Table des matières

Introduction 3
L'argument selon lequel une complexité irréductible ne peut pas évoluer 4
Comment la complexité irréductible pourrait-elle évoluer? 5
La Complexité Irréductible dans la Nature 6
Dionée attrape-mouche 6
Comment manger du pentachlorophénol 7
Hémoglobine pour la vie active 8
Le système de coagulation du sang: est-il IC? 9
Systèmes natatoires 9
Le cil eucaryote 10
Le flagelle archée 11
Le flagelle bactérien 11
Noyaux IC 13
Pourquoi la complexité irréductible est-elle séduisante? 14
IC, ID et créationnisme 14
Conclusions 15
Remerciements 16

Irreducible Complexity Demystified

Par Pete Dunkelberg - Posted: 26 April 2003

Lien de la page origianal : http://www.talkdesign.org/faqs/icdmyst/ICDmyst.html

“L’évolution est plus maligne que vous.” - proverbe de biologiste

Introduction

Une nouvelle expression, les complexes irréductibles (IC – *Irreductible Complex*, NdT) a été introduit dans les discussions publiques sur l’évolution. Le terme a été défini par Michael Behe en 1996 dans son livre Darwin's Black Box: Le défi biochimique de l'évolution [1]). La complexité irréductible (également notée IC) a pris de l'importance en tant que preuve du mouvement de la conception intelligente (ID), qui soutient que la vie est si compliquée qu'il doit s'agir du travail d'un concepteur intelligent (c-a-d Dieu) plutôt que du résultat de l'évolution. Comme vous l'avez peut-être entendu, le mouvement des ID souhaite que cela soit enseigné dans les écoles publiques comme une nouvelle théorie scientifique. J'espère que cet essai sera utile aux professeurs d'école, aux conseils d'éducation, aux législateurs et aux membres de la presse qui pourraient s'interroger à ce sujet. L'argument de l’IC à ID est simplement:

1. Les IC ne peuvent pas évoluer
2. S'il n'a pas pu évoluer, il doit avoir été conçu

Cet article se penche simplement sur la première partie, l'argument selon lequel des systèmes irréductiblement complexes ne peuvent pas être produits par l'évolution, soit parce qu'ils ne peuvent tout simplement pas évoluer, soit parce que leur évolution est tellement improbable que la possibilité peut être ignorée.

Jetons un coup d'œil à la définition de la IC, puis voyons si nous pouvons comprendre sa relation avec l'évolution, et pourquoi les scientifiques sont autant non-impressionnés. Voici la définition, à partir de la page 39 (les numéros de page se rapportent à la boîte noire de Darwin, sauf indication contraire):



“Par *complexe irréductible*, j'entends un système unique composé de plusieurs pièces en interaction bien harmonisées qui contribuent à la fonction de base, dans laquelle la suppression de l'une quelconque des pièces provoque l'arrêt effectif du système.” [italique dans l'original]

IC est maintenant un terme unique défini. La nouvelle définition, et non le sens ordinaire des mots, est maintenant notre guide. IC désigne un organisme qui fait quelque chose (la fonction) de telle sorte que le système (la partie de l'organisme qui remplit directement la fonction) ne comporte pas plus de parties que ce qui est strictement nécessaire.

Comment décidons-nous quand le terme IC s’applique? Les organismes ne sont pas composés de parties, de fonctions et de systèmes étiquetés, pas plus que de termes techniques «partie», «système» et «fonction» en biologie. Ce sont des termes de commodité. Nous pourrions dire, par exemple, que la fonction d'une jambe est de marcher et d'appeler les jambes des systèmes de marche. Mais quelles sont les parties? Si nous divisons une jambe en trois parties principales, le retrait d’une partie entraîne la perte de la fonction. Ainsi, les jambes sont des IC. D'autre part, si nous comptons chaque os comme une partie, plusieurs parties, même un orteil entier, peuvent être retirées et nous avons toujours un système de marche. Nous verrons plus tard que le traitement

de Behe contre les cils et les flagelles suit ce modèle.

Qu'en est-il des limites du système? C'est aussi à nous de décider. Prenez le système digestif par exemple. Nous pouvons nous intéresser uniquement à l'action des acides et des enzymes dans l'estomac, ou inclure la salive et la mastication, ou l'intestin, où l'extraction de l'eau et des nutriments se poursuit.

En tant qu'exercice mental, essayez, avant de poursuivre la lecture, de formuler un argument pour prouver que les systèmes IC ne peuvent pas évoluer. Les IC sont supposées être le défi biochimique à l'évolution, et donc le cas important c'est lorsque les pièces sont des molécules, généralement des protéines. Donc, bien sûr, il peut y avoir plusieurs copies d'une partie. Perdre une partie signifie en perdre toutes les copies, ou du moins tellement que la fonction est effectivement perdue.

L'argument selon lequel une complexité irréductible ne peut pas évoluer

L'argument de Behe selon lequel une IC ne peut évoluer est au cœur de l'ID, il mérite donc notre attention. Sa méthode consiste à diviser l'évolution en ce qu'il appelle «direct», qu'il définit de manière particulière, et «indirect» (tout le reste). Il trouve que l'évolution directe de la CI est logiquement impossible, et que l'évolution indirecte de la CI est trop improbable. L'argument contre l'évolution «directe» de la IC est contenu dans cette longue phrase juste après la définition:

"Un système complexe irréductiblement ne peut pas être produit directement (c'est-à-dire en améliorant continuellement la fonction initiale, qui continue à fonctionner avec le même mécanisme) par de légères modifications successives d'un système précurseur parce que tout précurseur d'un système irréductiblement complexe auquel manque une partie est par définition non fonctionnel. "

La dernière partie de la phrase, *"... parce que tout précurseur d'un système irréductiblement complexe dans lequel une partie manque, est par définition non fonctionnel."* est ce pourquoi nous devrions accepter le reste de la phrase. Il y a quelques problèmes:

1. La première partie de la phrase fait référence à de *légers* changements. Supprimer une partie entière est un changement majeur; Il s'agit d'une «déconnexion» majeure entre les parties de l'argumentation de Behe.
2. Il n'est pas vrai qu'un précurseur auquel manque une pièce doit être non fonctionnel. Il ne manque que la fonction que nous avons spécifiée. Même une seule protéine fait quelque chose.
3. Le précurseur réel peut avoir eu plus de parties, pas moins.
4. Si les différentes parties évoluent, le précurseur peut avoir eu le même nombre de parties, pas encore codépendant. Nous en apprendrons plus sur cette possibilité sous peu.

Comment peut-on construire un argument valable que IC ne puisse pas être produit directement? Les promoteurs de l'ID n'ont pas trouvé de solution. Pourtant, c'est facile (et laissé comme exercice pour le lecteur) une fois que vous vous rendez compte qu'un argument valable à partir de définitions nécessite une définition minutieuse des termes afin que l'argument devienne une tautologie. Cela peut être accompli en redéfinissant «direct» ou «IC» ou (mieux, je pense) en définissant l'expression de Behe «être produite» qu'il utilise à la place de «évoluer». Un précurseur d'un IC manquant d'une pièce peut avoir n'importe quelle fonction sauf celle spécifiée, ce qui nous amène à une évolution «indirecte». Considérons une queue de vache. Autant que je sache, la vache utilise principalement sa queue pour casser les mouches. Les queues ont-elles évolué à l'origine pour cette fonction? Difficile. Il y avait des queues avant les mouches. Il y a longtemps, les queues aidaient les premiers cordés à nager. En remontant encore plus loin, certains animaux très jeunes ont commencé à avoir deux extrémités distinctes; une extrémité pour la prise de nourriture (avec des organes sensoriels pour localiser la nourriture) et l'autre extrémité pour les excrétions. En conséquence, cette partie arrière et ses extensions musculaires pourraient également être utilisées pour aider l'animal à bouger. Cela illustre une autre facette importante de l'évolution: non seulement les simples mutations, mais même les organes peuvent arriver de façon plus ou moins accidentelles. Cela montre également que les fonctions biologiques évoluent. En effet, les organismes et les écosystèmes évoluent. Il n'est sans doute même pas logique de s'attendre à ce qu'un

précurseur ait la même fonction. L'évolution à long terme de la plupart des caractéristiques de la vie n'a pas été ce que Behe, ou même la plupart des gens, appellerait direct. Et même l'évolution à court terme peut être indirecte selon les termes de Behe. Il est donc surprenant de lire, à la page 40, l'argument de Behe contre l'évolution indirecte des systèmes IC. Voici le fond de celui-ci: *"Même si un système est irréductiblement complexe (et ne peut donc pas avoir été produit directement), on ne peut toutefois exclure définitivement la possibilité d'une voie indirecte et détournée. À mesure que la complexité d'un système en interaction s'accroîtra, la vraisemblance d'une voie indirecte chute rapidement ".* (page 40)

Il affirme simplement que l'évolution de la complexité irréductible par une voie indirecte est tellement improbable qu'elle est pratiquement hors de question, sauf dans des cas simples. Il ne fait aucun lien particulier entre l'évolution indirecte et IC. Il n'offre aucune preuve. Il affirme simplement que c'est trop improbable. En réalité, un système plus complexe a probablement une longue histoire évolutive. Puisque l'évolution ne vise rien d'avance, plus l'histoire est longue, plus elle peut être volumineuse. Et sa signification très limitée de «direct» rend beaucoup de chemins indirects pas du tout sinueux. Pourtant, il insiste:

"Un système biologique irréductiblement complexe, s'il en existait un, constituerait un puissant défi pour l'évolution darwinienne." (page 39)

Voici un autre exercice: avant de poursuivre votre lecture, essayez de penser à la manière dont les systèmes IC, y compris les systèmes biochimiques, pourraient évoluer.

