

PARTIES OPTIMALES

Le défaut le plus ennuyeux de *Donnant-donnant* est de mal jouer contre elle-même, et c'est réellement un défaut grave. Cela transparaît nettement lorsqu'on utilise, pour comparer les stratégies, ce que l'on appelle les compétitions écologiques : ce sont des compétitions où les stratégies que l'on veut évaluer sont mises dans une arène artificielle ; ensuite, en fonction de leur réussite lors des rencontres qu'elles font deux à deux, leurs effectifs augmentent ou diminuent. Au bout de quelques générations, les mauvaises stratégies ont disparu, et les bonnes occupent tout le terrain. Bien réussir lors d'une telle compétition écologique, c'est envahir l'arène, ce qui signifie qu'on rencontrera souvent des stratégies sœurs (jouant selon les mêmes règles). Bien réussir nécessite donc de bien jouer face à soi-même, et cela *Donnant-donnant* ne sait pas le faire.

Les simulations informatiques (voir les figures 3 et 4) confirment cette faiblesse de *Donnant-donnant* et, mieux encore, un résultat mathématique prouve que *Donnant-donnant* n'est pas bonne et ne peut pas l'être. Pour l'énoncer, nous introduirons certaines notions utiles à la bonne compréhension des dilemmes.

Dénommons *partie optimale* une partie infinie opposant deux stratégies et telle que la limite de la somme des gains moyens ne puisse pas être améliorée. Une partie $[c,c] [c,c] [c,c] [c,c] \dots$ n'est pas optimale, car la limite de la somme des gains moyens est 6. En revanche, une partie $[c,t] [c,t] [c,t] [c,t] \dots$ est optimale, car la limite de la somme des gains moyens est 8. La partie infinie $[c,t] [c,t] [c,t] [c,t] \dots$ n'est toutefois pas équitable, car c'est toujours le premier joueur qui se sacrifie pour que le second marque des points (ce type de parties est le jeu que pratiquent les espèces, où une hiérarchie s'installe entre individus). On introduit donc la notion de *partie optimale équitable* en imposant que le score obtenu soit partagé à parts égales entre les deux joueurs. Les parties selon le schéma de métacoopération $[c,t] [t,c] [c,t] [t,c] [c,t] \dots$ sont optimales équitables. Au dilemme de l'ascenseur, il existe toutes sortes de parties optimales équitables : toutes celles obtenues en répétant périodiquement un schéma quelconque composé du même nombre de $[c,t]$ que de $[t,c]$, et nous en avons déjà cité plusieurs.

Maintenant voici la définition qui va nous intéresser : on dénomme *stratégie rationnelle* une stratégie qui, lorsqu'elle joue contre elle-même, joue toujours des parties optimales. De même, bien sûr, on dénomme *stratégie rationnelle équitable* une stratégie qui, lorsqu'elle joue contre

elle-même, joue toujours des parties optimales équitables. La question est : existe-t-il des stratégies rationnelles et des stratégies rationnelles équitables ?

Au dilemme du prisonnier, toute stratégie qui ne prend jamais l'initiative de trahir (t), et donc en particulier *Donnant-donnant*, est rationnelle équitable (car contre elle-même elle joue la partie optimale équitable $[c,c] [c,c] \dots$). Au dilemme du prisonnier, toute stratégie rationnelle est d'ailleurs automatiquement équitable.

LE HASARD EST INDISPENSABLE

Le dilemme du renvoi d'ascenseur est plus intéressant, car *Donnant-donnant* n'y est plus rationnelle. Ce résultat remarquable prouve la complexité intrinsèque du dilemme de l'ascenseur : pour qu'une stratégie soit rationnelle, il faut qu'elle soit non déterministe (c'est-à-dire qu'elle fasse intervenir le hasard dans ses méthodes de choix de coups).

La démonstration exploite l'idée qu'une stratégie déterministe, quand elle joue contre elle-même, ne joue que des coups $[c,c]$ ou $[t,t]$, lesquels, au dilemme de l'ascenseur, sont moins bons que les coups $[c,t]$ et $[t,c]$. Examinons des exemples de stratégies rationnelles au dilemme de l'ascenseur.

Raison-naïve-50 : tant qu'aucun coup du passé n'a été de type $[c,t]$ ou $[t,c]$, je choisis au hasard c ou t , avec 50 pour cent de chances pour chacun ; ensuite, je joue toujours la même chose. La stratégie *Raison-naïve-50* contre elle-même jouera, par exemple, la partie : $[c,c] [t,t] [t,t] [c,c] [c,t] [c,t] [c,t] [c,t] \dots$

Après une période de recherche de déphasage (qui s'étend sur quatre échanges), les comportements ont été définitivement fixés (ce qui est évidemment désavantageux pour la première, qui se fait exploiter de façon éhontée par la seconde). Quand une *Raison-naïve-50* en rencontre une autre, celle qui perd en premier perd jusqu'à la fin. Si tous les individus d'une espèce animale adoptent une telle stratégie, alors, automatiquement, se mettra en place une hiérarchie stable, ce qui est collectivement intéressant et meilleur même que la coopération simple... même si c'est très injuste.

Raison-naïve-50 est rationnelle, mais n'est pas équitable. Existe-t-il des stratégies à la fois raisonnables et équitables ? Oui, en voici l'exemple le plus simple, que vous avez sans doute deviné.

