

Bulletin de l'Union des Physiciens

Association de professeurs de Physique et de Chimie

Comment faire de la pluridisciplinarité

Faire un enseignement pluridisciplinaire est un problème à l'ordre du jour. Parmi les solutions à proposer, une au moins a fait ses preuves : le choix d'un bon sujet. Ce choix correspond à un modèle mathématique simple susceptible d'applications dans de nombreux domaines de la connaissance scientifique.

L'article qui va suivre est une illustration de ce point de vue et l'on verra que l'on peut utiliser la symétrie par rapport à un plan dans des domaines aussi variés que la sociologie, la psychologie, la biologie humaine, la paléontologie, la biologie végétale, la chimie organique, la physique et les mathématiques.

Les physiciens qui liront cet article regretteront peut-être de ne pas y trouver un exposé mathématique formel des problèmes de symétrie. Cette omission est volontaire ; une pédagogie pluridisciplinaire doit être élémentaire, au moins au départ, si l'on souhaite qu'elle touche un large public d'enseignants ou d'enseignés.

C. RUHLA,

(Université Claude-Bernard - Lyon I).

L'ASYMETRIE DROITE-GAUCHE DE NEANDERTHAL JUSQU'A LEE ET YANG

Dans son investigation des lois de la nature, l'objectif du physicien a été pendant longtemps la définition des grandeurs caractéristiques des phénomènes et la mise en évidence des relations entre ces grandeurs ; c'est ainsi que les notions de force, masse et accélération ont été reliées par la loi fondamentale de la dynamique : $\vec{F} = m \vec{\gamma}$. Actuellement, le physicien théoricien s'intéresse à des notions encore plus abstraites : l'existence de

symétries dans les phénomènes, et la conservation ou la violation de ces symétries au cours d'une transformation.

Parmi ces opérations de symétries, nous avons choisi de parler aujourd'hui d'une des plus délicates : l'opération parité, c'est-à-dire celle qui correspond à la symétrie par rapport à un plan. Ce sujet délicat méritant une introduction progressive, il est logique et amusant de commencer par notre expérience concrète et quotidienne de l'asymétrie droite-gauche, en réfléchissant à la différence entre droitiers et gauchers.

LA SOCIÉTÉ DES DROITIERS.

Nous vivons dans une société conçue et réalisée par les droitiers et pour les droitiers. Peut-être les droitiers ne s'en rendent-ils pas toujours compte, mais les gauchers le savent fort bien, et ceci est vrai aussi bien sur le plan technique que sur le plan des mentalités.

La technique s'exprime d'abord par le pas de vis ou le tire-bouchon : le « pas à droite » est général, et la vis ou le tire-bouchon s'enfonce par un geste naturel de la main droite. D'autres exemples, moins familiers, sont pourtant tout aussi caractéristiques. Les cabines téléphoniques sont construites avec le numérateur à droite, et le combiné à gauche : ainsi le geste élaboré de composition du numéro se fait avec la main droite, et le geste élémentaire de tenue du combiné se fait avec la main gauche. Dans les partitions pour piano, le rôle principal est généralement donné à la main droite, alors que la main gauche a plutôt un rôle d'accompagnement, et si Maurice RAVEL a écrit un concerto pour la main gauche, c'était à l'intention d'un pianiste qui avait perdu son bras droit.

Les mentalités s'expriment en particulier par le langage. Si un homme est habile, on dit qu'il est adroit, ou qu'il a de la dextérité ; s'il est malhabile, on dit qu'il est gauche ; on va même jusqu'à donner à la gauche un sens maléfique : c'est le cas du mot sinistre, qui vient du latin « sinister », alors que le mot Droit représente la Justice. Et l'on retrouve enfin dans les autres langues la même prédominance du mot droit : avoir raison c'est être « right » en anglais et « richtig » en allemand.

Ces quelques exemples illustrent bien la prédominance de la main droite sur la main gauche, et c'est cela qui constitue notre première expérience sensible de l'asymétrie.

LE REFLEXE DE LA MAIN DROITE.

S'il est vrai que la majorité des hommes se servent préférentiellement de leur main droite, on peut néanmoins remarquer que

ce réflexe est long à acquérir. Le bébé qui commence à saisir des objets le fait en se servant de ses deux bras symétriquement. Puis les mains s'individualisent et la tendance droitrière ou gauchère s'affirme peu à peu, à moins qu'une éducation contraignante n'impose la tendance droitrière. La prise de conscience de cette tendance n'interviendra qu'ensuite. Si un enfant de 6 ans reconnaît sa main droite, c'est par un artifice — grain de beauté ou cicatrice — présent sur cette main. C'est seulement vers 10 ans que la reconnaissance des deux mains devient un véritable réflexe, c'est-à-dire le sentiment automatique d'une différence entre la main droite et la main gauche.

Il est certain que nos doctrines éducatives ont pu avoir une grande influence sur l'acquisition de ce réflexe. Très directives jusqu'au siècle dernier, elles avaient contribué à créer de nombreux gauchers contrariés ; beaucoup plus libérales aujourd'hui, elles permettent à l'enfant de trouver plus facilement sa tendance droitrière ou gauchère. Mais les droitiers restent nettement plus nombreux et représentent approximativement une majorité des trois-quarts : pourquoi ?

On pense en particulier au rôle de l'écriture, et il faut s'interroger sur les deux alternatives suivantes :

- Les hommes sont droitiers parce qu'ils écrivent de gauche à droite. Dans ce cas, la tendance droitrière est du ressort de l'éducation, et comme les caractères acquis ne sont pas héréditaires, chaque génération doit apprendre à être droitrière.
- Les hommes écrivent de gauche à droite parce qu'ils sont droitiers. Dans ce cas, la tendance droitrière est une caractéristique héréditaire de l'espèce humaine, au même titre que la station verticale, et le rôle de l'éducation est seulement de favoriser cette tendance.

Pour tenter de répondre à cette question, nous allons examiner successivement les deux alternatives.

LE RÔLE DE L'ÉDUCATION.

L'enfant doit apprendre au cours de son éducation de multiples gestes qui se font naturellement avec la main droite, que ce soit l'allumage d'un poste de télévision ou l'ouverture d'une boîte de conserve. Mais l'activité à laquelle on songe le plus est l'écriture, et il semble bien au premier abord que l'écriture de gauche à droite soit le geste le plus affirmé et le plus déterminant de la tendance droitrière. Un examen plus approfondi fait apparaître bien des restrictions sur ce point :

- L'écriture de gauche à droite est normale chez le droitier écrivant sur un plan horizontal car le déplacement de la main

droite permet de voir immédiatement ce qui vient d'être écrit. Mais, sur un tableau vertical, il est préférable, pour la même raison, d'écrire avec la main gauche, et les élèves préfèrent les professeurs gauchers.

- Le latin s'écrit de gauche à droite, mais l'hébreu et l'arabe s'écrivent de droite à gauche ; et pourtant les descendants actuels des Hébreux et des Arabes sont droitiers en majorité. Le sens gauche - droite de l'écriture n'est donc absolument pas un test décisif et rien ne permet de dire s'il s'agit là d'une convention comme la conduite à droite pour les voitures, ou au contraire d'une tendance profonde de l'espèce humaine.

Pour avoir une réponse nette sur cette question, il est nécessaire de remonter le plus loin possible dans l'histoire de l'humanité jusqu'à la préhistoire. Dans cette période, qui précède largement l'écriture, et pour laquelle le rôle de l'éducation est minimisé, on peut espérer trouver des indications intéressantes sur la tendance droitrière des individus. On est ainsi remonté de 100 000 ans, jusqu'à l'homme de Neanderthal, mais, avant de l'étudier en détail, nous devons examiner quelques caractéristiques du cerveau de l'homme actuel.

LE CERVEAU DE L'HOMME ACTUEL.