Comment la complexité irréductible pourrait-elle évoluer?

Comment un système IC pourrait-il évoluer? Une possibilité est que, par le passé, la fonction ait été effectuée avec plus de pièces que ce qui est strictement nécessaire. Ensuite, une partie "supplémentaire" peut être perdue, laissant un système IC. Ou bien les pièces peuvent devenir co-adaptées pour une performance encore meilleure, mais devenir incapables d'exécuter la fonction spécifiée sans les unes les autres. Cela soulève un autre point: les parties elles-mêmes évoluent. Les parties de Behe sont généralement des protéines entières ou même plus grandes. Une protéine est composée de centaines de plus petites parties appelées acides aminés, parmi lesquelles vingt types différents peuvent être utilisés. L'évolution les modifie généralement un à un. Un autre fait important est que l'ADN évolue. Quelle différence cela fait-il par rapport à dire que les protéines évoluent? Si vous y réfléchissez, chaque protéine produite par votre corps est fabriquée au bon moment, au bon endroit et en quantité suffisante. Ces détails sont également codés dans votre ADN (avec le moment et la quantité sensibles aux influences extérieures) et sont donc sujets à mutation et évolution. Pour notre propos, nous pouvons parler de déploiement de pièces. Lorsqu'une protéine est déployée en dehors de son contexte habituel, elle peut être cooptée pour une fonction différente. Une quatrième possibilité intéressante est la création de nouvelles pièces. Cela provient généralement de la duplication de gènes, qui est bien connue en biologie. Au début, les gènes dupliqués produisent la même protéine, mais ces gènes peuvent évoluer pour produire des protéines légèrement différentes qui dépendent les unes des autres.

Nous pouvons résumer ces quatre possibilités de la manière suivante:

- Auparavant, utilisez plus de pièces que nécessaire pour la fonction.
- Les parties elles-mêmes évoluent.
- Le déploiement des pièces (régulation des gènes) évolue.
- De nouvelles pièces sont créées (duplication de gènes) et peuvent ensuite évoluer.

La première de ces possibilités n'apparaît que si nous recherchons l'IC. Les autres sont les formes majeures d'évolution moléculaire observées par les biologistes, formulées en termes de parties. Ils peuvent conduire à de nouvelles fonctions protéiques, parfois lentement et parfois, surtout lorsque les parties sont redéployées, de manière abrupte. La duplication génique et les changements dans le déploiement de la protéine peuvent introduire une nouvelle "partie" de la protéine dans un système. Ensuite, les parties peuvent co-évoluer pour faire quelque chose de mieux, mais de manière codépendante, de sorte que toutes soient nécessaires, sans autre changement du nombre de parties. Mais que se passe-t-il dans la nature?

La Complexité Irréductible dans la Nature

L'évolution peut-elle conduire à l'IC ou pas? Il est temps de regarder des exemples vivants et de laisser la nature décider. L'exemple le plus célèbre de Behe est la tapette à souris. Mais comme une souricière n'est pas vivante, cela ne nous dit pas grand-chose de l'évolution éventuelle des systèmes IC vivants. Que diriez-vous d'un piège à mouche à la place?

Dionée attrape-mouche

Dionaea muscipula est une petite plante à fleurs qui pousse naturellement dans les zones humides acides de Caroline du Nord et du Sud. Elle a un piège à l'aspect féroce avec des bords garnies de dents pour les créatures imprudentes. elle piège et digère les insectes pour compenser le manque d'azote dans les sols de son habitat.

Voici comment fonctionne le piège. Lorsqu'un insecte frotte les poils « la gâchette » au centre, les lobes se referment presque complètement à une vitesse surprenante. Si un petit insecte est attrapé, il peut s'échapper entre les dents et le piège se rouvre sans s'être fermé complètement. Si une bestiole de bonne taille est détectée, elle est digérée au cours des prochains jours, tandis que le piège se referme pendant ce temps. Puis le piège se rouvre. Un piège ne peut être complètement fermé que 4 fois environ, il doit donc être utilisé avec parcimonie.

Avons-nous un système IC ici? Nous devons spécifier une fonction et toutes les pièces nécessaires à son exécution (et aucune pièce supplémentaire). L'intérêt de la fonction consiste à piéger les insectes pour se nourrir d'une manière qui apporte à la plante plus d'avantages que le coût du piège. Les parties sont les deux lobes, la charnière entre les lobes (la nervure centrale de la feuille qui ancre les lobes), les poils déclencheurs et les épines faisant saillie à partir des bords des lobes qui forment un ensemble de barreaux lorsque le piège se ferme. Le système ne comprend que toutes ces pièces et le piège a besoin de toutes ses pièces pour fonctionner. C'est donc un système IC. Comment ce piège aurait-t-il évolué? Je dis «aurait» car les Dionée n'ont pas laissé de fossiles que je sache, à l'exception de quelques grains de pollen. Existe-t-il des plantes associées qui pourraient fournir un indice? Regardons les Drosera. Elles piègent les insectes à l'aide de tentacules collantes, en se refermant lentement autour des insectes bloqués. Darwin, dont le livre *Insectivorous Plants* [2)] est maintenant disponible en ligne, a soigneusement observé ces plantes remarquables, en particulier la feuille ronde de *D. rotundifolia.* Comme le note Darwin, Si un petit objet organique ou inorganique est placé sur les glandes situées au centre d'une feuille, celles-ci transmettent une impulsion motrice aux tentacules excentrés. Les plus proches sont d'abord affectés et se penchent lentement vers le centre, puis ceux plus éloignés, jusqu'à ce qu'ils soient enfin étroitement infléchis sur l'objet. Cela se passe en une heure à quatre ou cinq heures ou plus. […] Non seulement les tentacules, mais la lame de la feuille devient souvent très incurvée, mais pas toujours, quand une substance ou un fluide fortement excitant est placé sur le disque. Les gouttes de lait et d'une solution de nitrate d'ammoniac ou de soude sont particulièrement susceptibles de produire cet effet. La lame est ainsi convertie en une petite tasse. La manière dont il se plie varie grandement. (2, pp 9, 12)[3)]

Voici *D. rotundifolia* avec une mouche; Makoto Honda [4)] montre son action avec une espèce plus rapide, *D. intermedia*. Des recherches génétiques récentes confirment que Dionée attrape-mouche et Aldrovanda sont apparentés et font partie de la famille des Droséracées, et que les pièges à pression ont très probablement évolué à partir des pièges à colle [5)], comme le pensait Darwin:



REMARQUES FINALES SUR DROSERACEAE. *Les six genres connus composant cette famille ont maintenant été décrits en relation avec notre sujet actuel, dans la mesure où mes moyens me l'ont permis. Ils capturent tous des insectes. Ceci est réalisé par Drosophyllum, Roridula et Byblis, uniquement par le fluide visqueux sécrété par leurs glandes; par Drosera, par les mêmes moyens, en même temps que les mouvements des tentacules; par Dionaea et Aldrovanda, à travers la fermeture des lames de la feuille. Dans ces deux derniers genres, les mouvements rapides compensent la perte de sécrétion visqueuse. [...] La forme parente de Dionaea et Aldrovanda semble avoir été étroitement liée à Drosera et avoir eu des feuilles*



arrondies, soutenues sur des tiges distinctes et garnies de tentacules tout autour de la circonférence, avec d'autres tentacules et glandes sessiles sur la surface supérieure. (Darwin, Charles. Insectivorous Plants - pages 355-6, 360).[6)]

Comment la Dionée attrape-mouche a-t-elle évité l'argument selon lequel l'IC ne peut pas évoluer? De deux façons. Premièrement, au lieu de gagner une partie, il en a perdu une partie - la colle utilisée par les Drosera. Encore plus intéressant, le piège a pu évoluer car les pièces ont évolué. Le piège a commencé comme une feuille ressemblant à Drosera, et les parties de la feuille ont été progressivement changées. Cela contraste de manière frappante avec la souricière que Behe a présentée à plusieurs reprises, pour illustrer la raison pour laquelle l'IC ne peut pas évoluer. En tant qu'article manufacturé, la souricière illustre parfaitement sa définition, mais avec ses parties statiques, elle ne peut pas modéliser l'évolution. Avec des parties en évolution, la nature peut créer un piège après tout. Les analogies mécaniques et de fabrication, si primordiales dans la pensée de Behe, manquent à la flexibilité des êtres vivants.