Raison-50 : tant qu'aucun coup du passé n'a été de type $[c,t]$ ou $[t,c]$, je choisis à pile ou face c ou t ; ensuite, je joue toujours l'inverse de mon coup précédent. *Raison-50* contre elle-même

jouera des parties du type : $[c,c] [t,t] [t,t] [c,t] [t,c] [c,t] [t,c] [c,t] [t,c] [c,t] [t,c] \dots$

Après une période de recherche de déphasage (qui dure ici trois échanges), les comportements sont fixés, mais sans qu'aucun des deux joueurs soit privilégié, car les deux stratégies *Raison-50* alternent leur choix en opposition de phase menant une parfaite métacoopération.

De telles stratégies jouent bien contre elles-mêmes, mais ne jouent pas nécessairement bien contre d'autres qui peuvent exploiter leur comportement trop simple et prévisible. Voici un exemple de stratégie qui mêle l'idée de *Donnant-donnant* et l'idée de la recherche d'un déphasage.

Donnant-donnant-50 : tant qu'aucun coup du passé n'a été de type $[c,t]$ ou $[t,c]$, je choisis à pile ou face (50 pour cent) c ou t ; ensuite j'applique *Donnant-donnant*.

À la place de 50 pour cent, on peut bien sûr utiliser n'importe quelle autre probabilité. C'est ce que nous appellerons les stratégies *Donnant-donnant-X* (où X est la probabilité de jouer c dans la période de recherche de déphasage). La longueur moyenne de la recherche du déphasage est bien sûr la plus courte pour X égal à 50, mais, en choisissant cette valeur, on joue souvent des rencontres $[t,t]$ qui sont coûteuses. Le calcul montre qu'il vaut mieux allonger la période de recherche d'un déphasage pour qu'il soit moins coûteux. Le coût moyen d'une recherche de déphasage est minimum pour la probabilité X égal à 56,69640 pour cent, nombre qu'on obtient en étudiant la fonction «coût du déphasage» et en recherchant la valeur pour laquelle cette fonction atteint son minimum.

Au jeu du dilemme du renvoi d'ascenseur, non seulement pour marquer des points il faut être non déterministe, mais de plus il faut savoir résoudre des problèmes de minimisation. Décidément, prendre l'ascenseur est devenu bien compliqué !

J.-P. DELAHAYE, P. MATHIEU et B. BEAUFILS, *The Iterated Lift Dilemma*, in *Computational Conflicts* (R. Dieng et J. Müller ed.), Springer-Verlag, Berlin, 2000.

M. NOWAK et K. SIGMUND, *Phage-lift for Game Theory*, in *Nature*, pp. 367-368, avril 1999.

P. TURNER et L. CHAO, *Prisoner's Dilemma in RNA virus*, in *Nature*, pp. 441-443, avril 1999.

Sur le dilemme itéré du prisonnier et la théorie des jeux, on consultera le dossier *Pour la Science : Les mathématiques sociales*, juillet 1999.

On trouvera à l'URL www.lifl.fr/IPD/ des logiciels et des articles sur les problèmes de dilemme.



Bruno Vacaro

Une affaire de dimensions

ROLAND LEHOUCQ

Existe-t-il des principes physiques permettant de déduire les dimensions de notre monde ?

Dans son *De Caelo* («Du ciel»), Aristote discute le nombre de dimensions de l'espace et propose un argument inspiré des pythagoriciens : ces derniers voyaient dans le nombre trois, le nombre du Tout, car il représentait le commencement, le milieu et la fin. Dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du Monde*, publié en 1632, Galilée apporte un argument géométrique affirmant qu'il n'y a pas plus de trois dimensions, car par un point ne peuvent concourir plus de trois droites perpendiculaires deux à deux.

La ligne de pensée que je vais suivre est inspirée du philosophe Emmanuel Kant pour lequel la tridimensionnalité de l'espace résultait de la loi de gravitation universelle d'Isaac Newton selon laquelle les corps s'attirent en raison inverse du carré de leur distance. Avec Kant, pour la première fois, le problème de la tridimensionnalité de l'espace est envisagé non pas du point de vue métaphysique ou géométrique, mais par une considération physique qui interprète la forme d'une loi d'interaction.

La proposition de Kant peut être généralisée pour un espace à plus de trois dimensions. Dans un espace à N dimensions, la gravitation est une loi qui varie comme la distance à la puissance un moins la dimension de l'espace (loi en r^{1-N}). Ainsi, la loi de gravitation de Newton est une conséquence directe de la tridimensionnalité de notre espace. Dans un espace à quatre dimensions, la force de gravitation serait proportionnelle au cube de la distance.