Le cerveau humain est divisé en deux hémisphères droit et gauche, et, par une de ces bizarreries dont la nature est coutumière, les connexions nerveuses sont croisées ; la main droite est donc commandée par l'hémisphère gauche et la main gauche par l'hémisphère droit (fig. 1). Les deux hémisphères sont globa-

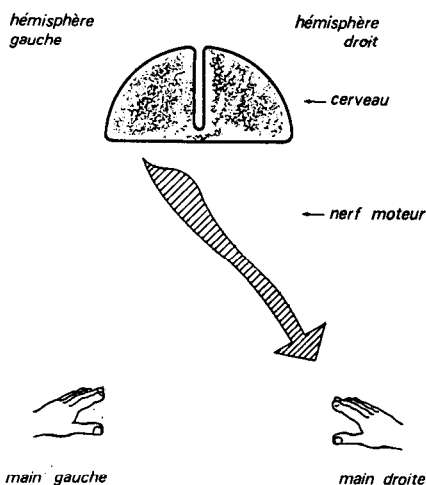


Fig. 1. — Schéma du système nerveux de l'homme.

lement symétriques par rapport au plan médian, mais cela ne va pas jusque dans le détail ; la forme des circonvolutions reste caractéristique de chaque hémisphère. Par ailleurs, on a cherché à mettre en évidence certaines régions correspondant à des fonctions déterminées : lecture, écriture, audition, langage. Cette localisation fonctionnelle est encore discutée, car une fonction unique peut être localisée en plusieurs points (centres associatifs), mais une localisation au moins paraît bien admise des spécialistes : la localisation du centre du langage, chez le droitier, dans la troisième circonvolution frontale de l'hémisphère gauche, appelée circonvolution de BROCA. D'ailleurs, sa lésion accidentelle entraîne de graves troubles de la parole : c'est l'aphasie de BROCA (fig. 2). Ces caractéristiques sont permutées chez le gaucher, pour lequel le centre du langage se trouve dans l'hémisphère droit.

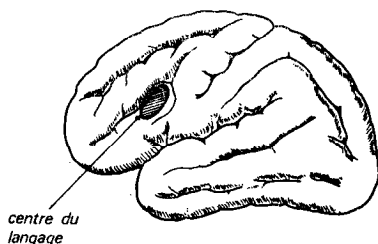


Fig. 2. — Le centre du langage est localisé dans l'hémisphère cérébral gauche du droitier.

Cette différenciation des deux hémisphères est un test permettant de reconnaître le cerveau d'un gaucher de celui d'un droitier au cours d'une autopsie. L'examen de la face interne du crâne peut même suffire, car le cerveau laisse une empreinte sur la boîte crânienne au cours de l'ossification. Cette méthode ouvre la voie à l'examen des crânes des hommes préhistoriques pour y rechercher les droitiers et les gauchers. Nous ne remonterons pas plus loin car les singes sont ambidextres.

L'HOMME DE NEANDERTHAL.

Des hommes très primitifs vivaient en Europe il y a 100 000 ans. On a retrouvé les restes de quelques-uns d'entre eux : soit une simple voûte crânienne, soit parfois un squelette complet. Les plus célèbres sont ceux du vallon de Néanderthal (Allemagne), de la Chapelle-aux-Saints (France), de Spy (Belgique),... Tous appartiennent à la même race, désignée sous le nom d'homme de Néanderthal, qui correspond à la première découverte (1856). La forme de ces crânes est archaïque — front

bas, arcade sourcilière proéminente — mais néanmoins il s'agit d'hommes, et l'on a trouvé parfois un outillage primitif accompagnant leurs restes.

Marcelin BOULE a étudié en détail l'homme de La Chapelle-aux-Saints (fig. 3). Il a remarqué d'abord que la tête de l'humé-

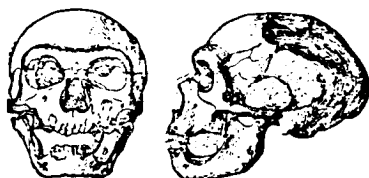


Fig. 3. — Crâne de néanderthalien découvert à La Chapelle-aux-Saints.

rus droit était plus développée au niveau des insertions musculaires. Ceci indique que ce néanderthalien faisait des efforts plus importants avec son bras droit. D'autre part, l'étude de la face interne du crâne indique la présence d'une circonvolution de BROCA archaïque dans l'hémisphère cérébral gauche. BOULE en déduit que ce néanderthalien pratiquait un langage rudimentaire, et ce point est très important car l'apparition de la parole est un des caractères les plus décisifs dans l'évolution vers l'homme actuel. D'autre part, la localisation du centre du langage dans l'hémisphère cérébral gauche indique que l'homme de La Chapelle-aux-Saints était droitier.

Même après un siècle de fouilles dans les sites préhistoriques, on n'a découvert jusqu'ici qu'un nombre limité de néanderthaliens. Néanmoins, une statistique élémentaire peut être faite :

- Tous présentent la dissymétrie des hémisphères cérébraux associée au langage.
- Il y a 2/3 de droitiers et 1/3 de gauchers.

Sur cette statistique limitée, les droitiers disposent de la majorité des deux-tiers. C'est au moins une information indiquant que la tendance droitrière majoritaire est sans doute une tendance profonde de l'humanité, et depuis longtemps. C'est donc une caractéristique physiologique héréditaire de l'espèce humaine.

Ce long voyage qui nous a conduit des mésaventures du gaucher du XX^{me} siècle jusqu'aux caractères du néanderthalien, avait pour objectif d'introduire la notion d'asymétrie droite-gauche. Nous pouvons maintenant être un peu plus abstraits et passer aux mathématiques.

UN PEU DE GEOMETRIE ELEMENTAIRE.

Le mathématicien WEYL nous a donné une excellente définition de la notion de symétrie : un objet est symétrique si, après

avoir été soumis à une certaine action, son apparence n'est pas modifiée.

L'action la plus simple de toutes est le déplacement dans l'espace à trois dimensions. On peut ainsi, sans modifier les apparences, déplacer une sphère, un cube, un papier peint à fleurs, ou un réseau cristallin; l'objet et l'image coïncident. Mais on ne peut pas faire coïncider la main droite et la main gauche par un simple déplacement dans l'espace à trois dimensions. La position du pouce, en opposition aux quatre autres doigts, crée une asymétrie qui fait échouer toutes les tentatives. C'est donc une autre opération de symétrie qui doit intervenir.

La méthode la plus simple est la réflexion dans un miroir-plan (fig. 4 a). L'image virtuelle d'une main droite est une main gauche; elle est symétrique de la main droite par rapport au plan du miroir. Si l'on parle d'asymétrie, c'est pour indiquer que l'on a perdu la symétrie par déplacement, et qu'il ne reste que la symétrie par rapport à un plan.

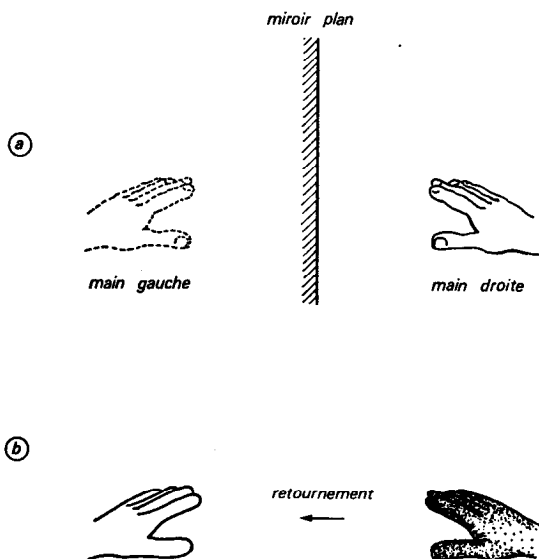


Fig. 4. — Pour transformer une main droite en main gauche :
 a) Réflexion dans un miroir.
 b) Retournement d'un gant.

Les mathématiciens se sont intéressés à ce problème de topologie et ont montré que l'on pouvait faire correspondre une main gauche à une main droite par un déplacement continu à

condition de passer par une quatrième dimension. L'opération revient à passer de l'intérieur d'une surface fermée à l'extérieur d'une surface fermée sans traverser cette surface. La quatrième dimension nous échappe, mais on peut, par un artifice expérimental, réaliser une opération équivalente : le retournement d'un gant de caoutchouc intervertit l'intérieur et l'extérieur de la surface, et transforme effectivement une main droite en main gauche (fig. 4 *b*).

Si la notion d'asymétrie droite-gauche s'introduit facilement avec les mains, ce sont d'autres figures géométriques qui méritent le plus de retenir notre attention. Nous en examinerons trois : l'hélice, le tétraèdre, la sphère en rotation.

L'hélice droite correspond au tire-bouchon normal, celui qui progresse en avant lorsque l'on tourne d'un mouvement naturel de la main droite. L'hélice gauche est son image dans un miroir ; elle correspond au tire-bouchon pour gauchers que l'on trouve dans les magasins de farces et attrapes (fig. 5).