Comment manger du pentachlorophénol

Le pentachlorophénol (PCP) est un produit chimique hautement toxique, dont la présence naturelle est inconnue, qui a été utilisé comme agent de préservation du bois depuis les années 1930. Il est maintenant reconnu comme un polluant dangereux dont nous devons nous débarrasser. Mais comment?

L'évolution à la rescousse! Quelques bactéries du sol ont déjà mis au point un moyen de le décomposer et même de le manger. Et commodément pour nous, ils le font de manière irréductiblement complexe. La plus connue de ces bactéries s'appelle *Sphingomonas chlorophenolica* (également appelée *Sphingobium chlorophenolicum*).

La molécule de PCP est un cercle de six atomes de carbone avec cinq atomes de chlore et un groupe hydroxyle (OH) lié. Le chlore et la structure en anneau sont deux problèmes pour les bactéries. *S. chlorophenolica* utilise trois enzymes successivement pour le décomposer, comme suit: le premier remplace un chlore par OH. Le composé résultant est toxique, mais pas autant que le PCP lui-même. La deuxième enzyme peut agir sur ce composé pour remplacer deux atomes de chlore, l'un après l'autre, par des atomes d'hydrogène. Le composé résultant, bien que toujours mauvais, est beaucoup plus facile à traiter et la troisième enzyme est capable de briser l'anneau. À ce stade, ce qui reste du PCP est en passe de devenir un aliment pour la bactérie.

Les trois enzymes sont nécessaires, nous avons donc un sysème IC. Comment ce système IC aurait-il pu évoluer? Premièrement, les bactéries de ce type pourraient déjà métaboliser des chlorophénols plus doux, présents naturellement en petites quantités. En fait, les première et troisième enzymes ont été utilisées pour cela. En conséquence, la cellule est stimulée pour les produire en présence de chlorophénols. La deuxième enzyme (appelée PcpC) est la plus intéressante. La cellule la produit en quantité suffisante pour être efficace tout le temps au lieu de l'être juste au moment où elle est nécessaire dans son rôle métabolique normal. Grâce à cette situation inhabituelle, PcpC est disponible quand il le faut pour aider à manger du PCP.

La régulation inefficace de PcpC est évidemment la clé de tout le processus. Selon les biologistes, une mutation récente a modifié le déploiement de cette enzyme est ce qui a rendu possible la dégradation de PCP pour cette bactérie. Il arrive également que PcpC et la première enzyme du processus soient même légèrement optimisées pour traiter le PCP; ils le traitent mieux que les enzymes correspondantes des souches de *S. chlorophenolica* qui utilisent PcpC uniquement dans son rôle normal, mais pas aussi bien que ce à quoi on s'attendrait pour un système ancien, bien adapté. Ces facteurs, combinés au fait que la PCP n'est pas connue pour être présent naturellement, montrent clairement que ce système a évolué très récemment.

La chimie et l'évolution probable de ce système sont expliquées plus en détail dans l'article de Shelly Copley intitulé "Evolution of a metabolic pathway for degradation of a toxic xenobiotic: the patchwork approach" in Trends in Biochemical Sciences [7)].

Hémoglobine pour la vie active

L'hémoglobine est une merveilleuse protéine qui capte l'oxygène dans nos poumons et le transmet au reste de nos cellules. L'oxygène se lie très rapidement à l'hémoglobine dans nos poumons et reste lié. Ensuite, dans nos tissus, l'oxygène est libéré très rapidement. Comment cela peut-il arriver? Ce que nous appelons une molécule d'hémoglobine est un complexe de quatre chaînes ou sous-unités d'hémoglobine. Il existe deux chaînes distinctes appelées alpha et bêta-hémoglobine. Le complexe se lie de manière réversible à l'oxygène, une molécule d'O2 pour chaque sous-unité. Il a tendance à ne pas se lier au premier oxygène tant que la concentration en oxygène n'est pas assez élevée, ce qui est la situation habituelle dans nos poumons. Ensuite, le complexe change de forme pour que l'O2 suivant se lie plus facilement, le troisième encore plus rapidement et le quatrième encore plus rapidement. Ensuite, il retient l'oxygène jusqu'à ce que la concentration en oxygène environnante soit assez faible, ce qui se produit dans nos tissus. Quand finalement un oxygène est libéré, le suivant est libéré plus rapidement et ainsi de suite. Ce mécanisme de transport de l'oxygène est beaucoup plus efficace que celui que l'on peut obtenir avec l'hémoglobine alpha ou bêta seule et permet notre mode de vie actif. Il faut les quatre parties pour le faire; enlever une partie du complexe et cela ne fonctionne pas [8)]. Nous avons donc un autre système IC. Behe discute brièvement de l'hémoglobine (pp 206-207), en expliquant principalement que cela plaide mal en faveur du design. Il ne mentionne pas que c'est IC. Un article de talk.origins [9)] contient des commentaires pointus sur le sujet.

Les hémoglobines (protéines globulaires incorporant un groupe héminique, qui renferme à son tour un atome de fer) se révèlent être une famille de protéines répandue ayant une longue histoire. Ils surviennent dans les plantes et les bactéries ainsi que chez les animaux et remplissent diverses fonctions, notamment le transport de l'oxygène, le stockage de l'oxygène, le piégeage de l'oxygène pour l'en protéger de certains processus métaboliques et le transfert d'électrons. Fait intéressant, ces diverses fonctions dépendent essentiellement du moment et du lieu où la protéine est déployée. Commentant ceci dans son article “L'évolution de l'hémoglobine”, Ross Hardison déclare: “Cela suggère que la création de nouvelles fonctions protéiques découle autant des changements de régulation que des changements de structure.” [10)]. L'hémoglobine fœtale, qui doit extraire l'oxygène de l'hémoglobine de la mère, en est un bon exemple. Nous avons toujours les gènes pour cela, mais ne le faisons qu'au bon moment. La duplication de gènes a également joué un rôle clé. La lamproie et la myxine, qui n'ont pas de mâchoire, n'ont pas non plus les variétés alpha et bêta de l'hémoglobine. Au lieu de cela, elles n'ont qu'une seule variété d'hémoglobine dans le sang et un transport d'oxygène moins efficace. La duplication des gènes qui a conduit, après d'autres modifications, à nos chaînes alpha et bêta distinctes, s'est évidemment produite chez l'ancêtre de tous les vertébrés vivants à mâchoires.

Faisons le point sur ce que nous avons appris avant de passer à des exemples plus complexes. Le piège des Dionée attrape-mouche est une comparaison instructive avec la souricière de Behe. Dans l'un, les parties évoluent. Dans l'autre, elles ne le font pas. Quelle différence cela fait. Les parties protéiques des systèmes biochimiques évoluent également. Le piège à mouche est donc un bon modèle pour eux, pas la souricière. Le piège à mouche et l'hémoglobine montrent de différentes manières que retirer une pièce n'est souvent pas la même chose pour l'évolution que l'inverse. Le piège à mouche a déjà perdu une partie (la colle que *Drosera* utilise pour piéger les insectes). Avec l'hémoglobine, retirer la chaîne alpha ou bêta serait un désastre, à moins que l'animal tout entier ne soit «dé-évolué» à un stade beaucoup plus précoce.

L'hémoglobine et l'évolution récente d'une voie pour métaboliser le PCP montrent que ce que nous avons appelé le «déploiement de pièces» est important dans l'évolution. Les biologistes appellent généralement cette régulation, l'expression des gènes, ou simplement la régulation des gènes. D'un autre point de vue, cela s'appelle la cooptation ou le recrutement d'une protéine pour une nouvelle fonction. Si une protéine assume deux rôles, toute duplication ultérieure du gène correspondant sera soumise à une sélection pour sa régulation et ses fonctions séparées. Par conséquent, cette duplication aura plus de chances de persister et de se propager dans la population.

Voici un autre aspect intéressant de l'exemple PCP: cela revient à «ajouter une partie à un système auparavant non fonctionnel», ce qui est exactement ce que Behe pense ne pas pouvoir obtenir, car il pense que l'organisme n'aurait pas pu vivre sans cette partie. Il s'avère qu'une seule mutation peut créer une nouvelle fonction et un nouveau mécanisme, permettant à l'organisme de mieux vivre ou dans un nouvel environnement. C'est une évolution indirecte selon les termes de Behe, mais pour l'ADN, il ne s'agit que d'une autre mutation.