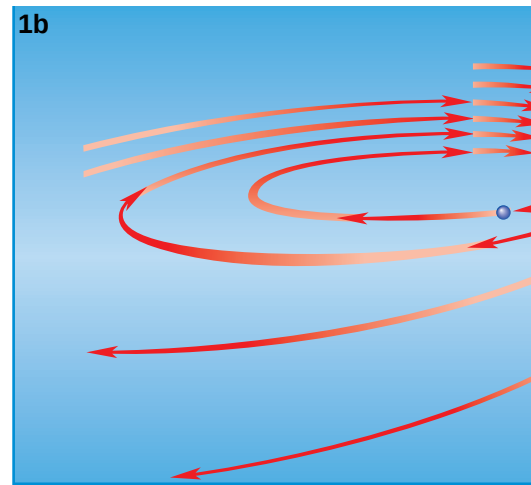
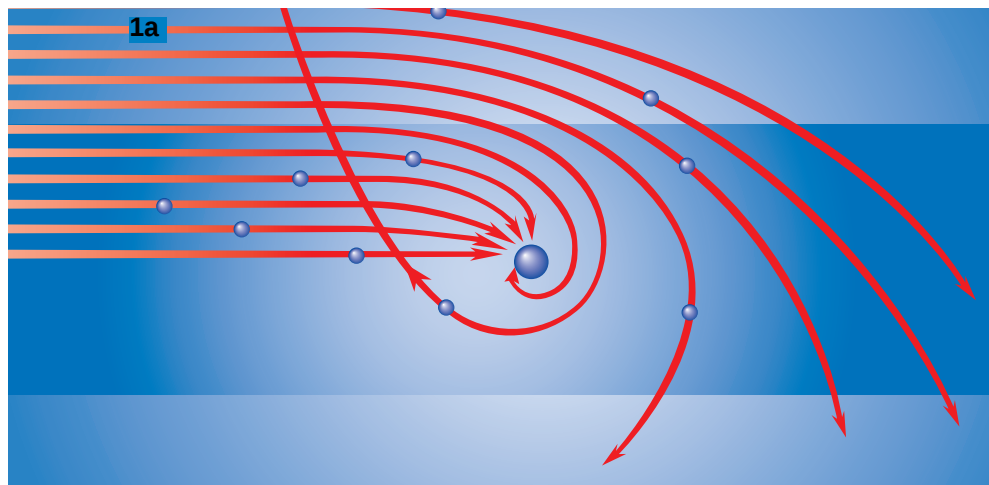
En 1917, le physicien allemand Paul Ehrenfest publie un article fondamental dans lequel il s'intéresse aux effets sur le mouvement des masses d'une loi d'interaction dans un espace à plusieurs dimensions. Il montre que le problème de deux corps en interaction gravitationnelle généralisée à N dimensions ne possède de solutions stables et bornées à la seule condition que la dimension de l'espace soit égale à deux ou trois. De surcroît, si l'on veut exprimer que l'interaction est évanescence à l'infini et que l'on impose une énergie potentielle d'interaction nulle lorsque la

distance entre les corps tend vers l'infini, seul le cas tridimensionnel donne des orbites stables.

L'absence de solutions stables dans un espace à quatre dimensions peut être représentée sur une feuille de papier : c'est une projection bidimensionnelle, mais les quantités physiques, comme les distances, résultent des calculs faits en dimension quatre. Un ensemble de particules tombent sur une masse ponctuelle. Ces particules ont toutes la même masse et la même vitesse initiale, mais leur position initiale diffère. Celles qui sont situées hors de la région ombrée s'échappent à l'infini, tandis que les autres tombent en spirale sur le corps central (voir la figure 1a). Cette situation est nettement différente du cas d'un espace à trois dimensions où nous aurions des orbites ouvertes allant à l'infini (parabole et hyperbole) ou des orbites elliptiques fermées et stables (voir la figure 1b). Si l'on considère que le développement de la vie a nécessité des millions d'années, il est heureux que notre monde ait trois dimensions.

La dimensionnalité de l'espace touche aussi le monde des atomes. Dans l'espace à trois dimensions, la force entre deux charges est en fonction inverse du carré de la distance entre les charges. La matière qui nous entoure est indubitablement

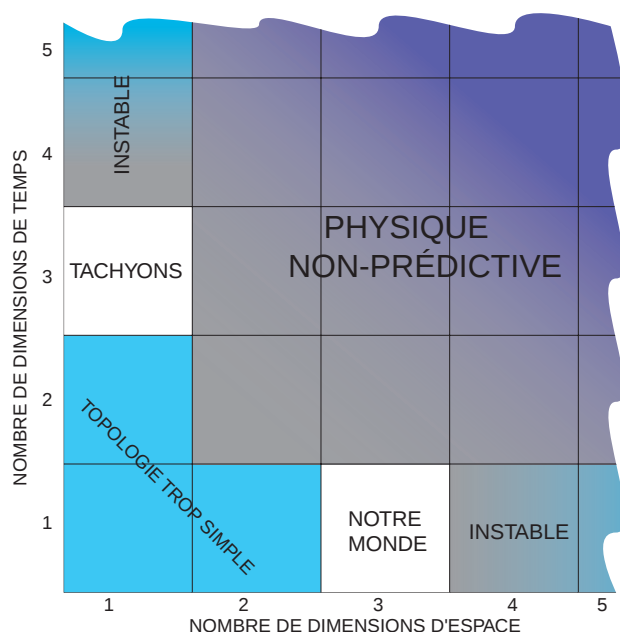
1a. Dans un monde à quatre dimensions, la force de gravité est telle que les objets qui s'approchent à différentes distances d'un astre ont deux options : s'écraser dessus (ceux qui partent de la zone ombrée) ou s'échapper à l'infini. Dans ce monde, les orbites stables n'existent pas. **1b.** Dans notre monde tridimensionnel, les objets qui s'approchent d'un astre peuvent chuter dessus, mais il peuvent aussi s'échapper à l'infini ou rester en orbite autour de l'astre.



stable. Cela signifie physiquement que le niveau fondamental d'un atome a une énergie finie : l'électron ne tombe pas sur le noyau, ni ne s'échappe spontanément à l'infini. En appliquant la théorie atomique de Bohr au cas d'un atome d'hydrogène évoluant dans un espace à plus de cinq dimensions, on montre que le rayon de l'orbite électronique décroît lorsque son énergie augmente : l'électron tombe sur le noyau ! Dans un espace à quatre dimensions, la situation devient ambiguë, car il n'existe plus d'échelle caractéristique de longueur dans le système, comme l'est le rayon de Bohr pour un atome d'hydrogène habituel. Ainsi, on peut affirmer que les atomes stables, et donc la chimie et les chimistes eux-mêmes, ne peuvent exister que si l'espace possède au plus trois dimensions.

