses types de minerai 3 et 4, c'est-à-dire qu'elles ne renferment que de la limonite. Pour M. LUCRUS, ce minerai est formé dans une mer peu profonde.

Ses couches 1 (grise) et 2, 2a (jaunes), renferment de nouveau des oolithes chloritheuses, tandis que les oolithes des couches calcaires inférieure et supérieure sont franchement des formations d'une mer peu profonde et en voie de soulèvement.

Je pense que cela n'est pas démonstratif quant à l'état du milieu de formation ; on ignore en réalité presque tout des conditions de la genèse des différentes couches de la minette. L'hétérogénéité des couches n'implique pas forcément des modifications de la profondeur telles que l'on ait tendance à une émergence dans un des deux Bassins ; d'autres causes ont pu jouer, expliquant la nature de ces différentes couches. En réalité, c'est une explication de cette hétérogénéité que propose M. M. LUCRUS, et non une déduction paléogéographique d'après la nature du minerai.

Le haut fond d'Audun-le-Tiche, ainsi que je l'appellerai, a cessé de faire sentir son action au Bajocien avec l'invasion marine de l'héméra *discites*.

Je crois que ce haut fond nous donnerait peut-être la clef d'une étrange anomalie paléontologique en ce qui concerne le biochron d'un groupe d'Ammonites. En effet, dans les cinq Bassins lorrains élémentaires, *Pleydellia aalensis* Ziet., *Pleyd. subcompta* Branco, *Walkericeras lotharingica* Branco, n'existent plus à la fin de l'héméra *moorei*.

Dans le Schlewicke, à Hilsmulde N. et S., à Dörnten, Salzgitter, en Souabe, sans doute en Alsace (d'après ce que j'ai pu déduire du travail de SCHNEIDER), dans la région de Thouars, le Calvados, l'Aquitaine, sans doute le Rhône, *Pleydellia aalensis* et les formes de son groupe n'existent plus à la fin de l'héméra *moorei*. Ceci est déduit des travaux où des déterminations et des localisations exactes et rigoureuses sont de règle. En Angleterre, il en est de même ; il y a même individualisation d'un niveau à *Pleydellia aalensis* que BUCKMAN et ses successeurs ont pensé pouvoir admettre au rang d'épibole caractérisant une héméra.

Après avoir douté fortement de cette héméra (3), je la rejette. En effet, si en Lorraine, *Pleydellia aalensis* ne va pas au delà de la zone (et non de l'épibole) à *Dumortieria Moorei*, elle existe déjà au milieu du Yeovilien supérieur. Cette espèce ne répond donc pas aux caractères requis pour en faire une espèce indice d'une héméra.

Or dans le Bassin d'Esch, *Pleydellia aalensis* vit jusque dans la « zone à *Harpoceras opalinum* » de Laux ; c'est-à-dire en langage clair, jusque dans l'héméra *costosum*. Je crois qu'elle n'est pas arrivée dans ce Bassin jusqu'à l'héméra *opalinum* (= *opaliniforme*).

La présence du haut fond d'Audun-le-Tiche, accompagnée d'autres obstacles non encore reconnus, — ou disparus, — dans les régions érodées nord et est, expliqueraient cette longévité par un isolement géographique. Nécessairement, le relief de la région d'Audun-le-Tiche n'était donc pas recouvert par les eaux pendant une assez longue période.

J'insisterai sur le fait très curieux que la séparation des deux groupes de Bassins Esch-Orne, Longwy-Differdange, est très brusque. Il sera du plus haut intérêt de préciser les limites extrêmes d'extension de chacun d'eux, et d'étudier leur raccordement. C'est, entre autres, un point que j'ai commencé à examiner sur le terrain et que je compte continuer à étudier.