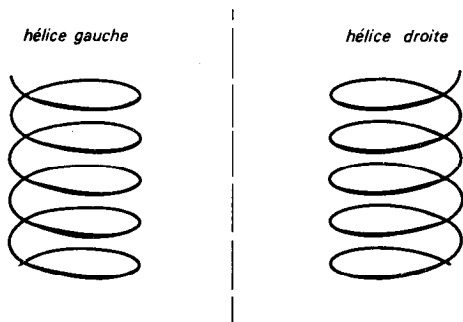


Fig. 5. — L'hélice droite correspond au tire-bouchon normal.

L'hélice gauche correspond au tire-bouchon pour gauchers.

Le tétraèdre régulier est asymétrique si les quatre sommets sont tous caractérisés de manière différente. Il y a alors deux tétraèdres, le droit et le gauche qui se correspondent par symétrie dans le miroir (fig. 6).

La sphère en rotation correspond à la Terre tournant autour de son axe nord-sud. Si l'on veut éviter les notions savantes de moment cinétique et de vecteur axial, on peut utiliser des définitions plus concrètes.

Un homme est debout sur la Terre, à l'équateur, et regarde dans le sens de rotation (fig. 7). Avec son bras gauche, il définit le pôle Nord, et avec son bras droit, il définit le pôle Sud. La définition de la droite et de la gauche est donc équivalente à une définition des pôles Nord et Sud (fig. 7 *a*).

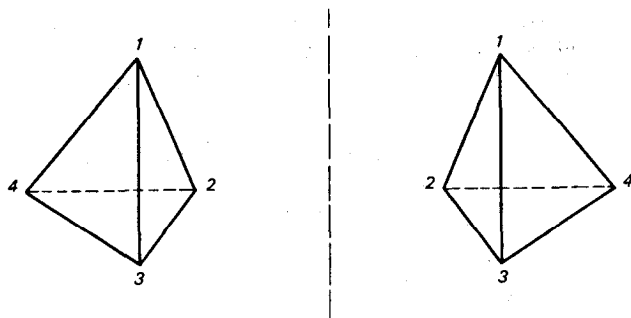


Fig. 6. — Le tétraèdre régulier présente une asymétrie droite - gauche si ses quatre sommets sont identifiables par des désignations différentes.

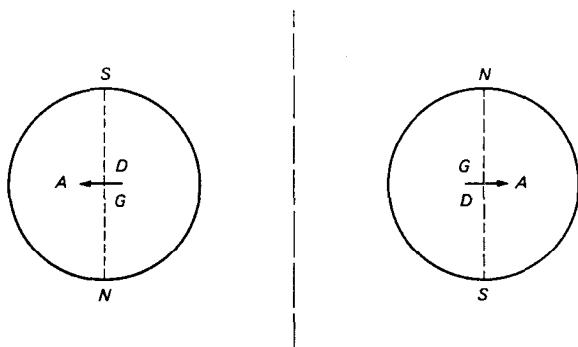


Fig. 7. — La réflexion dans un miroir permute les pôles Nord et Sud d'une sphère en rotation.

Si l'on examine ensuite l'image dans un miroir (fig. 7 *b*), en appliquant la même définition, on trouvera que les *pôles Nord et Sud ont été permutés*. Cette idée est à retenir pour l'étude de l'électromagnétisme.

LES PLANTES GRIMPANTES.

L'enroulement en hélice des plantes grimpantes est fréquent et caractéristique. Par exemple, le haricot s'enroule en hélice droite (fig. 8 *a*), tandis que le houblon s'enroule en hélice gauche (fig. 8 *b*).

On a cherché à expliquer cela par l'influence du soleil qui se lève à l'est, culmine au sud, et se couche à l'ouest. Une plante qui suivrait le soleil (phototropisme) s'enroulerait en hélice gauche. Au contraire, une plante qui fuierait le soleil (photo-

phobisme) s'enroulerait en hélice droite. Mais dans l'hémisphère sud, le soleil se lève à l'est, culmine au nord, et se couche à l'ouest, ce qui inverserait le sens des enroulements.

En fait, tous les haricots, qu'ils soient du nord ou du sud, s'enroulent en hélice droite. Ils sont droitiers à 100 %, et là aussi nous avons une caractéristique génétique de l'espèce, encore plus marquée que pour l'espèce humaine.

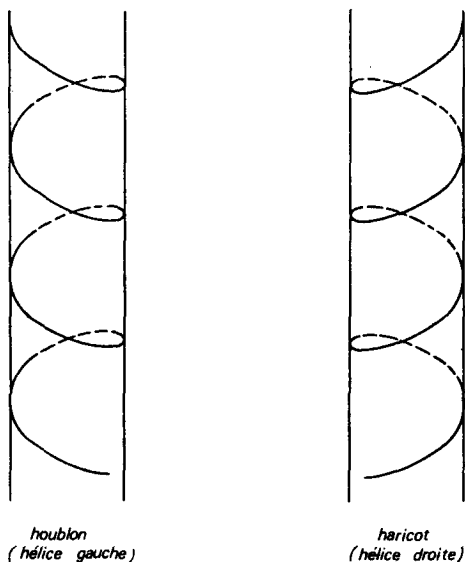


Fig. 8. — Le sens d'enroulement des plantes grimpantes.

LE CARBONE ASYMETRIQUE.

La symétrie des liaisons du carbone saturé est celle du tétraèdre régulier. Le carbone est au centre du tétraèdre, et les liaisons sont dirigées vers les 4 sommets (fig. 9). Si les groupements fixés sur chacun des sommets sont tous différents, la molécule ainsi constituée n'est pas superposable à son image dans un miroir. On dit qu'elle présente un carbone asymétrique.

Dans ce cas il existe deux molécules, la forme L et la forme D. Elles font tourner le plan de polarisation de la lumière l'une à

gauche (lévogyre), l'autre à droite (dextrogyre); c'est l'isomérisie optique (*).

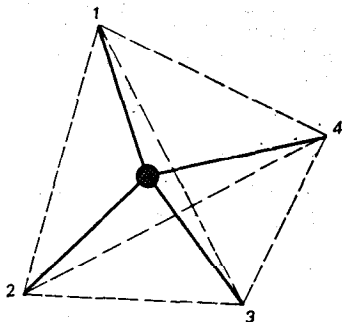


Fig. 9. — Le carbone asymétrique.

Nous allons examiner le cas d'un acide aminé, la sérine, représenté en formule développée avec la convention habituelle : deux liaisons en traits pleins, au-dessus du plan de la figure, deux liaisons en pointillés, au-dessous du plan de la figure. Ainsi est restituée « la géométrie du tétraèdre ». Le cas de la sérine est particulièrement simple : la forme L est lévogyre, et la forme D est dextrogyre (fig. 10).

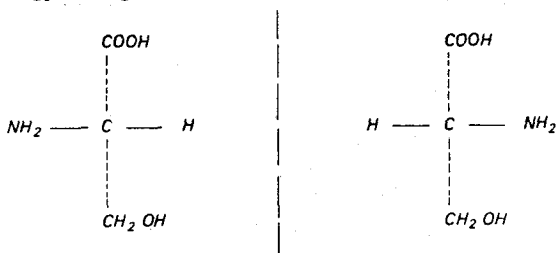


Fig. 10. — La sérine est un acide aminé présentant un carbone asymétrique.

(*) La terminologie conventionnelle est assez particulière. Pour chaque chaîne carbonée, c'est l'aldéhyde qui définit la série. Ainsi pour une chaîne donnée, on aura :

- l'aldéhyde L qui est lévogyre,
- l'aldéhyde D qui est dextrogyre.

A partir de cet aldéhyde, on peut définir les autres termes de la série : acides aminés, alcools, etc.

A une aldéhyde L, correspond donc l'acide aminé L, asymétrique, mais qui peut très bien être dextrogyre. Par exemple, la L alanine est dextrogyre. Par contre, la L sérine est lévogyre, et ce sera l'exemple choisi dans ce texte.

Pour clore sur ce point, signalons que l'asymétrie moléculaire a pour origine les travaux de PASTEUR sur l'acide tartrique. L'asymétrie cristalline qu'il a découverte est très fréquente, et pas seulement avec le carbone. Si l'on cite plus volontiers le carbone, c'est en raison de la simplicité géométrique de ses liaisons, et parce que le nombre des molécules organiques asymétriques est considérable.

LES MESAVENTURES DE L'HOMME DROIT.