Enfin, un espace bidimensionnel, et *a fortiori* unidimensionnel, est sensiblement moins intéressant, car d'éventuels organismes devraient faire face à des problèmes topologiques insurmontables. Par exemple dans notre monde, on peut percer un objet, d'où la possibilité des tubes digestifs. Si l'on tente de faire la même chose dans un espace à deux dimensions, l'objet est coupé en deux, ce qui est gênant. De même, en deux dimensions, deux neurones ne pourraient se croiser (le livre *Flatland*, de E.A. Abbott décrit les possibilités de vie dans un tel monde). La Nature aurait-elle conspiré pour imposer trois dimensions spatiales ?

Nous percevons le temps comme unidimensionnel, parce que nos pensées semblent se succéder les unes après les autres dans un ordre bien défini. Cet



3. Selon les dimensions de l'espace et du temps, des problèmes surgissent. Lorsque la dimension spatiale ou temporelle est supérieure à un, la physique n'est plus prédictive. Dans le cas où les dimensions sont supérieures à trois, les atomes sont instables. Enfin dans le cas où les dimensions sont inférieures à trois, on tombe sur des problèmes de complexité : problèmes topologiques et absence de gravitation. Avec trois dimensions de temps et une dimension d'espace, seuls les tachyons, des particules qui vont plus vite que la lumière, existeraient.

argument est subjectif. Le temps pourrait paraître unidimensionnel sans l'être réellement, un peu comme nous perdons la vision en relief en fermant un œil : nous sommes alors entourés d'objets plats et seule l'habitude permet d'apprécier encore les distances.

LA LIGNE DE TEMPS

De nombreux aspects de la physique seraient assez différents avec un temps qui n'est pas unidimensionnel. Par exemple, l'énergie ne serait plus un nombre, mais un vecteur indiquant la direction temporelle du déplacement, au même titre que la quantité de mouvement d'un mobile est un vecteur indiquant dans quelle direction spatiale il se déplace. Comme la quantité de mouvement se conserve lorsque le mobile n'est soumis à aucune force, la direction temporelle suivie serait aussi une constante du mouvement. En d'autres termes, si deux observateurs se déplaçant selon des directions temporelles différentes se rencontrent, ils se sépareraient inéluctablement pour suivre leur trajectoire temporelle respective, incapable de rester ensemble. Du point de vue d'un observateur, l'autre apparaîtrait et disparaîtrait aussitôt...

Autre conséquence importante de la multidimensionnalité temporelle : certaines particules ne seraient plus stables. Dans un monde comme le nôtre, une particule ne peut se désintégrer que si la somme

des masses au repos (la masse lorsque la particule est immobile) des particules produites est inférieure à la masse au repos de la particule initiale. Cette condition, qui confère leur stabilité au proton et à l'électron, disparaît dans un monde à plus d'une dimension temporelle. Par exemple, un proton pourrait se désintégrer en un neutron, un positon et un neutrino ; un électron pourrait se transformer en un neutron, un antiproton et un neutrino. La matière que nous connaissons ne serait plus stable.

LA FIN DE L'INDUCTION

Max Tegmark, de l'Université de Pennsylvanie, a montré récemment que les équations régissant la physique d'un monde ayant plus d'une dimension temporelle ne peuvent pas être utilisées pour prédire l'évolution future d'un système. Autrement dit, la physique ne serait plus prédictive et Newton deviendrait incapable de dire si la

pomme qui se détache de l'arbre s'écrasera au sol ou partira dans les étoiles.

Ainsi, les physiciens imaginent un monde à une dimension d'espace et trois dimensions de temps où les déplacements se font toujours à une vitesse supérieure à la vitesse de la lumière (un monde de tachyons) et où la physique n'est pas prédictive. Si, au vu de ces pérégrinations dans ces mondes étranges, nous nous disons que notre monde semble bien le meilleur possible, des êtres de lumière se disent peut-être la même chose ailleurs ou dans un autre temps. À l'instar des pauvres hères, enfermés dans la caverne de Platon, ne serions-nous que des esclaves confinés dans trois dimensions par une volonté supérieure ?

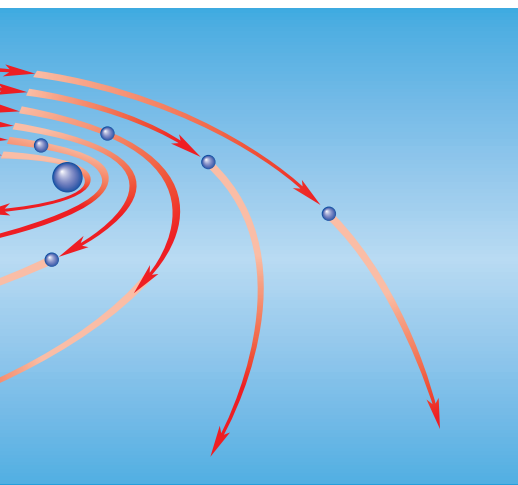
Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

M. TEGMARK, *On the dimensionality of spacetime*, in *Classical and Quantum Gravity*, vol. 14, p. L69, 1997.

T. BANCHOFF, *La quatrième dimension*, Pour la Science, 1996.

E.A. ABBOTT, *Flatland*, Denoël, 1984.