La faille d'Audun-le-Tiche, coïncidant avec cette limite naturelle des deux groupes de Bassins, apparaît comme un très bel exemple de ce que A. ROBAUX a appelé en Lorraine (2), une « faille tectonique », par opposition aux « failles de tassements ». Ces « failles tectoniques » ne sont pas autre chose que les « failles directionnelles » de Ch. BARROIS. Ce second terme proposé pour la première fois à propos d'accidents analogues reconnus en Bretagne, paraît très préférable au premier ; en effet, tout accident peut être qualifié de tectonique.

J'ajouterai que la présence de hauts fonds en Lorraine pendant la fin de la période yeovilienne et pendant la période aalénienne est quelque chose de fréquent. Ces hauts fonds sont ce que les auteurs

anglais ont appelé des « axes de soulèvement ». Dans mon travail de thèse, je m'attacherai à en décrire de plus méridionaux, limitant le Bassin de Nancy et ayant fait sentir leur action plus au sud encore, à partir du parallèle de la côte témoin de Sion (au sud de Vézelize).

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- (1) Michel LUCIUS. — Die luxemburger minetteformation. etc... Texte et atlas, Luxembourg 1945. Publications du service de la carte géologique de Luxembourg, Band IV (Bibliographie complète).
- (2) A. ROBAUX. — Etude géologique de la région de la Forêt de Haye. Nancy, 1934. Extr. Bull. Soc. Ind. de l'Est.
- (3) Pierre L. MAUBEUGE. — Sur la stratigraphie du sommet de l'Aalénien ferrugineux et de la base du Bajocien dans le Bassin de Nancy. Bull. Soc. Géol. de France. Décembre 1945, sous presse.
- (4) D. BICHELONNE et P. ANGOT. — Le Bassin ferrifère de Lorraine. Nancy, Berger-Levrault 1939. Un volume, texte et atlas.

\*  
\*\*

#### *Remarque au tableau stratigraphique*

Dans le bassin de Differdange, à Niedercorn, les trouvailles de M. Lucrus permettent de préciser l'existence d'épiboles *murchisonæ* et *concaua*. Soit qu'elles n'aient pas été conservées, soit que la sédimentation n'ait pas eu lieu, dans le bassin de Longwy je n'ai pas trouvé trace de ces épiboles. Les épiboles conservées s'arrêtent avec le conglomérat aux épiboles *staufensis* à *costosum* incluses.

Les synchronismes proposés entre chacun des bassins ne peuvent prétendre à une grande rigueur ; la sédimentation ayant été en réalité très compliquée, les raccords ne valent que pour l'ensemble ou une fraction importante de chaque couche.

ETAT DE NOS CONNAISSANCES STRATIGRAPHIQUES SUR L'AALÉNIEN  
FERRUGINEUX DES BASSINS FRANCO-LUXEMBOURGEOIS  
ET SYNCHRONISMES ENTRE LES DIFFÉRENTS BASSINS

Epiboles	Bassin de l'Orne (Esch)	Bassin de Longwy (-Differdange)
<i>discites</i>	Marnes micacées	Marnes micacées
<i>concaua</i>	Rouge marnosableuse	Couche calcaire à concrétions (0 m. 10), marnes sableuses à oolithes, seconde couche à concrétions * (3)
<i>murchisonæ</i>		Couche calcaire de 0 m. 15, ta- raudée, portant des galets plats, au toit de la couche calcaire supérieure * (3)
<i>staufensis- ancolioceras</i>	Rouge sableuse, congloméra compris, à rouge secondaire inférieure	Conglomérat (??)
<i>sinon</i>		Conglomérat (??)
<i>costosum- scissum</i>		Base du conglomérat (1) et toit de L 1
<i>opalinum</i>	Rouge principale à jaune principale	L 1 (?)
<i>plicatellum- partitum</i>	Grise et stériles supérieu- re	Couche calcaire supérieure (L 1)
<i>moorei</i>	Stériles supérieurs à brune et brune	Base de L 1 (?), calcaire co- quillier de base des stériles entre L 1 et L 2 (2), couche calcaire inférieure (L 2), sté- riles de rouge et rouge (L 3)
<i>pseudoradiosa</i>	Au moins base et mur de la brune, intercalaire en- tre brune et noire	Stériles de grise et grise (L 4)
<i>levesquei et dispunsum</i>	Stériles inférieurs à brun, noire et verte, tête des stériles inférieurs à la verte	Stériles de noire (pars?), noire (L 5), stériles de verte, verte, tête des stériles inférieurs à la verte

(1) Etabli dans le bassin de Longwy.