Jusqu'ici, IC ne semble pas être un problème pour l'évolution. Y a t-il quelque chose d'autre dans le défi biochimique? Examinons les exemples extrêmement complexes sur lesquels repose la réputation de l'IC.

Le système de coagulation du sang: est-il IC?

La coagulation sanguine est un exemple de ce que les biochimistes appellent une cascade: une protéine fait quelque chose, une autre commence à faire une chose, une autre ... Les cascades, et en particulier la cascade de la coagulation, sont parmi les exemples préférés des promoteurs du DI. Cependant, donner une spécification précise du système, des pièces et de la fonction pour que le système spécifié soit IC s'avère difficile. Difficile à préciser ou non, il reste l'un des exemples préférés de Behe. Il y consacre tout son quatrième chapitre. Après avoir expliqué comment cela fonctionne, il indique que les scientifiques ne savent presque rien de son évolution. Sa principale preuve est une conférence non technique donnée par Russell Doolittle. Mais bien sûr, ce discours, utilisant des analogies avec le Yin et le Yang, n'était pas censé donner une compréhension technique. Après que plusieurs personnes se soient exprimées à ce sujet, Behe a répondu par un essai en ligne "Pour la défense de l'irréductibilité de la cascade de la coagulation" [11]. Sa défense revient à dire que l'évolution de ce système nécessiterait un trop grand nombre d'étapes «non sélectionnées». Mais ce n'est pas vrai, comme Ken Miller l'a souligné dans *Finding Darwin's God* [12] et dans son article en ligne [13] dans lesquels il donne plus de détails que l'éditeur ne voulait dans le livre.

La cascade de coagulation fait partie d'une famille de cascades au long pedigree. Notre système immunitaire comprend une cascade connexe que Behe considère comme étant IC, mais voir l'article de Matt Inlay "Evolving Immunity" [14]. Un article récent de Krem et Di Cera [15] poursuit l'évolution des cascades plus loin dans l'arbre de l'évolution. Ils discutent de cascades biochimiquement similaires chez les Limules , les drosophiles et nous-mêmes. Ils ont découvert que "de nombreuses similitudes suggèrent que ces cascades ont été construites en empilant des enzymes depuis le bas de la cascade et à partir de blocs de construction macromoléculaires similaires". Behe soutient que ce type d'évolution ne se produirait pas car il y aurait des étapes non sélectionnées. Mais il pense en termes de systèmes précurseurs avec des parties manquantes, pas en termes d'organismes ancêtres dans différents environnements avec différents problèmes à résoudre. Cela peut refléter une différence entre penser comme un chimiste et penser comme un biologiste. Les formes précoces de la cascade se sont produites chez des animaux sans système circulatoire à haute pression comme le nôtre. Par exemple, chez les limules, une forme plus simple de la cascade de la coagulation sert à emmêler les bactéries envahissantes. Il n'y a aucune raison de présumer que ces étapes seraient non sélectionnées (autres que la duplication de gènes, qui peut être neutre au début) si l'organisme, son mode de vie et son environnement étaient différents.

Mais avez-vous remarqué quelque chose qui manque dans notre discussion sur la cascade de la coagulation? Nous n'avons pas prouvé que c'était IC. Comme nous le dit Behe à la page 42, la manière de procéder consiste à prendre les parties une par une et à montrer que chacune d'elles est nécessaire à la coagulation. Ou pointez la recherche publiée qui fait cela. Behe a sûrement pris soin de ce détail dans le quatrième chapitre de son livre? Non, il l'a "prouvé" de manière rhétorique, mais pas systématique. Plusieurs années plus tard, alors qu'il publiait une page Web intitulée *"Pour la défense de l'irréductibilité de la cascade de la coagulation sanguine"*[16], il devait en préciser les détails. Pas encore. Il a avancé son argument contre l'évolutivité de la cascade de la coagulation, mais la réponse a été donnée [17] [18] [19] [20]. Pendant ce temps, le petit détail de prouver ce qu'est l'IC a été négligé. Et il existe des preuves du contraire: les baleines, des mammifères comme nous, n'ont pas de composant clé appelé facteur Hageman mais leur sang coagule quand même [21]. Interrogé lors d'une réunion récente [22], Behe a finalement convenu que la cascade n'était pas IC après tout. En fait, Acton donne des raisons pour lesquelles il n'aurait jamais dû le penser [23]). (Pour autant que je sache, Behe n'a "fait ses devoirs" sur aucun de ses exemples, à l'exception de la souricière).

Systèmes natatoires

Nous en arrivons maintenant à ce qui est devenu le plus important exemple supposé de IC dans la nature: les systèmes natatoires. Ce sont des saillies flexibles que les microbes utilisent pour se déplacer dans les fluides.

Les trois principaux types de microbes, à savoir les bactéries, les archées et les eucaryotes unicellulaires, utilisent des structures de déplacement différentes et il existe des différences majeures entre les espèces de chaque type. Certaines bactéries parviennent même à nager sans flagelles, notamment *Synechococcus* [24] et bien moins bien compris, Spiroplasma melliferum [25]. Bien sûr, le mouvement microbien ne se limite pas à la nage. Ils ont également des moyens de se déplacer le long des surfaces et de manœuvrer dans le sable et la vase. Bardy et al. ont passé en revue presque toutes les méthodes connues de déplacement des bactéries et des archées [26].

Les systèmes de natation dépendent de ce qu'on appelle les moteurs moléculaires, un sujet de prédilection des biologistes moléculaires. Ceux qui sont curieux des moteurs moléculaires peuvent commencer ici [27]. Les cliquets brownien , fascinants en eux-mêmes [28], sont l'une des sources d'énergie de ces minuscules moteurs.

D'un point de vue biologique, la fonction d'un organisme est de vivre et de grandir suffisamment pour se reproduire. La fonction de n'importe quelle partie de l'organisme est d'y contribuer de quelque manière que ce soit. Les appendices peuvent aider une cellule de différentes manières, telles que la détection de l'environnement, la recherche d'aliments ou de partenaires ou la communication avec d'autres cellules. Cela aide si l'appendice peut bouger. Cela déplacera un peu la cellule. (Pensez à agiter votre bras sous l'eau). Dans un environnement où la natation est avantageuse, il n'est pas surprenant que la capacité à nager évolue. Néanmoins, à mesure que l'évolution des systèmes de vertébrés tels que la cascade de la coagulation et le système immunitaire est mieux comprise, les partisans de l'ID s'appuient de plus en plus sur les systèmes de nage, en particulier le flagellum bactérien, en tant que véritable preuve de la conception.

Le cil eucaryote

Les eucaryotes sont des organismes tels que les arbres, les hommes, les protozoaires et les amibes qui, contrairement aux bactéries, ont leur ADN dans un noyau distinct de la cellule. De nombreux microbes eucaryotes se propulsent dans l'eau en agitant des saillies appelées cils, qu'ils utilisent également pour collecter des aliments tels que des bactéries. Un peu de terminologie: les cils sont aussi appelés flagelles, surtout quand une cellule n'en a qu'un ou deux. Les microbes sont alors appelés flagellés. Mais les flagelles eucaryotes et les flagelles bactériennes sont des structures totalement différentes.

Comment définissons-nous un système IC dans le cas du cil eucaryote? Behe spécifie tout d'abord le système comme le cilium entier. La fonction du système est de déplacer la cellule dans un liquide en s'agissant comme une vague. Qu'en est-il des pièces? Au niveau des machines biochimiques, on pense généralement à des protéines individuelles comme des parties. Mais Behe divise simplement un cil en trois grandes parties, qu'il appelle «moteur, connecteur et rame» (page 65). Il est clair qu'un cil ne fonctionnerait pas sans chacune de ces grandes parties, nous avons donc un IC. Les cils sont nombreux et variés (voir, par exemple, *Finding Darwin's God* [29], page 142) et peuvent contenir environ deux cent protéines différentes et un grand nombre de microtubules. Certaines protéines sont toujours présentes; d'autres varient d'un microbe à l'autre. Si nous prenons les protéines comme parties (le défi biochimique), alors les cils ne sont pas IC; personne n'a été capable de trouver un vrai cil avec un ensemble de protéines «irréductible». Si nous prenons les microtubules comme nos pièces, comme le fait Miller, le cil n'est pas un CI. Mais avec les pièces de Behe, c'est IC. Rappelez-vous qu'il nous appartient de choisir la fonction, le système et les composants correspondant à la définition. Ou pas. Donc, il s'avère que le fait d'être IC ou non n'est pas une propriété du cil lui-même. Cela dépend des choix que nous faisons.