Les protéines, constituants essentiels de la matière vivante, sont des macromolécules à longue chaîne linéaire, résultats de la polymérisation d'acides aminés. Tous ces acides aminés sont maintenant bien connus : ils sont au nombre de vingt, dont un symétrique et dix-neuf comportant au moins un carbone asymétrique. Tous les acides aminés asymétriques appartiennent à la série L et cette propriété caractéristique mérite d'être examinée en profondeur.

On peut faire une hypothèse d'école très amusante : Imaginer que l'on est capable de construire un homme qui serait l'image dans un miroir de l'homme normal. Alors que l'homme normal est « gauche », parce que ses acides aminés sont L, l'homme que nous imaginons de construire serait l'homme « droit », c'est-à-dire que tous ses acides aminés seraient de la série D sans compter son cœur qui serait également à droite.

Cet homme étant construit, il faut encore le nourrir et on ne dispose pour cela sur Terre que d'aliments naturels formés d'acides aminés L qui sont inassimilables par l'homme droit. Les seuls aliments naturels qu'il pourrait assimiler seraient les aliments symétriques tels que les graisses ou les alcools. L'homme droit est donc condamné au régime du beurre et du cognac et il est certain qu'il finira par dépérir.

Cette parabole de l'homme droit a pour but de montrer que la vie ne peut pas se maintenir actuellement sur Terre avec des acides aminés droits. Si la vie a commencé avec des acides aminés gauches, elle ne pouvait que continuer ainsi. Il reste à se poser le problème des origines de la vie : pourquoi la vie a-t-elle commencé à gauche ?

LA VIE COMMENCE A GAUCHE.

On commence à avoir des idées assez précises sur l'état de la Terre il y a trois milliards d'années, date correspondant aux origines de la vie. Notre planète est alors recouverte par la mer qui contient de l'ammoniaque et du méthane. Sous l'action de la chaleur tropicale, des rayons ultraviolets et des décharges électriques dues aux orages, une synthèse des amino-acides est possible à partir de l'eau, de l'ammoniaque et du méthane.

Les conditions de la « soupe primitive » ont été reconstituées en laboratoire par le chimiste MILLER en 1952, et il a obtenu, au bout d'une semaine, des quantités non négligeables d'acides aminés. Mais dans cette expérience, comme dans toute expérience de synthèse chimique symétrique, MILLER a obtenu le mélange racémique contenant 50 % d'acides aminés gauches, et 50 % d'acides aminés droits. Il faut se demander en quoi la nature a pu différer des conditions de l'expérience de MILLER et deux facteurs viennent immédiatement à l'esprit :

- Le temps ; un milliard d'années au lieu d'une semaine.
- L'espace ; toute la surface de la Terre au lieu d'un petit laboratoire.

Est-ce suffisant pour expliquer que la vie a commencé à gauche ? Deux hypothèses sont actuellement avancées sans qu'aucune ait pour le moment été démontrée :

- Une énorme fluctuation dans la synthèse favorisant la forme L qui, à partir de ce moment, va l'emporter parce que la forme D ne pourra plus se nourrir. Cette fluctuation est très peu probable mais l'échelle des temps géologiques est grande.
- Un processus physique asymétrique, la radioactivité β , avec des noyaux radioactifs naturels (carbone 14 et potassium 39) produisant une destruction préférentielle de la forme D dans le mélange racémique et donnant ainsi la majorité à la forme L. La longueur des temps géologiques serait également un facteur favorable dans cette hypothèse. Il n'est pas possible, pour le moment, de conclure, mais c'est un problème passionnant qu'il faudra résoudre.

On retrouve d'ailleurs dans ce problème un débat philosophique, fondamental en physique, et déjà exprimé par DÉMOCRITE : « Tout ce qui existe dans l'Univers est le fruit du hasard ou de la nécessité ».

La vie a commencé à gauche : peut-être est-ce par hasard, peut-être cela était-il nécessaire.

LE PROBLEME OZMA.

Nous avons introduit la notion d'asymétrie droite-gauche par des phénomènes liés à l'existence de la matière vivante sur Terre et si l'on analyse les réponses que nous avons trouvées, on constate que la référence à l'homme est toujours obligatoire pour définir la droite et la gauche. L'homme intervient, soit comme expérimentateur identifiant un acide aminé gauche, soit comme jardinier observant l'enroulement du haricot, soit es qualités en présentant sa main droite en guise de définition.

Mais il peut être intéressant de chercher s'il n'existe pas une définition intrinsèque de la droite et de la gauche qui serait indépendante de l'homme. Ce problème a préoccupé des philosophes (KANT), des mathématiciens (BERTRAND, POINCARÉ, HADAMARD), et les anglo-saxons lui ont choisi le nom amusant de problème OZMA, nom du souverain d'un pays imaginaire, le pays d'Oz, dans un roman fantastique de BAUM :

« Est-il possible, en envoyant des messages radio, d'expliquer la différence entre la droite et la gauche aux habitants d'Andromède ? » Précisons bien que la règle du jeu interdit de regarder le même objet depuis la Terre et depuis Andromède ; sinon, il est évident qu'il suffirait à un terrien de présenter sa main droite à un observateur lointain pour que le problème soit résolu. C'est donc pour cela que l'on parle uniquement de transmission par message radio.

Sous une forme moins humoristique mais équivalente, il s'agit de retrouver une définition intrinsèque de la droite et la gauche, valable dans tout l'Univers, et pour cela, nous présenterons à un observateur un phénomène naturel du domaine de la physique en lui demandant s'il observe le phénomène réel ou bien son image dans un miroir. De sa réponse dépend la définition cherchée et nous allons voir tout de suite, sur un premier exemple, que le problème est très difficile.

LE MONDE DANS UN MIROIR.

Un physicien intelligent mais indiscret, passant devant la porte d'un garage, regarde par le trou de la serrure et il aperçoit une voiture (fig. 1). Comme nous avons indiqué qu'il s'agissait d'un physicien intelligent, cette observation entraîne chez lui une succession de réflexions profondes.

- 1) Cette voiture a un volant à droite, donc c'est une voiture anglaise.
- 2) Cette voiture est de marque française, ce n'est donc pas l'objet réel que l'on voit mais l'image de la voiture dans un miroir.
- 3) Il est possible que ce soit une voiture française pour l'exportation en Angleterre et dans ce cas, je n'aperçois pas une image, mais j'aperçois l'objet réel.

A ce stade, le physicien approche son œil davantage pour avoir un champ maximum de vision et observe un cadre entourant la voiture (fig. 12). La réflexion se poursuit :

- 4) Le cadre du miroir est visible, c'est donc bien l'image dans un miroir qu'on observe.
- 5) Ce cadre ne soutient pas un miroir mais une vitre transparente, et l'on observe l'objet réel par vision directe à travers la vitre.

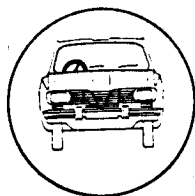


Fig. 11. — Observe-t-on un objet ou une image ?

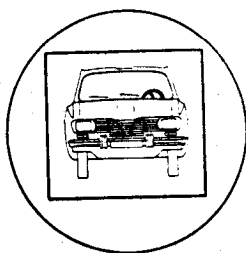
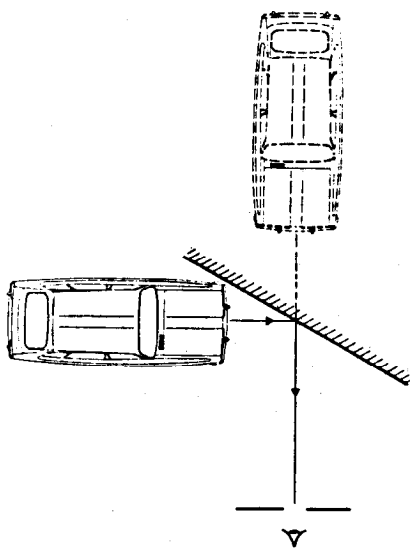


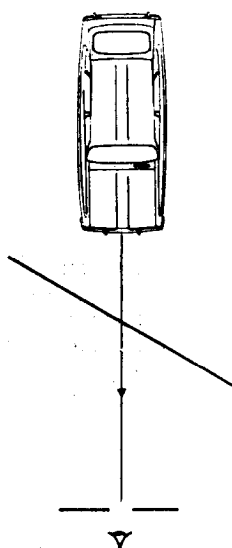
Fig. 12. — Observe-t-on un miroir ou une vitre transparente ?