(2) Etabli dans le bassin de Differdange.

(3) Données fournies par M. M. Lucrus.

(\*) Etabli seulement à Niedercorn.

## SÉANCE DU 24 OCTOBRE 1946

---

### Sur le prolongement du gisement de minerai de fer oolithique toarcien (« aalénien ferrugineux » et yéovilien supérieur) du sud de la région de Sion (M.-t.-M.) au nord de la région de Langres (Haute-Marne)

#### NOTE PRÉLIMINAIRE

par Pierre-L. MAUBEUGE

---

Si l'on cherche des renseignements stratigraphiques sur le prolongement de la formation dite de l'« Aalénien ferrugineux » au sud du Bassin de Nancy, on ne trouve que peu de documents dans la littérature géologique. BICHELONNE et ANGOT, dans leur remarquable synthèse sur cette formation dans l'Est de la France sont très laconiques à ce sujet. Ils ne peuvent que résumer quelques données de G. CORROY à ce propos, lequel s'était beaucoup basé, pour écrire son travail, sur une note d'AUTHELIN. Cette dernière note est d'ailleurs le seul travail original sur la question. Il semble même, bien que rien ne soit précisé à ce sujet, que M. CORROY a résumé pour la plus grande part les résultats obtenus par AUTHELIN ; on ne peut s'expliquer autrement un certain nombre de données rapportées dans le travail de M. CORROY, avancées pour la première fois par AUTHELIN. Un exposé sommaire des faits tentera de poser le problème et de montrer les résultats certains.

#### DESCRIPTION SOMMAIRE DES COUPES ÉTUDIÉES

*Massif de Dampierre* (à une douzaine de kilomètres au N. de Langres), (Coupe de haut en bas) :

4 m. Calcaires bajociens jaunâtres, terreux, avec récifs de Polypiers au sommet (1).

(1) A différents endroits dans la région de Langres, j'ai remarqué dans des pierrailles provenant de cet horizon (couches peut-être un peu supérieures à celles visibles ici) un fossile nouveau pour l'Est de la France. Il s'agit très certainement de morceaux de récifs de Solénopores, parfaitement reconnaissables à leur structure zonée, non imputable à des Polypiers. Je m'attarderai plus tard à cette question.

Note complémentaire : M. G. GARDET vient de me communiquer par écrit sa

- 0,20 Marnes gris-blanchâtres à débris de *Pleydellia* (phosphatés ?).  
2,00 Minerai rouge à *Dumortieria*, *Pleydellia adense*, *Walkericeras lotharingica*, *Gryphea ferruginea*.  
1,00 Marnes grises à oolithes ferrugineuses peu fossilifères ; à la base, *Dumortieria* sp.  
1,40 Minerai de fer oolithique marneux, avec, à sa moitié supérieure, *Phlyseogrammoceras dispansum*. Le minerai est rouge violacé à la partie supérieure.

Calcaires marneux gris bleuâtres à *Grammoceras* du groupe de *fallaciosum* dans des marnes micacées.

*Massif de Bewezim*. (Vosges, au SW de la colline de Sion, M.-et-M.)  
Calcaires oolithiques blancs coquilliers bajociens.

Calcaires spathiques jaunâtres ferrugineux, aaléniens, avec à la base *Dumortieria* sp. Passage continu aux assises supérieures et inférieures.  
2 m. - 2 m. 10 : Minerai oolithique marneux à taches lies, violacées ou bleuâtres, se débitant en plaquettes. Passées de calcaire cristallin marneux ferrugineux.