Avec les pièces (moteur, connecteur et rame) si éloignées du niveau de changement mutation-par-mutation, comment Behe relie-t-il le caractère IC du système à son évolution? Premièrement, avec son choix de fonction, de pièces et de système, c'est IC. Cela exclut toute évolution "directe" à sa satisfaction. Qu'en est-il de «indirecte», c'est-à-dire d'une évolution normale, en tenant compte du fait que tout change, y compris les fonctions? Ceci est ridiculisé aux pages 65-67. Bien que le cil soit une extension du cytosquelette de la cellule, il suggère qu'un proto-cilium serait désavantageux. Il termine: *"... mais même si [un proto-cil] était à la surface de la cellule, le nombre de protéines motrices ne serait probablement pas suffisant pour déplacer le cil. Et même si le cil se déplaçait, un coup maladroit ne déplacerait pas la cellule. Et si la cellule se déplaçait, ce serait un mouvement non régulé utilisant de l'énergie et ne correspondant à aucun besoin de la cellule. "*

Ainsi, selon Behe, un proto-cil serait inutile et probablement même un gaspillage préjudiciable de ressources jusqu'à ce qu'il soit perfectionné.

Les microbes ne sont pas d'accord et utilisent diverses projections présentant les «défauts» mentionnés par Behe. L'amibe *Raphidiophrys pallida*, présentée ici [30], a des saillies appelées axopodes qu'elle utilise pour capturer ses proies et se déplacer le long d'une surface telle qu'un peu d'herbe. Les protozoaires Actinophrys de cette vidéo de Pond Scum Action[31] explore les axopodes légèrement ondulants. Les foraminifères sont des protistes très répandus dans les océans et dans les fonds marins. Ils utilisent des projections appelées réticulopodes pour trouver et capturer de la nourriture, et pour manœuvrer parmi les grains de sable [32]. Ces saillies, bien que dépendantes d'un grand nombre des mêmes protéines pour le mouvement, ne sont pas des cils. Mais ils ressemblent aux cils maladroits auxquels Behe s'oppose et montrent que ses objections ne tiennent pas dans la nature.

Maintenant, qu'en est-il des cils au sens strict? Le cil dans sa forme initiale aurait été trop court pour fonctionner comme un appareil à ramer. Qu'est-ce que cela aurait pu faire? Les premiers flagellés ont disparu depuis longtemps, mais nous pouvons toujours apprendre de ceux qui se trouvent à la base de l'arbre généalogique tel qu'il existe maintenant. Le flagellé du sol, *Phalansterium*, est à peu près aussi banal que n'importe quel autre. Il est difficile de le voir en action, mais il utilise probablement son cil pour détecter l'environnement et pour collecter des bactéries pour se nourrir. L'arbre eucaryote a deux branches principales, conduisant aux plantes et aux animaux. À la base de ces branches, on trouve des flagellés vivant dans l'eau et qui poussent l'eau dans des directions opposées [33]. *Mastigamoeba* rampe le long des surfaces et déplace son cil pour créer un léger courant vers lui, aspirant les particules de nourriture. Les choanoflagellés, sur la ligne qui mène aux animaux, utilisent leur cil pour repousser l'eau [34]. Cela attire plus d'eau et de nourriture.

Toute projection qui pourrait remuer l'eau contribuerait à apporter plus de nourriture au microbe. L'améliorer progressivement conduit naturellement à un système de natation. Les objections de Behe ignorent le changement de fonction évolutif, qui se produirait naturellement pour un biologiste mais peut-être pas pour un chimiste comme lui.

Le flagelle archée

Les archéobactéries ou archées, ont récemment été reconnues comme un groupe important de microbes distincts des bactéries et des eucaryotes. Leur flagelle est analogue à un flagelle bactérien, mais plus simple et assez différent en détail. Comme le montre ce diagramme, cela ressemble à un autre type de projection appelée pilus de type IV, à laquelle elle est probablement liée (19). Les pili de type IV eux-mêmes ne sont pas utilisés pour nager, mais les bactéries les utilisent pour des façons plus simples de bouger appelées motilité par glissement (gliding) et par contraction (twitching) [35], [36] [37]. Behe n'a pas discuté des flagelles archées, et je ne sais pas comment il les diviserait en parties. Ils ne semblent pas correspondre à sa division en trois parties préférée (un moteur, puis un rotor ou un connecteur, puis une troisième partie qui repousse le support) sur laquelle il fonde sa déclaration selon laquelle "la complexité est inhérente à la tâche elle-même" (page 65).

Le flagelle bactérien

Il est là - l'argument numéro un pour le design dans la nature. Les défenseurs de l'ID ont même réalisé un film intitulé *Bacterial Flagella: A Paradigm for Design (Bacterial Flagella: Un paradigme pour le design)*. Il est en vente sur le site Web de l'ARN [38] et brièvement discuté dans talk.origins [39]. Behe a dit récemment: *"Si [le biologiste Jerry] Coyne démontrait que le flagellum (bactérien) (qui nécessite environ quarante produits géniques) pouvait être produit par sélection, je serais assez bête d'affirmer ensuite que le système de coagulation sanguine (composé d'une vingtaine de protéines) nécessite une conception intelligente* . [40]

Les flagelles bactériens sont nombreux, divers et compliqués. Behe conclut que tout flagelle bactérien est composé d'au moins trois parties: une pagaie, un rotor et un moteur. La natation est la fonction spécifiée comme IC (page 72). Même à ce niveau brut, le caractère IC d'un flagelle n'est pas aussi clair. Le problème est qu'il existe des éléments supplémentaires dans un flagelle complet. Par exemple, il y a des protéines à la base

qui réagissent aux stimuli externes et qui allument et éteignent le moteur, et provoquent chez certains flagelles un changement de direction. Et il y a d'autres protéines qui sont disposées en anneaux où le flagelle traverse la membrane cellulaire.

Mais la question la plus intéressante est: un flagelle pourrait-il être un IC avec des protéines, pas des pagaie, etc. comme parties? Rappelez-vous que l'IC est supposée être le défi biochimique de l'évolution. Nous avons déjà vu que ce n'était pas si difficile, mais après tout, on a fait grand cas du caractère IC du flagelle qu'il faudrait être bien informé sur le sujet pour être plus intéressant lors des soirées :). Pour décider, il faut d'abord choisir un flagelle. Même au sein d'une même espèce bactérienne, différentes souches peuvent avoir différentes protéines et différents nombres de protéines dans leurs flagelles. Même une bactérie en forme de simple bâtonnet peut avoir des flagelles très différentes à ses extrémités et sur ses côtés. Ensuite, découvrez et répertoriez toutes les protéines de ce flagelle. Cela nécessite de décider exactement où il commence, et de la décision peut dépendre la fonction exacte que l'on a à l'esprit pour "le" flagellum. Vient ensuite la partie difficile: prouver que toutes les protéines sont nécessaires à la fonction. Bizarrement, les partisans de l'ID ne montrent aucun intérêt à faire ce travail, pas même à choisir un flagelle particulier d'une bactérie particulière. C'est comme si le simple fait d'affirmer l'IC 'du' flagelle leur donnait entière satisfaction.

Quelle est la réponse? Existe-t-il ou non un système IC de flagelle avec des protéines comme parties ? Comme cela dépendrait de critères arbitraires, les scientifiques n'ont pas poursuivi cette question en tant que telle. Mais beaucoup de choses ont été apprises sur divers flagelles. Il est clair que tous ont absolument besoin d'un grand nombre de leurs protéines pour fonctionner en tant que systèmes de nage. Mais aucun n'est encore connu pour requérir toutes ses protéines et pour certains ce n'est pas le cas [41)], [42) 43)]. Un flagelle pourrait-il être un IC avec des protéines? Sûr. Comme nous l'avons vu dans le cas beaucoup plus simple de l'hémoglobine, les protéines peuvent évoluer pour devenir codépendantes. Il peut y avoir un flagelle parfaitement IC qui n'attend que d'être découvert.

Malgré tout, ce ne serait pas le système de nage le plus simple. Comme le montre ce diagramme, un flagelle bactérien est beaucoup plus complexe qu'un archéen. C'est en partie parce qu'il est construit à partir de, et en fait sécrété par, ce qu'on appelle un système de sécrétion de type trois (TTSS). C'est une chose compliquée en soi. C'est un tube minuscule qui commence au-dessous de la paroi cellulaire et qui la traverse, servant ainsi de conduit à l'exportation de protéines. Le flagellaire TTSS (il existe d'autres types) est spécialisé dans la sécrétion du reste d'un flagelle. La base TTSS compte comme partie du flagelle et est en soi aussi complexe qu'un flagelle archéen.

Comme il est plus compliqué de nager seul, vous pourriez suspecter qu'un flagelle bactérien a d'autres fonctions. Vous auriez raison. Ces autres fonctions varient d'une bactérie à l'autre et d'une situation à l'autre, et les scientifiques n'ont pu les observer que récemment. Premièrement, certains flagelles exportent également des protéines, y compris celles qui causent des maladies [44)]. Ce n'est pas trop surprenant puisque c'est ce pour quoi les autres TTSS sont connus.