6) Comment faut-il faire pour conclure entre deux hypothèses : image dans un miroir (fig. 13 a) ou objet réel (fig. 13 b).



l'hypothèse miroir

Fig. 13 a)



l'hypothèse vitre transparente

Fig. 13 b)

Il est clair qu'une simple observation ne permet pas de conclure et qu'une intervention directe est nécessaire. Cette intervention prendra la forme de quelques coups de revolver à travers le trou et la paroi de verre va s'effondrer. Si la vision était directe, on apercevra toujours la voiture ; si la vision s'est faite par réflexion, on ne verra plus qu'un fond noir après destruction du miroir.

Cet exemple simple nous ouvre la voie générale au « test du miroir » que nous allons appliquer successivement à tous les types de phénomènes physiques et nous verrons à cette occasion que si l'asymétrie est générale dans le cas de la matière vivante, elle est, au contraire, particulièrement rare dans le cas de la matière inanimée.

LES LOIS DE LA MECANIQUE SONT SYMETRIQUES DANS LE MIROIR.

Sur la fig. 14 a), nous avons représenté deux pendules mécaniques marquant toutes les deux six heures. Les balanciers fonc-

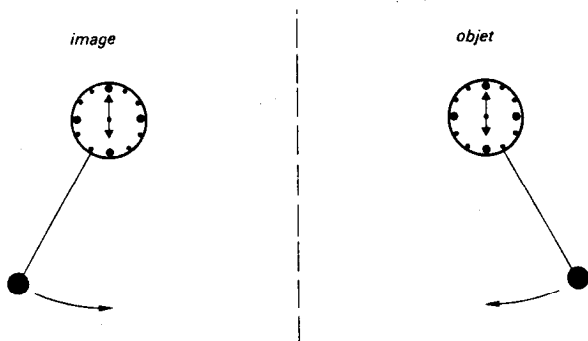


Fig. 14 a). — Une horloge et son image à six heures.

tionnent. Observons pendant une minute. Rien ne nous permet de dire que l'une est réelle, et l'autre est une image. Au bout d'un quart d'heure, la grande aiguille se sera déplacée, on pourra constater qu'elle a tourné dans le sens conventionnel des aiguilles d'une montre pour la pendule de droite et dans le sens contraire du sens conventionnel pour la pendule de gauche (fig. 14 b).

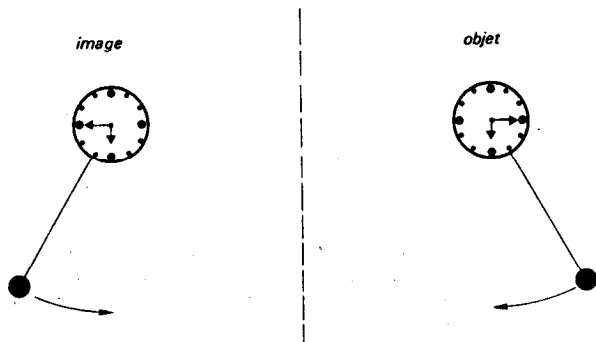


Fig. 14 b). Une horloge et son image à six heures et quart. A-t-on la possibilité d'identifier l'image et l'objet avec certitude par une simple observation ?

Mais il est bien évident que nous projetons sur ce phénomène nos conventions humaines. On peut très bien imaginer que la pendule de gauche est une pendule réelle, construite pour tourner dans le sens opposé au sens conventionnel et marquant très correctement l'heure.

En conclusion, lorsqu'un phénomène relève uniquement des lois de la mécanique, il reste parfaitement conservé dans le cas d'une symétrie par rapport à un plan.

LES LOIS DE L'ELECTROMAGNETISME SONT SYMETRIQUES DANS LE MIROIR.

L'examen de ces phénomènes est plus délicat car la définition de la droite et de la gauche va interférer avec la définition des pôles Nord et Sud. Il est classique de rappeler l'expérience d'ÆRSTED (fig. 15 a) et de la caractériser par la règle de l'observateur d'AMPÈRE : « Un homme couché sur le fil, tel que le courant lui entre par les pieds, regarde le pôle Nord de l'aiguille aimantée, et désigne le sens de déviation de ce pôle avec son bras gauche ».

On pourrait croire qu'on tient là une définition intrinsèque de la gauche par la déviation du pôle Nord, mais en fait, on a besoin d'une définition préalable du pôle Nord lié au Nord géographique qui est une convention humaine et terrestre, mais qui n'est pas une loi fondamentale et universelle de la matière.

On peut d'ailleurs en avoir la preuve en faisant subir à l'expérience d'ÆRSTED le test du miroir (fig. 15 b). On constatera alors que la partie bleutée de l'aiguille aimantée correspond

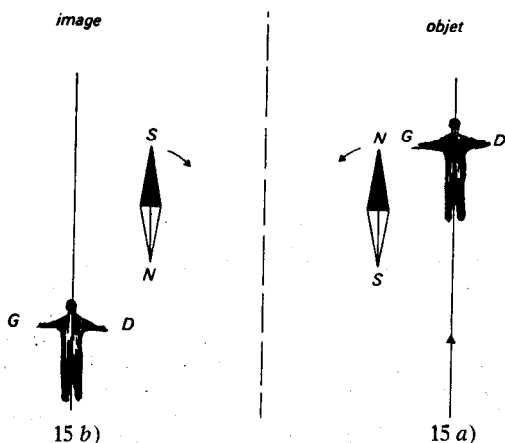


Fig. 15. — L'expérience d'ÆRSTED dans la réalité et dans un miroir. Y a-t-il une asymétrie ?

maintenant au pôle Sud, car la réflexion dans un miroir permute les deux pôles (cf. p. 415) et en conséquence, la règle de l'observateur d'AMPÈRE s'applique tout aussi bien sur l'image que sur l'objet. L'expérience d'ÆRSTED est finalement un choix assez mauvais pour dégager la symétrie de l'électromagnétisme, et nous proposons ci-après une expérience qui est beaucoup mieux caractéristique de la symétrie réelle (fig. 16).

Ce qu'il faut souligner, c'est l'interaction entre deux courants plutôt qu'entre un courant et un aimant. Dans l'expérience proposée, deux tiges rectilignes et parallèles représentent les parties du circuit qui vont interagir. La partie inférieure est fixe, la partie supérieure mobile. Sur l'objet réel (fig. 16 a), on observe une répulsion lorsque l'on ferme le circuit. Sur l'image (fig. 16 b), les courants dans les différentes parties du circuit sont inversés mais l'interaction répulsive n'est pas modifiée et c'est cette répulsion qui caractérise le phénomène.

Nous pourrions donc conclure à la symétrie de l'interaction électromagnétique par réflexion dans un miroir.

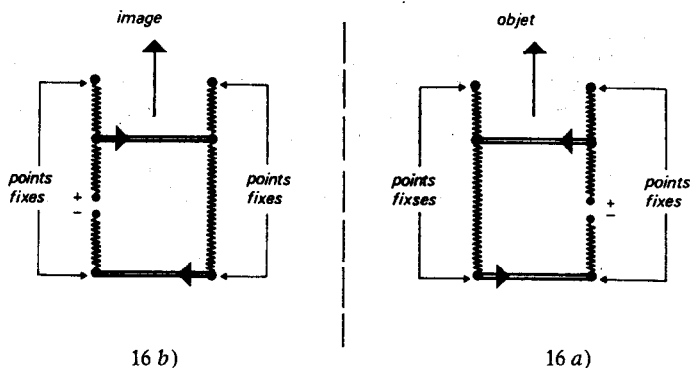


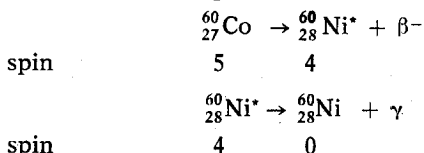
Fig. 16. — Les lois de l'électromagnétisme sont symétriques par réflexion dans le miroir.

LA FAILLITE DE LA CONSERVATION DE LA PARITE.

Tous les physiciens, en s'inspirant de raisonnements tels que ceux qui viennent d'être présentés, ont pensé que la symétrie dans le miroir était une propriété fondamentale des objets inanimés, mais tout a été remis en cause en 1956 par deux physiciens américains LEE et YANG dans un article retentissant. Ils proposaient une expérience test permettant de savoir si la radioactivité β était symétrique dans un miroir et cette expérience sera réalisée avec succès par M^{me} Wu en 1957. Elle montrera que la symétrie n'est pas conservée dans la radioactivité β - du cobalt 60 et LEE et YANG obtiendront le prix Nobel la même année.