P. EHRENFEST, *In what way does it become manifest in the fundamental laws of physics that space has three dimensions?*, in *Proceedings of the Royal Academy of Amsterdam*, vol. 20, p. 200, 1917.



Botanique

De la fécondation croisée des Orchidées par les Insectes et des bons résultats du croisement

Charles Darwin, traduction française de L. Rerolle (1870). Éditions Sens, 1999.

Charles Darwin fit paraître cet ouvrage en 1862, trois ans après l'*Origine des espèces*, œuvre fondatrice de la théorie qui, enrichie et appuyée par les découvertes ultérieures de génétique, de biochimie, de biogéographie, etc., reste sous le nom de néodarwinisme la base essentielle de la pensée évolutionniste. On sait que l'auteur s'est révélé ici non seulement théoricien et philosophe de la Nature, mais aussi minutieux observateur et ingénieux expérimentateur. Fondées sur l'«importance des plus minimes détails de structure», ses descriptions de l'organisation des fleurs de nombreuses orchidées européennes et tropicales, accompagnées de figures précises, et l'analyse des processus de leur pollinisation entomogame, suscitent l'admiration. En se référant éventuellement à l'index thématique et systématique en fin d'ouvrage, on trouvera maints exemples de ces observations et expériences, dont les résultats sont soigneusement confrontés à ceux de ses fils et de nombreux autres botanistes avec qui Darwin correspondait. Les données qu'il rassembla sont définitives ; elles ont d'ailleurs été souvent reprises dans les ouvrages les plus récents.

La pertinente analyse liminaire de Pascal Acot vise à montrer que nombre de biologistes, à l'époque de Darwin ou plus récemment, lui ont fait un mauvais procès en l'accusant de téléologie, ce travers qui prête une intention finaliste à des objets naturels. On doit cependant constater que Darwin, au moins par la façon dont il présente les faits observés, qualifiés presque à chaque page de «merveilleux» ou d'«admirables», ne peut s'empêcher de passer du comment au pourquoi, et reste imprégné des idées finalistes qui régnaient à son époque (idées ou tournures rédactionnelles qui subsistent d'ailleurs aujourd'hui dans nombre de publications naturalistes). Se retrouvent fréquemment des formules comme «la nature ne saurait souffrir une telle prodigalité» ou «cette position de la fleur,

très remarquable, est réalisée dans un but particulier» (à propos de *Malaxis paludosa*, auquel il consacre plus de huit pages).

De même, le «bon résultat» de l'allogamie est considéré par Darwin comme une «loi universelle de la nature» : celle-ci «nous dit de la manière la plus éloquente qu'elle a horreur de la fécondation de soi par soi perpétuelle» : il a fallu attendre les données actuelles de la génétique pour que soient compris les effets défavorables de l'autogamie dans un grand nombre de cas (mais non pour tous), ce qui justifie l'opinion de Darwin, mais non son énoncé. Celui-ci bute cependant sur le fait que des orchidées autogames, dont il cite de nombreux exemples, ne sont pas moins fertiles et abondantes que les autres. En scientifique objectif, il constate par exemple l'efficacité reproductrice de l'autogamie chez *Ophrys apifera*, mais manifeste à cet égard «une telle surprise» qu'il vérifie minutieusement le fait durant plusieurs années et sur des centaines de fleurs. Si «le cas est aussi embarrassant que possible», il ne peut s'empêcher de croire qu'«à de longs intervalles de temps» une fécondation croisée permette à cette espèce d'«harmoniser ses fonctions génératrices» avec



Pierre Quentin

Ophrys apifera fut minutieusement étudiée par Charles Darwin.

celles des autres orchidées, «puisque les espèces autogames ont en général gardé les instruments de ce croisement». Darwin paraît plus satisfait par les résultats de l'étude minutieuse de *Cephalanthera grandiflora*, orchidée également autogame par suite de la germination précoce du pollen dans la fleur encore fermée. L'expérimentation à laquelle il se livre sur les effets comparés des pollinisations précoces et tardives (celle-ci par les insectes, en principe allogame) lui permet d'affirmer que la fécondation directe s'exerce dans cette espèce à «un degré extrêmement imparfait», puisqu'il se forme «sept fois plus de graines mauvaises» dans le premier cas que dans le second.

S'appuyant sur les travaux de Robert Brown, Darwin étudie les homologues dans l'organisation des pièces florales des orchidées. Il montre que, «dans le cours régulier de l'évolution, chaque organe, originellement affecté à la réalisation d'un seul but, s'adapte par changements insensibles à des fonctions très différentes», tout comme un fabricant de machines employant pour sa construction des pièces mécaniques anciennes qu'il modifie en vue de nouvelles fonctions. Cette comparaison illustre le «principe de l'économie d'organisation, rendu si nécessaire par la concurrence vitale qui tend à épargner les organes de chaque être». Cette concurrence, comme chez d'autres espèces, est une évidente nécessité, compte tenu du prodigieux pouvoir de multiplication de la plupart des orchidées.