Minerai de fer oolithique typique, *Dumortieria* sp. indéterminables fréquentes.

1 m. 80 - 2 m. : Marnes micacées calcaires, jaunâtres, avec taches bleuâtres au sommet.

8 - 10 m. : Marnes micacées à nodules phosphatés et grosses miches calcaires bleuâtres, elles-mêmes à nodules phosphatés. Nombreux *Pseudogrammoceras* sp. ; *Pseud.* du groupe de *Struckmanni* Buck.

La première de ces coupes est en accord avec ce que AUTHELIN et CORROY ont établi pour la même région. La seconde n'est qu'en partie en accord avec la coupe d'AUTHELIN, mais en désaccord complet avec ses conclusions stratigraphiques.

#### CONCLUSIONS STRATIGRAPHIQUES

On voit que par sa faune d'Ammonites, la formation ferrugineuse de ces deux régions correspond presque complètement à la partie productive de la formation ferrifère du Bassin de Nancy : épiboles *levesquei* (*dispansum* incluse) à *moorei*, partie ou totalité. Tout au plus, la minéralisation aurait commencé un peu plus tôt que dans le bassin de Nancy, à l'héméra *dispansum*.

L'individualisation des caractères nouveaux de la formation ferrugineuse découverte, l'été dernier, d'un beau gisement de Solénopores dans la région située au Sud de Langres (Noidant-Châtenois). Notre confrère, par sa découverte de gisements in-situ, indépendamment de mes recherches, a donc une légère antériorité, légitime, de découverte de ce fossile dans l'Est de la France.

gineuse, immédiatement au delà de la Colline de Sion, est due au dôme anticlinal de Mont-sur-Meurthe-Andelot. Son action s'est fait sentir dès le Lias inférieur ; j'aurai à revenir plus amplement sur cet axe anticlinal, et d'autres encore, dans un travail plus étendu.

Dans sa publication, AUTHELIN prétend que les marnes à nodules phosphatés sont d'un niveau supérieur à des couches ferrugineuses correspondant à l'horizon à *Leioceras opalinum* (zone à *L. opalinum* s. tr., ici assimilable à l'héméra *opalinum*). La coupe de la route de Aboncourt à Beuvezin montre que ces marnes à nodules phosphatés sont situées sous le minerai daté comme yeovilien. J'ai longtemps cherché à m'expliquer cette étrange méprise. Dans ce but, j'ai recherché, en vain, les échantillons récoltés par AUTHELIN dans la région étudiée. Pour cela, j'ai examiné sans exception tous les documents paléontologiques des collections du Laboratoire de Géologie de Nancy se rapportant à l'étage.

La possibilité d'explication des conclusions d'AUTHELIN m'est venue par une autre voie. Je pense que l'auteur s'est basé uniquement sur les Ammonites recueillies dans le niveau à nodules phosphatés, en l'absence de récoltes de fossiles dans le minerai. Et pourtant, à Beuvezin, on voit le minerai en superposition nette sur cet horizon. AUTHELIN a vu ce minerai puisqu'il lui donne un âge bajocien, mais il n'a pas dû y rencontrer d'Ammonites.

Il reste à se demander avec quel genre d'Ammonites l'auteur a pu confondre *Leioceras opalinum*.

J'ai recueilli à Laxou un exemplaire d'une petite Ammonite non encore déterminée faute de bibliographie. Cette forme certainement rare en Angleterre n'a pas été signalée dans nos régions. Son niveau est situé un peu en-dessous de celui à *Phlyseogrammoceras dispansum*, dans un horizon à mêmes caractères pétrographiques qu'à Beuvezin.