LA RADIOACTIVITE β^- DU COBALT 60.

Le cobalt 60 est un nucléide radioactif artificiel que l'on fabrique par irradiation aux neutrons du cobalt naturel (cobalt 59) dans un réacteur nucléaire. Sa radioactivité est bien connue et nous en retiendrons deux étapes successives très intéressantes :



On voit sur ce schéma de désintégration qu'il y a émission d'un rayonnement β^- suivi d'un rayonnement γ .

Ces deux émissions sont suffisamment rapprochées dans le temps pour que l'on puisse les considérer en coïncidence avec un écart maximum de 10^{-8} seconde qui correspond uniquement aux propriétés de l'appareillage de détection.

Le noyau de cobalt 60 a un spin égal à 5 ; on peut donc lui associer un moment angulaire et il a également un moment magnétique qui a la même orientation que son moment angulaire. Cette propriété magnétique permet d'orienter le noyau de cobalt 60 à condition de se placer à très basse température ($T = 0,01 \text{ K}$) et dans un fort champ magnétique.

On peut représenter de façon élémentaire le noyau de cobalt sous la forme d'une boule tournant sur elle-même avec un pôle Nord et un pôle Sud (fig. 17 a) et ce noyau peut être orienté lorsqu'il est placé dans le champ magnétique créé par un solénoïde (fig. 17 b).

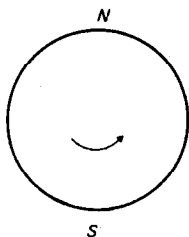


Fig. 17 a). — Présentation élémentaire du noyau de cobalt 60.

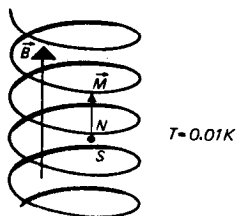


Fig. 17 b). — L'orientation nucléaire du cobalt 60 à basse température.

La question posée par LEE et YANG est la suivante : Lorsque le noyau de cobalt 60 est orienté, peut-on savoir par où sortent le rayonnement β^- et le rayonnement γ ?

L'expérience menée par M^{me} WU était très délicate mais elle a donné une réponse tout à fait claire. Nous donnerons ici cette réponse *sous une forme très simplifiée* :

- Lorsque le noyau de cobalt 60 est orienté, on constate que le rayonnement β^- sort par le pôle Sud et que le rayonnement γ sort par l'Equateur.

Ce résultat expérimental *indiscutable* met en évidence une propriété de la nature qui correspond à la non-conservation de la parité dans les interactions faibles. En langage plus élémentaire, ceci veut dire que la radioactivité β^- est un phénomène qui ne se conserve pas par symétrie dans un miroir.

Pour bien le comprendre, examinons la fig. 18 : sur la partie droite (fig. 18 a), nous observons la radioactivité β^- du cobalt 60 telle qu'elle existe réellement dans la nature : le γ sort par l'Equateur et le β^- sort par le pôle Sud ; et ceci est vrai.

Sur la partie gauche (fig. 18 b), on observe l'image du phénomène précédent dans un miroir. Le miroir permute les pôles Nord et Sud, rien n'est changé pour le γ qui sort toujours à l'Equateur, mais par contre, le β^- sort par le pôle Nord et ceci est faux. Donc l'image de droite ne représente pas la radioactivité réelle, et un observateur averti observant les deux phénomènes peu distinguer sans ambiguïté le vrai et le faux.

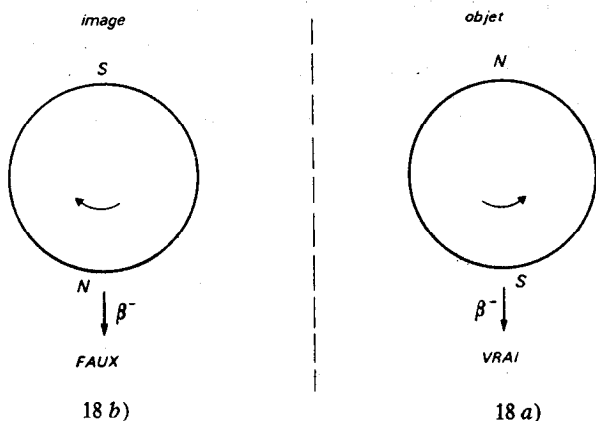


Fig. 18. — Le test du miroir sur la radioactivité β du cobalt 60.

QU'EST-CE QUE LA DROITE ?

La radioactivité β^- du cobalt 60 nous donne une définition intrinsèque de la droite et la gauche dont le caractère est universel parce qu'elle n'est pas liée à la matière vivante.

Sur la fig. 19, un solénoïde en cuivre est parcouru par un courant. Le sens conventionnel du courant est le sens opposé à celui des électrons dans le cuivre. Un noyau de cobalt placé à l'intérieur du solénoïde est orienté par le champ magnétique.

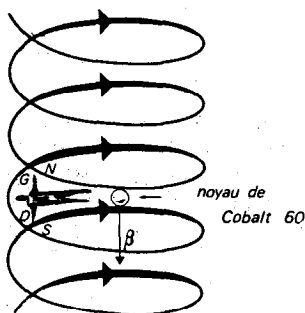


Fig. 19. — Une définition universelle de la droite et la gauche dans un univers de matière.

De ce fait, il tourne dans le même sens que le courant dans le solénoïde. Il va émettre un rayonnement β^- et ce rayonnement définit sans ambiguïté le pôle Sud du noyau de cobalt. Par voie de conséquence, on en déduit une définition de la droite et de la gauche pour un observateur debout sur l'Equateur et regardant dans le sens de rotation. La main droite est celle dirigée vers le pôle Sud et la main gauche est celle dirigée vers le pôle Nord.

On trouve du cobalt partout dans l'espace et par conséquent, une définition de la droite et de la gauche à partir de la radioactivité β est une définition universelle.

MATIERE ET ANTIMATIERE.

L'analyse détaillée de la radioactivité β pourrait donc être la solution du problème OZMA si l'on était sûr que le correspondant lointain appartient bien à un monde de matière. Mais en fait, même si cela est très probable, ce n'est pas absolument certain. En effet, notre connaissance de la Nébuleuse d'Andromède se fait par l'intermédiaire de la lumière qu'elle nous envoie. Nous recevons donc de cette Nébuleuse des photons si elle est en matière et des antiphotons si elle est en antimatière. Mais l'antiphoton et le photon ne sont qu'une seule et même particule. On ne peut donc pas conclure.

Les astrophysiciens ont réfléchi au problème et peuvent le résoudre de proche en proche à l'intérieur de la Galaxie car cette dernière contient une grande quantité de matière interstellaire ;

elle pourrait donc donner des réactions d'annihilation avec l'antimatière s'il en existait quelque part dans la Galaxie. Sur le plan de l'observation, cela se traduirait par de fortes sources de rayons X dues à la réaction :

$$\text{matière} + \text{antimatière} \Rightarrow \text{photons X.}$$

En fait, on n'a rien observé de très caractéristique dans ce domaine de longueur d'ondes.

Au-delà de la Galaxie, on est moins bien renseigné sur une éventuelle matière intergalactique et rien ne permet d'affirmer qu'il existe un pont continu de matière jusqu'à la Nébuleuse d'Andromède. L'argument précédent tombe de ce fait, à moins d'y rajouter une hypothèse cosmologique : dans les premiers temps de l'Univers, après l'explosion primordiale (théorie du Big-Bang), les galaxies étaient très proches les unes des autres et l'interaction matière-antimatière a pu se faire à ce moment-là. D'ailleurs, même dans le cadre de la théorie du Big-Bang, OMNÈS a pu montrer que la formation d'antimatière était parfaitement possible.

En bref, même s'il est très peu probable que la Nébuleuse d'Andromède soit en antimatière, on ne peut pas exclure absolument cette hypothèse, et ceci nous oblige à reprendre l'étude du problème OZMA sous une forme plus générale en examinant le théorème $PC = 1$.

LE THEOREME $PC = 1$.

La physique mathématique a créé des opérateurs pour caractériser les différentes opérations de symétrie. Deux opérations importantes vont retenir notre attention :

- l'opération parité (opérateur P) ; elle correspond à la réflexion dans un miroir, c'est-à-dire à la transformation de droite en gauche et inversement ;
- l'opération conjugaison de charge (opérateur C) ; elle correspond au changement de la matière en antimatière.