Pour Darwin, cette concurrence vitale s'exercerait surtout entre les individus dont la réussite dépend de l'apparition de variations héréditaires même minimes. Il évoque cependant, bien que de façon discrète, l'influence sélective des facteurs de l'environnement. Ainsi, si dans une station l'*ophrys* abeille est plus abondant que l'*orchis* pyramidal, «une des principales causes de cette différence est probablement l'exposition de ce lieu, peu favorable aux papillons» (dont le second dépend seul pour sa pollinisation). De même, «en produisant des variations



Marcel Bourmérias

La *Cépalanthère* à longues feuilles se trouve dans l'ensemble de la France, sauf en Bretagne et dans le Nord.

accidentelles légères qui sont avantageuses à l'organisme dans les conditions complexes et toujours changeantes où il peut se trouver, la nature réalise à la longue des combinaisons admirablement appropriées» : il y a en germe bien des idées actuelles sur le rôle des facteurs écologiques dans l'évolution.

P. Acot montre qu'en publiant cet ouvrage, Darwin a cherché à faire triompher ses conceptions scientifiques, après les violentes polémiques suscitées par l'*Origine des espèces*. L'étude des orchidées lui permet d'écrire avec de solides arguments : «Pouvons-nous être satisfaits d'admettre que chaque orchidée a été créée d'après un certain type idéal et que le tout-puissant Créateur n'a pas voulu s'en écarter ? N'est-il pas plus simple et plus intelligible d'admettre que toutes les orchidées doivent leurs caractères communs à leur descendance de quelque plante monocotylédone, et que la structure présente de leur fleur, si merveilleusement changée, a été la suite de lentes modifications, chaque modification utile ayant été fixée pendant le cours des changements incessants auxquels le monde a été exposé ?»

On doit se réjouir de la réédition soignée (en fac-similé) de cet ouvrage marquant du fondateur de l'évolutionnisme scientifique. Sur sa couverture figure la photographie classique, due à Marcel Lecoufle, du pollinisateur d'*Angraecum sesquipedale*, papillon découvert longtemps après que Darwin en ait prévu l'existence : anecdote souvent reprise, mais qui ne doit pas faire oublier le reste de l'œuvre. Regrettons seulement que la technique de brochage de ce livre en rende le maniement peu aisé ; mais le lecteur sera amplement récompensé par l'effort à faire : il faut redécouvrir Darwin.

Marcel BOURNÉRIAS

de fantasmes et ont été le prétexte à tant de divagations, parfois plaisantes, parfois sinistres, qui ont elles-mêmes influencé le développement de la science anthropologique.

En ce domaine, il n'est pas simple de débrouiller l'écheveau des interactions entre la connaissance scientifique, les préjugés philosophiques, religieux ou politiques qui l'influencent, et les fictions qui en sont issues. Les exemples étudiés par l'auteur sont variés, des classifications raciales du XVIII^e siècle à la paléontologie dans l'œuvre de Flaubert, en passant par le roman préhistorique en tant que genre littéraire, et par les considérations des préhistoriens sur l'érotisme et la sexualité de nos ancêtres. Le résultat est une mosaïque, qui montre à la fois combien l'interprétation scientifique est colorée par des facteurs extérieurs (ce qui, bien sûr, n'est pas à proprement parler une découverte) et à quel point ces influences sont variées. La réciproque est vraie : la science anthropologique (au sens large) est, depuis longtemps, une source féconde d'inspiration pour les poètes et pour les romanciers. Le chapitre sur le roman préhistorique, qui nous rappelle que ce genre ne se limite pas à Rosny aîné et à sa *Guerre du feu*, l'illustre bien ; l'étude sur les sources d'inspiration anthropologique chez Victor Hugo révèle des influences plus subtiles.

On peut faire quelques petits reproches à ce livre. L'historienne est souvent fâchée avec la géographie, plaçant dans l'Ariège les grottes de Bize (qui sont dans l'Aude), dans la Dordogne celle de Lespugue (qui est en Haute-Garonne), et dans la Haute-Garonne l'abri de Laussel (qui est en Dordogne). Plus critiquable est l'affirmation selon laquelle «l'œuvre

de Cuvier apparaît bien à certains égards comme une tentative pour concilier le savoir scientifique avec une lecture plus ou moins littérale du texte de la Genèse». C'est certes là une interprétation classique des vues de Cuvier, mais cette image de «géologue bibliste» a été remise en cause, avec arguments à l'appui, par les travaux de plusieurs historiens des sciences, dont Dorinda Outram et Martin Rudwick : Cuvier n'a vraisemblablement pas eu les fortes convictions religieuses qu'on lui prête souvent, et sa conception du Déluge s'apparente sans doute plus à une démythification qu'à une intrusion de la religion dans la science.

Dans l'ensemble, toutefois, ce livre se lit avec plaisir, car il regorge de remarques justes et souvent originales. Sans être jamais acerbe, Cl. Cohen se livre, à l'occasion, à des critiques plutôt sévères : ainsi lorsqu'elle s'interroge sur la validité des interprétations psychanalytiques de l'art paléolithique chères à André Leroi-Gourhan et si en vogue parmi les préhistoriens entre 1950 et 1975.

Outre des épisodes pittoresques de l'histoire de l'anthropologie préhistorique, le lecteur retiendra de ce livre que la science ne se développe pas dans un espace étanche et qu'elle est soumise à toutes sortes d'influences culturelles, en même temps qu'elle imprime sa propre marque à la culture ambiante. Les théories scientifiques sont, dans une certaine mesure, filles de leur époque et de leur environnement, et Cl. Cohen a raison de faire remarquer, par exemple, combien la théorie de l'«Ève africaine», qui fait descendre tous les hommes modernes d'une femme africaine ayant vécu il y a quelque 200 000 ans, est politiquement

Anthropologie

L'homme des origines

Claudine Cohen, Éditions du Seuil, 1999.