Mais les spirochètes, les bactéries en forme de spirale, utilisent les flagelles d'une manière inattendue. Leurs flagelles ne dépassent pas, ils sont pourtant utilisés pour nager, s'entérrer et maintenir la forme de la cellule. Les flagelles poussent aux deux extrémités et s'étendent vers le milieu *sous* la membrane externe. Les flagelles maintiennent la forme en spirale de la cellule et, par rotation, peuvent créer une onde à travers la cellule, entraînant le déplacement de la cellule dans la direction opposée [45)].

Il n'est pas facile d'observer le comportement de bactéries individuelles dans la nature. Récemment, des chercheurs danois ont observé un comportement inhabituel chez des bactéries vivant dans des sédiments marins à faible teneur en oxygène. Pour voir exactement ce que les bactéries faisaient, ils ont reconstitué l'écosystème en laboratoire. Qui aurait pu penser que certaines bactéries, en forme de bâtonnets légèrement courbés, se lieraient au sédiment avec une tige de mucus sécrétée par le centre, puis utiliseraient un flagelle aux deux extrémités pour se déplacer comme une hélice? Mais c'est ce que font ces bactéries. Ils créent un courant minuscule, renouvelant l'eau qui les entoure beaucoup plus rapidement que ne pourrait le faire la seule diffusion [46)].

Les bactéries peuvent se déplacer sur des surfaces en essaims organisés et coloniser rapidement une nouvelle source de nourriture beaucoup plus grande que vos propres cellules. Lors de l'essaimage, elles développent

souvent plus de flagelles qu'à l'habitude et établissent des contacts de cellule à cellule avec ces flagelles [47]. Certaines bactéries utilisent également leurs flagelles pour s'accrocher à nos cellules lorsqu'elles tentent de s'introduire dans le contenu cellulaire et de le manger [48].

Cela nous amène au côté sombre du design. Les flagelles sont à l'origine de nombreuses maladies bactériennes, notamment la diarrhée [49], les ulcères et les infections des voies urinaires [50]. Si le concepteur est directement responsable des flagelles, il est alors impliqué dans des maladies humaines. La diarrhée n'est pas une blague; c'est une des principales causes de mortalité infantile dans certaines parties du monde. Pour aggraver les choses, on ne peut guère attribuer de crédit au concepteur pour le flagell sans lui attribuer également la mêm chose pour le TTSS[51]. Cela place le concepteur solidement derrière la peste bubonique [52] [53] et de nombreuses autres maladies [54]. Heureusement, la science rend inutiles de telles croyances.

Les systèmes natatoires illustrent bien comment (et comment ne pas) penser à l'évolution. Behe soutient que l'évolution ne peut pas les produire car ils sont IC (une affirmation douteuse et non un obstacle à l'évolution comme nous l'avons vu). Il soutient cela en affirmant qu'il est peu probable qu'un système de natation suffisamment bon pour être utile apparaisse en une fois. Et cela n'évoluerait pas lentement, suppose-t-il, car jusqu'à ce que le système de natation devienne efficace, il n'y aurait rien à sélectionner par la sélection naturelle. Cependant, il envisage une partie qui sort du lot, mais qui ne sert à rien si ce n'est de nager - et au début, ça ne peut même pas le faire. Mais les parties qui dépassent peuvent avoir plusieurs fonctions et les flagelles bactériens en ont clairement plusieurs. S'il existe une autre raison de sa présence, la partie protubérante peut progressivement développer davantage de capacités. Cela implique un changement de fonction ou une évolution indirecte, comme l'appelle Behe. Il rejette cette possibilité, l'appelant improbable. Un examen plus attentif montre le contraire.

Noyaux IC

Avez-vous remarqué qu'aucun de nos exemples complexes n'est IC au niveau moléculaire? L'argument selon lequel IC ne peut pas évoluer est avancé en termes généraux, mais c'est au niveau moléculaire que le «défi biochimique à l'évolution» est censé compter. Certes, nous avons vu que l'IC peut évoluer, mais les partisans de la "IC implique ID" sont capables de l'ignorer. Ils n'ont pas totalement ignoré le fait qu'aucun système moléculaire d'une complexité impressionnante n'a été démontré comme étant un IC. La solution proposée à ce problème est que ces systèmes ont des «noyaux IC»: si vous enlevez les protéines une à une, à un moment donné, ce qui restera deviendra un IC. Et si vous supprimez des pièces dans un ordre différent, vous pouvez trouver d'autres noyaux IC. Mais retirer arbitrairement des pièces devenues coadaptées n'est pas une "évolution à l'inverse", donc les noyaux ICs ne nous disent rien sur l'évolution. Et comment sont-ils pertinents pour IC si la nature utilise plus que le noyau? Tout ce que je sais, c'est que les noyaux IC semblent avoir de l'importance pour les partisans de l'ID.

Maintenant, jetons un regard plus biologique à la question. Tout l'argument de la complexité irréductible est basé sur des fonctions, des parties, des systèmes, des organismes et des environnements *fixes*. Dans la nature, toutes ces choses varient. L'évolution, à juste titre, est entièrement dédié au changement. La recherche de ce que l'on pourrait appeler un noyau irréductible au cours de l'évolution de n'importe lequel des exemples complexes vous ramènera en arrière, encore, et encore et encore, jusqu'à qui sait quoi? Le précurseur immédiat peut très bien avoir eu plus de pièces. Ou s'il a un nombre de parties réduit, il n'est probablement pas approprié de supprimer une partie avant de modifier les parties afin qu'elles ne soient pas coadaptées et codépendantes. Peut-être que tout l'organisme devrait être modifié et placé dans un environnement différent avant de retirer une partie. Où vous arrêtez-vous [55]?

Puisque nous avons constaté que les systèmes IC simples évoluent facilement, pourquoi les systèmes compliqués sont-ils difficiles à trouver? Certains des modes de changement qui peuvent produire une IC peuvent tout aussi bien ajouter des complications qui ne correspondent pas à la définition. La plupart des gènes appartiennent à des familles de gènes qui se sont développées au fil du temps grâce à la duplication de gènes. Le temps écoulé depuis la duplication particulière peut être estimé par la différence entre les membres de la famille. Ceci est un indice révélateur que les ancêtres de l'organisme s'accommodaient de moins de "parties". Et étant donné un grand nombre de pièces, ces pièces sont susceptibles d'avoir des fonctions supplémentaires,

ce qui est une bonne raison pour avoir plus de pièces que le minimum nécessaire que ce que nous décidons d'être «la» fonction de ces pièces. Par exemple, nous avons noté précédemment que les baleines n'avaient pas l'une de nos protéines de la coagulation du sang, appelée facteur Hageman. Les personnes naissent parfois avec une mutation qui ne leur laisse que 40 à 60% de la quantité normale de facteur de Hageman. Leur sang coagule encore. Mais les femmes avec un facteur de Hageman réduit ont tendance à avoir plus de fausses couches.

Pourquoi la complexité irréductible est-elle séduisante?

L'évolution ne remarque même pas si une combinaison de composants, de systèmes et de fonctions choisie par un observateur satisfait à une définition donnée dans un livre. Cela n'a pas d'importance. Voilà en quelques mots ce que les scientifiques disent depuis la publication de la Black Box de Darwin [56) 57) 58)]. Pourtant, le livre a eu une grande influence auprès du public (voir par exemple les quelques 370 critiques publiées sur amazon.com [59)]. Et il fournit la seule raison apparemment scientifique d'enseigner l'ID dans les classes de sciences des écoles publiques.

Comment expliquer le succès du livre auprès des profanes? Premièrement, il apparaît que l'évolution n'est guère enseignée aux États-Unis. Des connaissances de base telles que les quatre modes de changement évolutif donnés au début de cet essai montreraient au lecteur que l'évolution est beaucoup trop flexible pour que l'IC soit un problème. Des bases biologiques et une lecture attentive permettraient de comprendre que l'argument théorique de Behe selon lequel l'IC ne peut pas évoluer n'est pas valable.

Sans une bonne compréhension de base de la biologie, une ambiguïté délicate s'installe. Il y a tout d'abord la définition de l'IC. Vient ensuite la preuve apparente qu'il ne peut pas évoluer. Après cela, "non-évolutif" est utilisé avec désinvolture comme signification de IC. Pour compléter le tableau, le sous-texte tout au long est que IC est incroyablement compliqué. Ainsi, l'attention est détournée des cas simples qui montrent directement comment les modes fondamentaux de changement évolutif peuvent conduire à l'IC. La définition est utilisée pour affirmer que IC existe, et les deux autres significations scellent la conviction que les systèmes IC sont vraiment non naturels. Il s'agit d'un cas d'utilisation de mots qui ne disent pas ce qu'ils veulent dire qaund on y regarde de plus près. Le lecteur perd donc de vue le fait qu'aucun des exemples de Behe n'est en fait un IC en termes biochimiques, ni le fait que ce dernier n'a pas d'importance dans l'évolution, de sorte qu'il n'existe aucun «défi biochimique à l'évolution» du tout.