Entre ces deux opérations, existe une relation physique très importante, exprimée en langage mathématique sous la forme $PC = 1$ mais que l'on peut exprimer en langage plus courant par le théorème suivant :

« Lorsqu'on applique à un phénomène physique réel l'opération parité suivie de l'opération conjugaison de charge, on obtient un phénomène physique réel ».

Deux exemples vont nous permettre de comprendre mieux l'application de ce théorème.

JOUONS AVEC $PC = 1$.

La première application relative à la radioactivité β^- du cobalt 60 est représentée sur la fig. 20. La surface est divisée en quatre quadrans par une ligne verticale qui représente un miroir

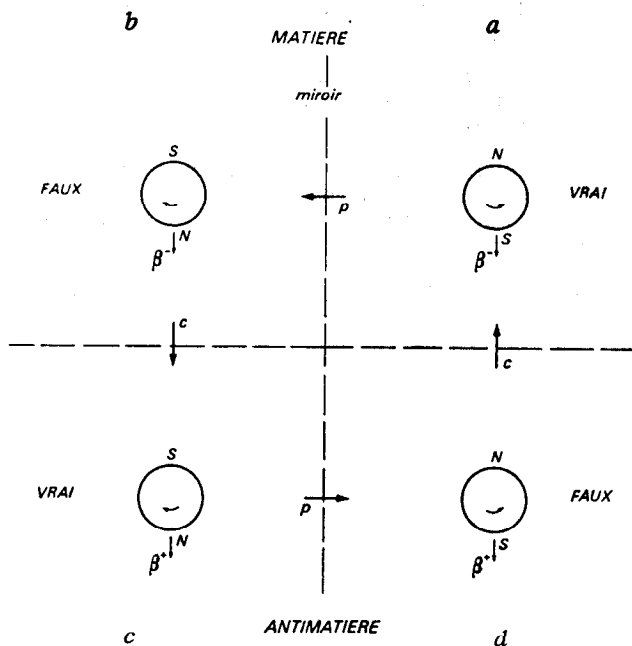


Fig. 20. — L'application du théorème $PC = 1$ à la radioactivité β^- du cobalt 60.

et une ligne horizontale qui représente la séparation entre matière et antimatière. Traverser la ligne verticale correspond à l'opération P, traverser la ligne horizontale correspond à l'opération C.

Nous partons de la fig. 20 a) qui représente la radioactivité β^- du cobalt 60 avec émission du β^- par le pôle Sud. Nous avons là un phénomène réel.

Par l'opération parité, nous arrivons à la fig. 20 b), où le β^- sort du cobalt 60 par le pôle Nord. Cette image est fausse, car elle ne correspond pas aux lois de la nature (cf. paragraphes précédents).

Par l'opération C, nous arrivons à la fig. 20 c), qui représente l'anticobalt 60 émettant un rayon β^+ par le pôle Nord. Cette image est vraie, elle correspond à une propriété de l'antimatière.

Par l'opération P, nous arrivons à la fig. 20 d) où l'anti-cobalt 60 émet un β^+ par le pôle Sud. Cette image est fausse, elle est contraire aux lois de la nature dans l'antimatière.

Par l'opération C, nous revenons à la fig. 20 a), qui représente le cobalt émettant un β^- vers le pôle Sud et ceci est conforme aux lois de la nature.

Le sens physique du théorème $PC = 1$ est donc la possibilité de prévision des propriétés de l'antimatière quand on connaît celles de la matière et inversement.

Le deuxième exemple, plus humoristique, va nous rapprocher de l'étude du problème OZMA en appliquant le théorème $PC = 1$ à un homme. Tout est représenté sur la fig. 21 avec les mêmes conventions que pour le cobalt.

Sur la fig. 21 a), présentation de l'homme vu de dos avec désignation de sa main gauche et de sa main droite. Cet homme existe sur Terre comme chacun sait.

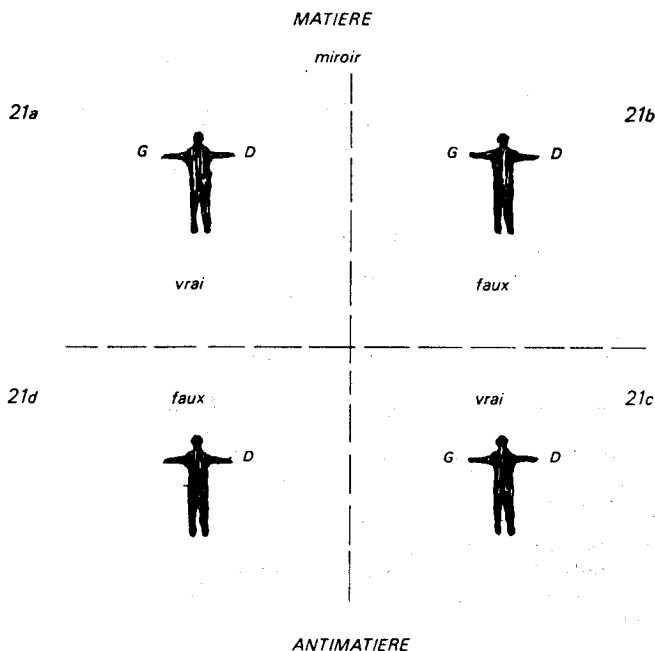


Fig. 21. — Application de l'opération $PC = 1$ à un homme.

Par l'opération P, nous passons à la fig. 21 b). L'homme qui a été ainsi créé est justement l'homme droit dont nous avons conté les mésaventures précédemment. On sait qu'il n'est pas viable sur Terre, et c'est pourquoi nous disons que cette image est fausse. En fait, à ce stade, quelques réserves sont nécessaires : tant qu'on ne prouvera pas que la vie avec des acides aminés L correspond à un processus obligatoire, rien ne nous empêche de penser qu'un tel homme est viable sur une autre planète de matière.

Par l'opération C, on arrive à la fig. 21 c), qui représente un homme d'antimatière qui nous tourne le dos. La main qu'il appelle droite correspond à notre gauche, et la main qu'il appelle gauche correspond à notre droite. Un tel homme est parfaitement viable dans un monde d'antimatière même si son existence est hautement improbable : c'est le théorème $PC = 1$.

Par l'opération P, on arrive à la fig. 21 d), qui correspond à un homme d'antimatière ayant la même gauche et la même droite que nous. Celui-là correspond à une image fausse avec la même remarque que pour la fig. 21 b).

Par une opération C, nous revenons à la fig. 21 a), qui correspond à l'homme normal.

Nous disposons maintenant de tous les éléments pour aborder le problème OZMA à condition toutefois de trouver une langue de communication.

LE LANGAGE SPATIAL.

Des linguistes et des mathématiciens se sont penchés sur le problème passionnant de la communication éventuelle avec des civilisations intelligentes se trouvant en dehors de la Terre, et même en dehors du système solaire. Il ne s'agit pas là de rajouter une fable de plus aux élucubrations sur les extra-terrestres mais d'établir par des méthodes scientifiques un langage universel sur la base suivante :

Toute civilisation avancée au point d'être capable de communiquer par radio avec la Terre doit avoir atteint un développement important de la logique mathématique et cette logique est considérée comme universelle. Elle permettra par étapes, de définir une langue avec des nuances y compris même des jugements de valeur (*). FREUDENTHAL, mathématicien hollandais, a créé en 1952 ce langage cosmique baptisé LINCOS et nous allons en présenter quelques éléments, revus et corrigés par FEYNMAN.

(*) La méthode consiste à présenter deux solutions du même problème mathématique, l'une élégante et qualifiée de bonne, l'autre compliquée et qualifiée de mauvaise.

Le message va être envoyé sous forme de tops auxquels on associera le langage parlé (modulation à fréquence radio) et le langage écrit (modulation à fréquence TV). Voici la première suite de messages élémentaires devant introduire la notion de système de numération :

top $\longrightarrow$ 1
 top, top $\longrightarrow$ 2
 top, top, top $\longrightarrow$ 3
 top, top, top, top $\longrightarrow$ 4

On peut penser que la répétition fréquente de ce message doit aboutir chez celui qui le reçoit à une interprétation correcte : la reconnaissance d'un système de numération.