Dans ce recueil d'essais, dont la plupart sont inédits, Claudine Cohen explore les liens complexes entre les idées sur l'origine de l'homme et l'imaginaire de ceux qui s'y sont intéressés. Le terrain à parcourir est vaste, car peu d'autres branches de la connaissance humaine ont suscité autant



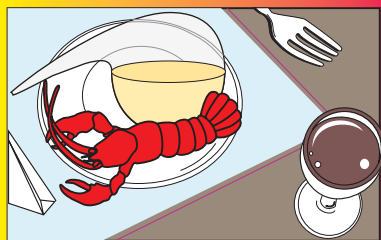
Pourquoi cette peinture de la grotte de Lascaux représente-t-elle un homme à tête d'oiseau ?

FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

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

Info Sciences

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



Les prochains
résultats présentés
dans la rubrique
Science et Gastronomie
seront annoncés sur
France Info
le 27 mars 2000.



correcte dans le contexte actuel. Il est bien difficile de s'affranchir complètement de ces influences plus ou moins subtiles de l'environnement intellectuel. Cl. Cohen y succombe elle-même à l'occasion, comme lorsqu'elle remarque que les thèses «multirégionalistes» de l'origine de l'homme moderne ne sont pas sans risque de «dérives racistes». Peut-être, mais cette observation ne peut constituer un facteur d'évaluation de leur validité. Fût-ce dans un domaine «sensible» comme celui de l'anthropologie, on ne peut pas juger une théorie scientifique à l'aune des exploitations non scientifiques qui peuvent en être faites.

Eric BUFFETAUT

Éthologie

Bonobos, le bonheur d'être singe

Frans de Waal et Frans Lanting.
Éditions Fayard, 1999 (214 pages,
295 francs).

Il y a six millions d'années, à partir d'un ancêtre commun, la lignée des hominidés a divergé, tandis qu'un autre rameau a donné les chimpanzés et les bonobos, séparés depuis trois millions d'années seulement ; nous partageons avec eux 98 pour cent de nos gènes ! Les chimpanzés sont bien connus, notamment grâce à Jane Goo-

dall (plus de 40 ans de présence au Parc national de Gombe, en Tanzanie), mais l'histoire des bonobos, selon Frans de Waal, ne fait que commencer.

L'éthologie est la «science des comportements des espèces animales dans leur milieu naturel» : la définition date de 1849, et son auteur est le fondateur de la Société d'acclimatation de France, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (1805-1861). Aujourd'hui, la discipline a tourné le dos aux approches dogmatiques et monolithiques du «tout génétique» ou du «tout apprentissage», et la vieille querelle entre l'inné et l'acquis est désormais périmée, selon Frans de Waal lui-même. Les recherches sont menées dans le milieu naturel sur des périodes très longues, ainsi qu'en captivité, combinant les approches disciplinaires les plus variées ; les résultats sont analysés, recoupés, et la subjectivité a laissé la place à des bilans plus fiables et plus nuancés.

De réputation sexuelle sulfureuse, les bonobos restent les moins connus des grands singes. *Pan paniscus* est une espèce légèrement plus petite que *Pan troglodytes* (le chimpanzé) ; la tête est petite, le cou fin, les bras, le torse et les jambes sont élancés. Le dimorphisme sexuel est réduit (le poids moyen du mâle est de 41 kilogrammes, celui de la femelle de 37 kilogrammes), et la bipédie est marquée. Ils vivent dans la forêt tropicale du bassin du fleuve Zaïre (République démocratique du Congo), et l'on pense qu'ils n'ont jamais quitté leur pays d'origine.

La population des bonobos est difficile à évaluer, en raison des difficultés



Les bonobos partagent avec l'espèce humaine de nombreux comportements. Ils vivent en sociétés organisées et tolérantes, dans le bassin du fleuve Zaïre.

POUR LA SCIENCE

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

POUR LA SCIENCE Directeur de la rédaction : Philippe Boulanger. Hervé This (Rédacteur en chef), Françoise Cinotti (Rédactrice en chef adjointe), Bénédicte Lederq (Rédactrice en chef adjointe), Yann Esnault, Philippe Pajot, Loïc Mangin, Claire Le Poullennec (Rédacteurs). Secrétariat de rédaction : Annie Tacquenot, Pascale Thiollier, Céline Lapert. Site Internet : Cyril Lamotte. Marketing et Publicité : Stéphane Montouchet, assisté de Séverine Merviel et Christophe Vitiello. Direction financière : Jean Gusdorf. Direction du personnel : Jean-Benoît Boutry. Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Géraldine Le Coz. Presse et communication : Sylvie Gillet, assistée de Lucie Romier. Directeur de la publication et Gérant : Olivier Brossollet.

Ont également collaboré à ce numéro : Christian Andres, Catherine Barthélémy, Leïla Bellon, J. Blamont, Jean-Claude Chasteland, Bettina Debù, Paul Decaen, M. Dullac, Évelyne Host-Platret, Jean-Jacques Hublin, Valérie Martin-Rolland, Claude Olivier, Guy Paulus, Christophe Pichon, I. Sadourny.