Bien que ce ne soit pas à coup sûr un *Leioceras*, cette curieuse forme présente avec ce genre des ressemblances telles que l'on conçoit qu'un chercheur peu prévenu, en face d'un exemplaire médiocre ou très jeune, soit induit en erreur. Je pense que AUTHELIN a dû se trouver dans ce cas, car il parle assez prudemment de *Leioceras* du groupe de *opalinum* et s'abstient de toute détermination spécifique ; il n'a pas gardé cette réserve dans ses conclusions d'ordre stratigraphique.

Il ressort donc que des huit conclusions de son résumé, cinq ne peuvent pas être ainsi conservées.

Dans les deux points étudiés ici, il ne semble pas y avoir eu de dépôt de sédiments correspondant à la formation du conglomérat ferrugineux terminal, du type de Marbache. Les sédiments correspondant à l'horizon

zon à *Hyperlioceras discites* ne semblent pas avoir été déposés ou tout au moins conservés (1).

Les huit épiboles correspondant aux héméras *plicatellum* à *discites*, de la fin du Toarcien et du début du Bajocien, paraissent donc absentes.

Ces résultats ne concordent pas exactement avec le tableau stratigraphique schématique de M. G. CORROY. Il se peut que l'auteur ait été en présence de lambeaux de ces horizons respectés sporadiquement par l'érosion. A moins qu'il ait rapporté arbitrairement des sédiments dépourvus de faunes d'Ammonites à des zones paléontologiques classiques.

Il est aussi très probable que M. CORROY ait bien rencontré un conglomérat au toit de la formation au Nord du Massif de Vandéleville-Beuvezin (2). Mais il n'existe pas au sud de ce même massif (Beuvezin-Aboncourt) ; c'est un fait certain. Ceci me semble dû à l'existence du dôme anticlinal signalé. Dans ce cas, l'auteur donnerait une place trop importante au niveau conglomératique dans une des colonnes de son tableau récapitulatif (p. 45).

Des études ultérieures apporteront des détails sur ces points si intéressants de la géologie du Bassin ferrifère lorrain et sur son extension méridionale.

On voit en tout cas qu'il y a une constante uniformité stratigraphique dans le dépôt du minerai de fer oolithique supraliasique, aucun gisement bajocien et sans doute aalénien (sensu stricto) n'existant dans la région étudiée.

(1) A la côte de Sion et à celle de Pulney, ils semblent bien encore présents, au moins partiellement.

(2) Notons toutefois qu'à la côte témoin de Sion-Vaudémont, le conglomérat n'existe pas.

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Ch. AUTHELIN. — Notes stratigraphiques sur l'Est du Bassin Parisien, I. Sur le Toarcien de la région comprise entre Sion (M.-et-M.) et Bourmont (Hte.-Marne). B. Soc. Sc. Nancy 1901.
- G. BICHELONNE et P. ANGOT. — Le Bassin ferrifère de Lorraine. Nancy, Berger-Levrault, 1939.
- G. CORROY. — Etude stratigraphique et tectonique des régions nord du seuil de Bourgogne et du Bassin des eaux minérales vosgiennes. *Annales Fac. Sc., Marseille*, 1934.
- P. L. MAUBEUGE. — Le sommet de l'Aalénien et la base du Bajocien dans le Bassin de Nancy. Note préliminaire *B.S.G.F.* 1945 (sous presse).
- P. L. MAUBEUGE. — Remarques sur la stratigraphie de l'« Aalénien ferrugineux » (Yeovilien supérieur et Aalénien) des Bassins du nord de la Lorraine et de ceux du Luxembourg. *Bull. Soc. Sc. Nancy*, juin 1946 (à paraître).

## Une méthode nouvelle de caractérisation et de microdosage de l'arsenic en solution chlorhydrique

par H. CORDEBARD

Maitre de Conférences à la Faculté de Pharmacie de Nancy

---

La caractérisation de l'Arsenic dans les substances minérales et dans les matières organiques n'est pas un problème nouveau.