Ce premier point étant acquis, on va diffuser la suite des nombres suivants :

1,008 $\rightarrow$ H
 4,003 $\rightarrow$ He
 6,940 $\rightarrow$ Li
 9,013 $\rightarrow$ Be

En poursuivant ainsi, on peut diffuser toute la classification périodique des éléments, donnée universelle qui doit être reconnue par un physicien intelligent.

On peut élever ensuite le degré de complexité en diffusant l'information suivante :

$\text{CH}_4 \rightarrow$ méthane
 $\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow$ éthane
 $\text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow$ propane

On doit pouvoir, par cette voie, diffuser toute la chimie organique.

Il y aura des étapes de plus en plus délicates pour passer à la biologie moléculaire puis à la biologie et finalement aboutir à l'homme. Admettons ces étapes franchies et l'on peut imaginer le type de dialogue entre Andromédien et Terrien.

Andromédien.

— Je commence à comprendre à peu près ce que vous me dites et votre civilisation me paraît moins arriérée que je ne l'avais imaginé. J'aimerais mieux vous connaître et je voudrais savoir qu'elle est votre taille.

Terrien.

— Je mesure 1 m 80.

Andromédien.

— Je ne comprends pas bien. Qu'est-ce que c'est qu'un mètre ?

Terrien.

— C'est la dix millionnième partie du quart du méridien terrestre.

Andromédien.

— Je n'ai jamais vu la Terre, et je ne peux pas comprendre votre message.

Terrien.

— Ma taille est la même que celle de dix-sept milliards d'atomes d'hydrogène placés bout à bout.

Andromédien.

— J'ai bien compris et je voudrais savoir maintenant comment vous êtes faits.

Terrien.

— J'ai deux yeux, un nez, une bouche, deux bras, deux jambes...

Andromédien.

— J'ai bien compris, et maintenant je voudrais savoir comment vous êtes faits à l'intérieur.

Terrien.

— J'ai deux poumons, un de chaque côté, un cœur à gauche, un foie à droite...

Andromédien.

— Permettez-moi de vous demander ce que vous appelez la gauche et la droite.

Terrien.

— Le cœur est du même côté que la main gauche qui est la main la moins habile.

Andromédien.

— Je n'ai jamais vu votre main gauche, donnez-moi une autre définition.

Terrien.

— Le haricot s'enroule en hélice droite.

Andromédien.

— Il n'y a pas de haricots sur Andromède. Donnez-moi une autre définition.

Terrien.

— La L sérine fait tourner le plan de polarisation de la lumière à gauche.

Andromédien.

— Je connais bien les deux sérines L et D mais ne sais pas celle que vous appelez L. Donnez-moi une autre définition.

Terrien.

— Vous allez réaliser une expérience de radioactivité β^- du cobalt 60 orienté. Pour cela, vous prenez un solénoïde en cuivre parcouru par un courant. Ce courant est porté par des charges que j'appelle électrons et je prends comme sens conventionnel le sens opposé au déplacement des électrons dans le cuivre. Le noyau de cobalt placé à l'intérieur du solénoïde s'orientera dans l'axe et tournera dans le sens conventionnel du courant. J'appelle Sud le pôle par lequel sort le rayon β^- et Nord le pôle opposé. Un homme tel que je vous l'ai décrit est debout sur l'équateur du noyau de cobalt. Il regarde dans le sens de rotation. La main qui est dirigée vers le pôle Sud est celle que j'appelle la main droite, la main qui est dirigée vers le pôle Nord est celle que j'appelle la main gauche.

Andromédien.

— Toutes mes félicitations, j'ai parfaitement compris votre message et je constate que les physiciens terrestres en savent presque autant que les nôtres. Merci de votre message.

LE RENDEZ-VOUS SPATIAL.

Il reste à se demander si le message a été parfaitement compris, ce qui voudrait dire que le problème OZMA a été résolu. Ce n'est pas l'avis de FEYNMAN qui fait la remarque suivante :

Si Andromède est en matière, la définition de la droite et de la gauche est la même dans les deux galaxies et le problème OZMA est résolu.

Si Andromède est en antimatière, la notion d'asymétrie a été comprise mais la convention droite-gauche est inversée sans qu'on le sache.

C'est pourquoi FEYNMAN imagine un épilogue sous la forme d'un rendez-vous spatial entre un Andromédien et un Terrien. On suppose bien sûr qu'une longue correspondance a appris aux deux protagonistes qu'il est d'usage de se serrer la main lorsqu'on se rencontre.

Sur la fig. 22, on observe les deux cosmonautes qui s'approchent et deux éventualités sont à envisager :

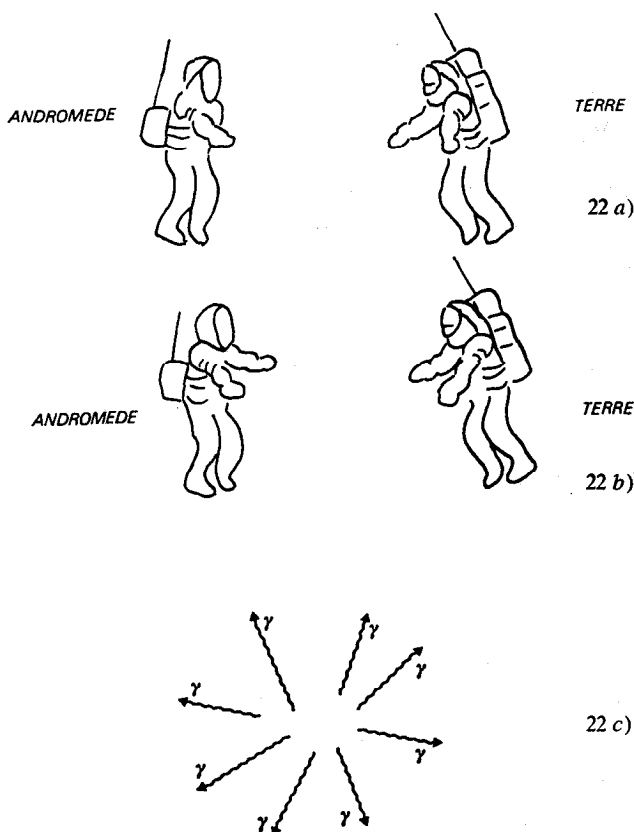


Fig. 22. — Le succès du rendez-vous spatial dépend d'une définition correcte de la droite et la gauche.

- Chaque cosmonaute tend la main droite. Tout est en ordre, ils peuvent se serrer la main (fig. 22 a).
- Le Terrien tend la main droite, et l'Andromédien tend la main gauche (fig. 22 b).

Dans ce cas, on peut affirmer qu'Andromède est faite d'anti-matière et il faut faire très attention. Si l'on n'y prend pas garde, on se trouvera dans le cas de la fig. 22 c), qui correspond à la réaction d'annihilation.

Bien entendu, ce rendez-vous spatial relève de la science-fiction, mais cette petite histoire suggère au moins une morale : Pour devenir un bon cosmonaute, il faut être d'abord un bon physicien.

BIBLIOGRAPHIE

- J. NICOLLE. — *La symétrie*. Editions « Que sais-je ? ». Presses Universitaires.
- G. GAMOW et M. YCAS. — *Monsieur Tompkins s'explore lui-même*. Ed. Dunod.
- M. GARDNER. — *L'univers ambidextre*. Ed. Dunod.
- R. FEYNMAN. — *La nature des lois physiques*. Ed. Marabout Université.
- R. FEYNMAN. — *Cours de Physique. Mécanique*. Ed. Addison-Wesley.
- J. MONOD. — *Le hasard et la nécessité*. Ed. Seuil.
- T.-D. LEE et C.-N. YANG. — *Question of parity conservation in weak interactions*. Physical review 104, 254 (1956).
- C.-S. WU et al. — *Experimental test of parity conservation in Beta Decay*. Physical Review letters 105, 1413 (1957).
- H.-P. NOYES et al. — *On the origin of biological chirality via natural beta decay*. Slac-Pub - 1957. Juin 1977.
- Simonyi KAROLY. — *A fizika Kulturtörténete-gondolat kiado*. Budapest 1978.

COMMUNICATIONS PRIVEES

Physiologie humaine : M. KOPP.

Anthropologie : MM. DASTUGUE, MEIN, PALES, RIQUET.

Géologie : M^{lle} DUNAND, M. EVIN.

Physiologie végétale : MM. BAILLAUD, CHAMPAGNAT.

Chimie biologique : MM. CHOPIN, PAUTET.

C. RUHLA,

(Université Claude-Bernard - Lyon I).