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

PUBLICITÉ France

Chef de Publicité : Jean-François Guillotin,
jf.guillotin@pourlascience.fr
8 rue Férou 75278 Paris Cedex 06
Tél. : 01 55 42 84 28
Télécopieur : 01 43 25 18 29

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

SERVICE ABONNEMENTS

Anne-Claire Ternois : 01 55 42 84 04

SERVICE DE VENTE RÉSEAU NMPP

Christophe Vitiello : 01 55 42 84 81.

DIFFUSION DE LA BIBLIOTHÈQUE

POUR LA SCIENCE

Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal, Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303, rue du Pré-aux-oies - 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8, rue Férou - 75278 Paris Cedex 06.

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

© Pour la Science S.A.R.L.

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.» En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).

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

d'accès à leurs territoires : on l'estime comprise entre 2 500 et 10 000. Même si l'on ajoute quelques centaines de bonobos captifs dans les zoos européens et américains, l'espèce est fragile et menacée. Sa connaissance est liée à la survie des communautés congolaises et à des conditions d'élevage maintenant bien maîtrisées, qui assurent la longévité des captifs et une descendance appréciable.

Comme les chimpanzés, les bonobos constituent une société dite de «fission-fusion» : ils composent de petits groupes itinérants mixtes, qui changent au gré des jours et, même, des heures. Les associations sont temporaires et fluctuantes, sauf celles qui unissent les mères et leurs jeunes. Les femelles ont un jeune tous les quatre ou cinq ans, et le bébé singe grandit lentement, est allaité durant quatre ans et devient tardivement autonome. Le lien maternel demeure entre la mère et ses fils adultes, puisque les mâles restent dans leur groupe d'origine. En revanche, les jeunes femelles prépubères quittent leur famille et se font accepter dans un groupe étranger, en s'attachant à des femelles plus âgées avec lesquelles elles lient des liens de sororité secondaire. La société des bonobos est tolérante et égalitaire, mais le rôle des femelles est primordial. La hiérarchie existe, sans être stricte ni pesante. Une femelle âgée sera considérée comme «influyente» plus que dominante et, ainsi, elle assurera une certaine présence à ses fils.

Les animaux sont vifs, actifs, bruyants. Leurs ressources alimentaires sont abondantes et disponibles sans effort ; elles se composent essentiellement de fruits mûrs énormes (*Anonidium* et *Treculia*) et d'une végétation herbacée terrestre qui fournit des protéines végétales en grande quantité. Les bonobos consomment seulement un pour cent de protéines animales (insectes, vers, reptiles, musaraignes, petites antilopes...). Il n'existe pas de conflits liés à la recherche de nourriture et à son appropriation, en raison de l'abondance des ressources, mais une compétition et une agressivité liées à la compétition sexuelle pourraient demeurer.

Or ces animaux ont la particularité de désamorcer leurs conflits par une activité sexuelle fréquente, inventive, hétérosexuelle et homosexuelle. En dehors de la particularité de relations sexuelles face à face, *more hominum*, à la manière des humains (alors que les chimpanzés s'accouplent *more canum*, à la manière des chiens), favorisées par la localisation des organes

sexuels de la femelle, plus entre les jambes que chez les chimpanzés, toutes les positions sont possibles.

Les rapports sont si décontractés, si «naturels», si fréquents (et déconnectés de la notion de reproduction, puisqu'ils ont peu de jeunes, et espaces), et les animaux y prennent tant de plaisir que toute interprétation humaine relève davantage de nos fantasmes que d'un comportement pervers de leur part ! Pour rassurer les partisans d'une certaine morale, ils échappent à l'inceste et à l'infanticide. Donc la sexualité n'est pas une source de conflits, puisque les femelles sont nombreuses et réceptives presque en permanence, et la paternité impossible à repérer sans empreinte génétique.

Société idéale ? On peut la qualifier de tolérante, sensible, intelligente. On peut s'étonner de ne pas voir les bonobos utiliser des outils dans leur milieu naturel ; les primatologues disent qu'ils n'en ont pas besoin. Cependant, de nombreux exemples prouvent que ces animaux sont capables d'empathie : ils se mettent parfois à la place de leurs congénères et leur viennent en aide.

Nos «graciles parents», dit F. de Waal, sont menacés comme la plupart des grands singes et pour les mêmes raisons : la déforestation pour les cultures traditionnelles ou pour les coupes de bois, le braconnage ou la prospection diamantaire. La station de Wamba, dirigée par Takayoshi Kano, et celle de Lamako, dirigée par Alison et Noël Badrian, existent depuis 1974, mais les éthologistes perçoivent les menaces qui pèsent sur les singes : le tabou qui empêchait les Africains de manger la chair des bonobos, considérés comme leurs ancêtres, semble fréquemment violé. Les scientifiques espèrent que des habitats impénétrables subsistent, refuges de communautés non recensées.

F. de Waal n'invente pas l'évolution de l'espèce bonobo, qui demeure mystérieuse, mais il nous invite à nous interroger sur nos origines. Le livre réunit les connaissances scientifiques récentes, des enquêtes, des interrogations et des interprétations mesurées.

Parlons enfin du bonheur du lecteur, qui s'émerveille des remarquables photographies de Frans Lanting. Décidément nos cousins sont bien expressifs !

Michèle FEBVRE

La liste de tous les livres reçus en service de presse par la rédaction de *Pour la Science* est donnée sur notre site Internet, à l'adresse : <http://www.pourlascience.com>