Tout au contraire, les méthodes de caractérisation et de microdosage de ce poison ont été tellement étudiées et perfectionnées depuis un siècle qu'elles sont considérées par les Toxicologues comme les plus parfaitement au point.

Un rapide coup d'œil sur les techniques employées jusqu'alors nous en rappellera les principes essentiels.

C'est en 1836 que Robert MARSH, chimiste anglais, prépare l'arséniure d'Hydrogène ou Hydrogène arsénié  $\text{AsH}_3$  gazeux en réduisant par l'hydrogène naissant les solutions d'arsénites ou d'arséniates.

MARSH mit à profit la dissociation de ce gaz à haute température pour obtenir, dans des tubes de verre épais chauffés à  $600^\circ$ , des anneaux gris-noirâtres d'arsenic à reflets métalliques dont le poids correspond à l'arsenic en solution. La méthode de MARSH fut progressivement perfectionnée, en particulier par les remarquables travaux d'Armand GAUTIER et de Gabriel BERTRAND, en 1903 à tel point que l'on peut aujourd'hui, par comparaison avec des tubes témoins étalonnés à l'avance, estimer le centième et même quelques millièmes de milligramme d'arsenic.

En 1874, MAYENÇON et BERGERET proposèrent de caractériser l'Hydrogène arsénié par une réaction différente. Au lieu de le décomposer par la chaleur, ils faisaient agir ce gaz sur le chlorure mercurique qui donne à son contact une coloration variant du jaune au brun, suivant la proportion d'arsenic.

Cette technique, successivement améliorée par un grand nombre de chimistes, semble avoir été mise définitivement au point par Jean CRIBIER en 1921. En opérant avec une bande de papier blanc imprégné d'une solution de chlorure mercurique, puis séché, J. CRIBIER obtient par contact avec l'hydrogène arsénié, une tache jaune-brun stabilisable par l'iodure de potassium dont la longueur permet d'estimer de très faibles quantités d'arsenic jusqu'au  $\gamma$ , ou millième de milligramme d'arsenic.

L'une et l'autre de ces méthodes donnent d'excellents résultats entre les mains de spécialistes expérimentés et avertis, mais elles nécessitent un grand nombre de précautions essentielles, dont les trois principales sont :

- un appareillage délicat,
- des réactifs chimiques d'une très grande pureté,
- et surtout, la destruction rigoureuse des matières organiques au sein desquelles est fixé ou disséminé l'arsenic, ce qui représente toujours un problème long et pénible.

\*  
\*\*

C'est pour éviter ces inconvénients que j'ai réalisé une technique beaucoup plus simple, basée sur un principe différent et d'une sensibilité comparable.

En principe, au lieu de dégager de l'arséniure gazeux, on fait de l'arséniure de cuivre fixe. Une lame de cuivre pur de 1 cm. carré environ, plongée dans 4 à 5 cc. de liqueur arsénicale additionnée de son volume d'acide chlorhydrique, se recouvre à chaud, au B.-M. à eau bouillante, d'un enduit noir et adhérent d'arséniure cuivreux.  $As Cu_3$ .

Cette fixation de l'arsenic sur le cuivre a lieu même en présence de matières organiques. Mais la coloration brun-noir de la lame de cuivre n'est pas, par elle-même, caractéristique de l'arsenic.

Une coloration analogue apparaît avec l'antimoine, le sélénium, les sulfites et sulfures.

Pour confirmer la présence de l'arsenic, la lame de cuivre enduite est sortie du liquide, lavée à l'eau, puis mise en contact avec quelques gouttes d'une solution ammoniacale d'eau oxygénée.

Instantanément et à la température ordinaire, l'enduit d'arséniure se dissout à l'état d'arséniate d'ammonium.

Il suffit alors pour l'identifier de placer une goutte de cette solution sur une lame de verre porte-objet en contact avec une goutte de mixture magnésienne. On obtient en quelques secondes des cristaux d'arséniate ammoniaco-magnésien qui, examinés au microscope, présentent une forme cristalline caractéristique.