IC, ID et créationnisme

IC / ID est-il une forme de créationnisme? Cela y ressemble pour beaucoup de gens, mais les promoteurs rejettent cette étiquette. Voyons si nous pouvons résoudre ce problème.

Vous avez peut-être entendu dire que l'ID diffère du créationnisme en n'insistant pas sur le fait que la Terre n'a que quelques milliers d'années. Ce n'est pas si simple. Les créationnistes se déclinent en variétés de «terre jeune» et de «terre ancienne». Les partisans de l'ID aussi. La différence est que les créationnistes de la terre, jeunes et vieux, sont en désaccord. ID, en revanche, adopte une approche de «grande tente». Vous êtes libre d'accepter des preuves géologiques ou de les écarter. Le concepteur aurait pu donner à la Terre un aspect plus ancien qu'elle ne l'était.

l'ID reflète la pensée créationniste d'une manière fondamentale que vous ne remarquerez peut-être pas si vous n'êtes pas familier avec le domaine. Tous les créationnistes s'accordent pour dire qu'il existe certains changements génétiques hérités. Les différentes races de chiens, par exemple, ne sont pas considérées comme des créations spéciales. Mais les créationnistes divisent toujours les changements évolutifs en deux types: il existe un type simple de changement, que l'évolution peut faire, selon eux. Mais l'évolution est toujours empêchée de causer les changements vraiment importants, soit parce que l'évolution ne peut tout simplement pas le faire, soit parce qu'il est tellement improbable que vous pouvez ne pas en tenir compte. Cela commence-t-il à vous paraître familier? Les systèmes biochimiques IC sont ce que le biochimiste Behe a décidé que

l'évolution ne pourrait pas produire. Selon lui, ils ne peuvent littéralement pas évoluer directement et leur évolution indirecte est trop improbable.

Les créationnistes affirment souvent que les formes intermédiaires qui menent à ce qu'ils ont sous les yeux, ne pourraient pas évoluer car ne fonctionneraient tout simplement pas, et se moquent des intermédiaires (qu'ils décrivent eux-mêmes). Comme nous l'avons vu, Behe le fait aussi. À l'appui de ce point de vue, il propose ce qu'il appelle la fonction minimale comme "… une autre difficulté pour Darwin" (page 45). Cela est expliqué par l'image d'être coincé au milieu d'un lac dans une petite embarcation propulsée par une hélice qui ne tourne qu'à un tour par heure. L'implication est qu'un flagellum doit avoir été un système natatoire tout à fait efficace dès le début, sinon il ne pourrait pas évoluer. Cette idée est une autre conséquence du rejet immédiat du changement de fonction ou de l'évolution indirecte comme il l'appelle. Comme nous le savons déjà, les parties qui sortent du lot, y compris les flagelles en tant qu'organes de nage finement adaptés, peuvent avoir d'autres fonctions. La saillie qui est devenue le flagelle, comme nous le savons, n'a peut-être pas commencé comme un système natatoire et il est très peu probable qu'elle ait eu cette fonction seulement.

Identifier précisément une barrière que l'évolution ne peut franchir est le Saint-Graal du créationnisme. Behe prétend l'avoir fait. Les créationnistes sont naturellement enthousiastes, et il n'est pas surprenant que de nombreux observateurs considèrent IC et ID comme une nouvelle version du créationnisme. Pourtant, les principaux partisans tentent de se démarquer du terme. Le terme «néocréationnisme» est un bon compromis. Il reconnaît les nouveaux développements et les continuités importantes.

Pourquoi les biologistes ne sont-ils jamais convaincus que les barrières revendiquées par les créationnistes soient réelles? Cela revient toujours aux mêmes choses: dans une population à variation héritée et à de nouvelles variations par mutation ou immigration, l'évolution se produit. La sélection naturelle (au lieu de la seule dérive aléatoire) se produit si certaines variations héréditaires sont liées au succès de la reproduction. Ce processus ne prend pas en compte si les changements qui se produisent sont directs ou non, ou si quelque chose est en train de devenir IC. De même, l'évolution ne remarque tout simplement pas les autres barrières proposées par les créationnistes.

Il y a une différence qui pourrait intéresser les conseils scolaires. Dans le passé, les créationnistes ont, bien évidemment, formé des organisations créationnistes telles que le vénérable Institute for Creation Research et le réseau Answers in Genesis. En revanche, les leaders du mouvement ID sont tous des membres éminents d'une organisation politique qui s'appelle le Discovery Institute [60)].

Conclusions

La complexité irréductible, la conception intelligente la plus proche de la biologie, est marquée par trois ironies.
*IC est censé être important car il ne peut pas évoluer. Mais cela peut évoluer, de la même manière que n'importe quoi d'autre.

- Aucun des systèmes biochimiques d'une complexité impressionnante que les partisans d'IC / ID ont qualifié de IC n'est prouvé comme étant de l'IC et plusieurs sont connus pour ne pas l'être. Les cas connus deIC sont plus simples et leur évolution est comprise.
- Bien que le sujet soit motivé par la religion, les promoteurs se sont concentrés sur les flagelles bactériens comme dernier espoir d'un système de IC extrêmement complexe. Cela a pour conséquence involontaire de rendre le concepteur (c-a-d Dieu) responsable de maladies graves.

Il est facile de comprendre pourquoi les scientifiques ne sont pas impressionnés par l'affirmation selon laquelle l'IC ne peut pas évoluer. IC consiste en un observateur spécifiant une combinaison de fonction, de composant et de système, de sorte que la fonction spécifiée requiert toutes les composants. Il n'y a aucun moyen pour que l'évolution soit sensible à cela, aucun moyen pour qu'elle ait une importance. La nature ne s'intéresse pas non plus à l'évolution «directe» ou «indirecte» telle que nous la percevons. L'évolution indirecte est aussi normale que les queues de vaches. L'évolution nécessite simplement des populations à variation héréditaire. Les processus de mutation, de sélection naturelle et de dérive aléatoire ne sont pas sensibles à la question de savoir si un changement sera considéré comme direct ou non, ni si une fonction, un système et des pièces

spécifiés par un observateur changent pour respecter la condition “toutes les pièces sont requises”.

Il était supposé y avoir une raison particulière pour laquelle il était impossible ou du moins très difficile pour l'évolution d'arriver à une situation de «toutes les parties requises», mais cette raison n'existe pas. La raison proposée reposait sur l’abandon des processus évolutifs standard et la création d’analogies avec les articles manufacturés. La comparaison de la souricière de Behe aux pièges des plantes canivores confirme le soupçon raisonnable que les analogies et les arguments basés sur des articles manufacturés conduisent à une sous-estimation de la nature. Puisque l’IC peut se produire dans le cours normal des événements, nous avons un processus connu, l’évolution, qui agit dans le présent et qui, avec suffisamment de temps suffit pour produire les adaptations que Behe trouve perplexes. Cela ressemble à l’élévation des montagnes Rocheuses; un processus connu agissant dans le présent est suffisant, compte tenu du temps, pour produire le résultat. Bien sûr, il n’y a aucun moyen de prédire tous les détails dans les deux cas, et ce n’est pas nécessaire.

Enfin, cette version de la «théologie des écarts», qui fonde le concepteur sur des lacunes ou prétendues lacunes dans nos connaissances (qui ne sont *pas* de la religion dominante), finit par impliquer le concepteur dans une maladie humaine. Cela rend l’ID assez discutable en tant que leçon pour les cours d'école publique. La théologie des écarts est au mieux assez mauvaise, et a toujours le problème que les écarts continuent à se réduire. Cette nouvelle version est particulièrement mauvaise. Darwin a fait une faveur aux théologiens en les libérant de ce genre de chose.

Malgré tout cela, il existe une forte volonté politique de forcer les écoles publiques à présenter de manière erronée le néocréationnisme en tant que science. Mais les fausses déclarations ne sont pas acceptables. Et il serait gênant de dire aux enseignants d’enseigner la science de l’ID quand il n’y en a pas. S'il devient politiquement nécessaire d'enseigner quelque chose sur le sujet, le présent essai contient des éléments pour plusieurs leçons. Et si le plan est d’enseigner «la controverse», il conviendrait de dire aux étudiants qu’il n’y a pas de controverse scientifique, bien qu’il y en ait une publique. Des livres tels que Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution (Black Box de Darwin: le défi biochimique à l'évolution) en sont certainement une partie. Maintenant, l'acceptation généralisée de la thèse de Behe par le public est une preuve flagrante de la nécessité d'une éducation scientifique plus solide, notamment en ce qui concerne l'évolution.

Remerciements

Je remercie Victor Eijkhout, Matt Inlay, Ian Musgrave et surtout Nick Matzke, ainsi que l’équipe de talkdesign pour leurs discussions utiles. Un merci tout spécial à Barry Rice, auteur de www.sarracenia.com, pour l’autorisation d’utiliser des photos de dionée attrape-mouche et de drosera.

1)
(Behe MJ. Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution (New York: The Free Press, 1996).
2) 3)
,
Darwin, Charles. Insectivorous Plants (New York: D. Appleton & Co., 1875. [first published London: John Murray, 1875]) Insectivorous Plants online.
4)
Honda M. (2001). Insectivorous Plants in the Wilderness. Makoto Honda's carnivorous plants web site.
5)
Cameron KM, Wurdack KJ, Jobson RW. (2002). Molecular evidence for the common origin of snap-traps among carnivorous plants. American Journal of Botany 89:1503-1509.
6)
(Darwin, Charles. Insectivorous Plants (New York: D. Appleton & Co., 1875. [first published London: John Murray, 1875]) Insectivorous Plants online.
7)
Copley SD. (2000). Evolution of a metabolic pathway for degradation of a toxic xenobiotic: the patchwork approach. Trends in Biochemical Sciences, 25(6):261-265.
8)
Ackers GK, Doyle ML, Myers D, Daugherty MA. (1992). Molecular Code for Cooperativity in Hemoglobin. Science 255:54-63.
9)

Hines W. (2002). Hemoglobin and Irreducible Complexity. Talk.origins post.
10)

Hardison R. (1999). The Evolution of Hemoglobin. American Scientist 87(2) 126-137. - (1998). Hemoglobin from bacteria to man: Evolution of different patterns of gene expression. Journal of Experimental Biology 201:1099-1117. p. 126
11) , 16)

Behe M. (2000). In Defense of the Irreducibility of the Blood Clotting Cascade: Response to Russell Doolittle, Ken Miller and Keith Robison. L'article de Doolittle est l'une des nombreuses réponses à la revue par Orr de *Darwin's Black Box*, publiée dans le numéro de décembre 1996 / janvier 1997 de Boston Review. Les réponses, y compris celles de Behe, ont été publiées dans le numéro de février / mars 1997 de Boston Review et sont en ligne ici
12) , 17) , 29)

Miller K. Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution - Cliff Street Books, 1999.
13) , 18)

Miller K. (2000). The Evolution of Vertebrate Blood Clotting, (Traduction française ici, NdT).
14)

Inlay M. (2002). Evolving Immunity: A Response to Chapter 6 of Darwin's Black Box. Talkdesign.org.
15) , 19)

Krem MM, Di Cera E. (2002). Evolution of enzyme cascades from embryonic development to blood coagulation. Trends in Biochemical Sciences 27(2):67-74.
20) , 55)

Acton G. (1997). Behe and the Blood Clotting Cascade. Talk Origins Post of the Month: February 1997.
21)

Semba U, Shibuya Y, Okabe H, Yamamoto T. (1998). Whale Hageman Factor (Factor XII); Prevented Production Due to Pseudogene Conversion. Thrombosis Research 90(1):31-37
22)

Miller questions Behe at the Question and Answer session at the American Museum of Natural History meeting, April 23, 2002.
23)

(Acton G. (1997). Behe and the Blood Clotting Cascade. Talk Origins Post of the Month: February 1997.
24)

Samuel AD, Petersen JD, Reese TS. (2001). Envelope structure of Synechococcus sp.WH8113, a nonflagellated swimming cyanobacterium. BMC Microbiol 1(1):4, en ligne ici.
25)

Trachtenberg S, Gilad R, Geffen N. (2003). The bacterial linear motor of Spiroplasma melliferum BC3: from single molecules to swimming cells. Molecular Microbiology 47(3):671-697.
26)

Bardy SL, Ng SYM, Jarrell KF. (2003). Prokaryotic motility structures. Microbiology 149:295-304.
27)

Molecular motors: References for a course on molecular motors at Berkeley.
28)

Brownian ratchets
30)

Raphidiophrys pallida. Notez les axopodes dans la deuxième micrographie.
31)

Pond Scum Action Video. An Actinophrys explores its world with gently waving axopodia.
32)

Foraminifera
33)

Cavalier-Smith T. (2002). The phagotrophic origin of eukaryotes and phylogenetic classification of Protozoa. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 52:297-354.), ((Stechmann A and Cavalier-Smith T. (2002). Rooting the Eukaryote Tree by Using a Derived Gene Fusion. Science 297:89-91.
34)

Leadbeater B and Kelly M. (2001). Evolution of animals - choanoflagellates and sponges. NIWA Water & Atmosphere 9(2) Web article.
35) , 41) , 45)

19
36)

Thomas NA, Bardy SL, Jarrell KF. (2001). The archaeal flagellum: a different kind of prokaryotic motility

structure. FEMS Microbiology Reviews 25:147-174.
37)

Wolgemuth W, Hoiczyk E, Kaiser D, Oster G. (2002). How Myxobacteria Glide. Current Biology 12:369–377.
38)

Bacterial Flagella: A Paradigm for Design. ARN advertisement for the Flagella video.
39)

Discussion of the Flagella video in the talk.origins news group.
40)

Behe MJ. (2001). Reply to my critics: A Response to Reviews of Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution. Biology and Philosophy 16(6):685-709. Egalement en ligne.
42)

Musgrave I. (2000). Evolution of Bacterial Flagella
43)

Klose KE and Mekalanos JJ. (1998). Differential regulation of multiple flagellins in Vibrio cholerae. Journal of Bacteriology 180(2):303-16.
44)

35. Young GM, Schmiel DH, Miller VL. (1999). A new pathway for the secretion of virulence factors by bacteria: The flagellar export apparatus functions as a protein-secretion system. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 96:6456-6461.
46)

Thar R and Kühl M. (2002). Conspicuous Veils Formed by Vibrioid Bacteria on Sulfidic Marine Sediment. Applied and Environmental Microbiology 68(12):6310-20.
47)

Kirov SM, Tassell BC, Semmler AB, O'Donovan LA, Rabaan AA, Shaw JG. (2002). Lateral Flagella and Swarming Motility in Aeromonas Species. Journal of Bacteriology 184(2):547-555.
48) , 49)

Girón JA, Torres AG, Freer E, Kaper JB. (2002). The flagella of enteropathogenic Escherichia coli mediate adherence to epithelial cells. Molecular Microbiology 44(2):361-379.
50)

39. McGee DJ, Coker C, Testerman TL, Harro JM, Gibson SV, Mobley HL. (2002). The Helicobacter pylori flbA flagellar biosynthesis and regulatory gene is required for motility and virulence and modulates urease of H. pylori and Proteus mirabilis. Journal of Medical Microbiology 51(11):958-970.
51)

Foultier B, Troisfontaines P, Muller S, Opperdoes FR, Cornelis GR. (2002). Characterization of the ysa pathogenicity locus in the chromosome of Yersinia enterocolitica and phylogeny analysis of type III secretion systems. Journal of Molecular Evolution 55(1):37-51.
52)

Young BM and Young GM. (2002). YplA Is Exported by the Ysc, Ysa, and Flagellar Type III Secretion Systems of Yersinia enterocolitica. Journal of Bacteriology, 184(5):1324-1334.
53)

Cornelis GR, Boland A, Boyd AP, Geuijen C, Iriarte M, Neyt C, Sory MP, Stainier I. (1998). The virulence plasmid of Yersinia, an antihost genome. Microbiology and Molecular Biology Reviews 62(4):1315-52.
54)

Stuber K, Frey J, Burnens AP, Kuhnert P. (2003). Detection of type III secretion genes as a general indicator of bacterial virulence. Molecular and Cellular Probes 17:25–32.
56)

Ussery D. (1999). Review of Darwin's Black Box. Bios 70:40-45. There is an expanded version online (traduction ici).
57)

Cavalier-Smith, T. (1997). The Blind Biochemist. Trends in Ecology and Evolution 12(4):162-163.
58)

Roger Dorit (1997). Molecular Evolution and Scientific Inquiry, Misperceived. American Scientist 85(5):474-475. Also online.
59)

Avis sur *Darwin's Black Box* sur amazon.com.
60)

Les liens vers The Institute for Creation Research, Answers in Genesis et des groupes de même opinion sont ici. Les leaders du mouvement des concepteurs intelligents sont tous des Senior Fellows ou plus au Discovery Institute.

From:
https://www.evowiki.fr/ - **EvoWiki**

Permanent link:
https://www.evowiki.fr/l_ic_demystifiee?rev=1572805451

Last update: **2019/11/03 19:24**