On peut, suivant cette technique, mettre facilement en évidence 4 à 5 millièmes de milligramme d'arsenic en opérant par exemple avec 4 à 5 centimètres cubes d'une liqueur contenant environ 1 milligramme d'arsenic par litre.

Le dosage colorimétrique d'aussi faibles quantités d'arsenic est aussi facile et rapide que leur caractérisation.

Dans ce but l'enduit d'arséniure cuivreux est dissous comme précédemment dans quelques gouttes d'eau oxygénée ammoniacale. La

solution obtenue, placée dans une petite capsule de porcelaine, est évaporée à sec sur bain de sable, reprise par 5 centimètres cubes d'eau, puis additionnée de quelques gouttes de Réactif molybdeux-molybdique proposé par DENIGES pour le dosage des phosphates.

Le mélange porté à l'ébullition pendant quelques secondes prend alors une coloration bleu-violacée dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en arsenic :

Un millième de milligramme d'arsenic dans 5 cc de liqueur donne une coloration bleu-pâle, nettement perceptible,

Un centième de milligramme, coloration bleu-pervenche,

Un dixième de milligramme, une solution violacée plus foncée que la liqueur de Fehling.

Le dosage colorimétrique précis est facile à réaliser par comparaison avec les teintes obtenues au moyen de solutions étalons d'arséniate alcalin.

\*  
\* \*

Cette façon de caractériser et de doser l'arsenic présente sur les méthodes jusqu'ici employées plusieurs avantages essentiels :

1° Elle est réalisable dans tout laboratoire d'analyses, avec un matériel extrêmement simple : un bain-marie à eau bouillante, quelques tubes à essai, une capsule de porcelaine, un microscope courant de grossissement moyen.

2° Elle n'exige que quelques réactifs purifiés : Cuivre électrolytique, ClH pur, Eau oxygénée et Ammoniaque exempts d'arsenic, mixture magnésienne, réactif sulfo-molybdique.

3° Enfin elle ne nécessite ni la destruction systématique des matières organiques, ni la précipitation préalable de l'arsenic à l'état de sulfure.

A ce titre elle peut remplacer avantageusement les Réactifs de BOUGAULT et de BETTENDORF tout en étant d'ailleurs plus sensible.

*En chimie minérale*, elle se prête fort bien à la détermination de l'arsenic dans les substances minérales naturelles ou industrielles, même en présence des métaux usuels comme le fer, le calcium et des anions les plus voisins comme les phosphates.

C'est ainsi que je l'ai utilisée pour la recherche et le dosage de l'arsenic dans l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, la soude, les eaux minérales et différents minerais.

*En chimie organique*, nous l'avons utilisée, un de mes élèves et moi, pour la caractérisation et le dosage de l'arsenic dans un grand nombre de médicaments organiques : arsénobenzols, atoxyl, stovarsol, hectine, etc... Seules deux sortes de composés connus comme très résistants

aux agents chimiques, les cacodylates et les méthylarsirrates, ne cèdent leur arsenic au cuivre qu'après minéralisation préalable.

Mais c'est surtout *en Toxicologie*, pour la recherche rapide et le dosage éventuel de l'arsenic dans les substances d'origine animale ou végétale, que cette méthode est avantageuse.

On peut par exemple rechercher l'arsenic directement dans les humeurs d'un animal vivant ou mort (urine, sang, lait, etc...) additionnées d'un égal volume d'acide chlorhydrique sans destruction spéciale des matières organiques.

On peut opérer de même avec des boissons alimentaires suspectes, comme le vin ou la bière.

C'est dire l'intérêt que présente actuellement cette technique pour la recherche d'intoxications accidentelles, alors que les traitements arsénicaux sont de plus en plus largement utilisés en agriculture pour la lutte contre les parasites des végétaux.