



L'importance capitale du travail de fourmi des chercheurs

Christophe Godin¹

Aux confins de notre monde, une armée pacifique d'hommes et de femmes explorent notre inconnu. Cette exploration est déterminante pour notre société. Elle fournit à chaque instant la matière sur laquelle sera construit le monde de demain, et constitue par l'accumulation de connaissances notre réserve de progrès et d'adaptation.

[Note à l'attention des décideurs pour un système de recherche efficace qui tire la croissance puissamment vers le haut]

« Ah vous êtes chercheur ?... mais la société a besoin de trouveurs, pas de chercheurs ;-) ! ». Dans ma vie extra-professionnelle, j'ai, comme beaucoup de collègues chercheurs, souvent été confronté à cette boutade en demi-teinte, un soupçon ironique, lancée à l'occasion d'une soirée ou d'une réunion de famille. Un peu dans l'embarras, et touché certainement dans mon amour-propre, j'essaie le plus souvent de répondre en montrant en quoi mon domaine de recherche, et mes recherches, sont tellement importantes pour la société. En vain... La distance est trop grande, le temps trop court, le vocabulaire trop étriqué, l'expérience trop différente, et finalement le lien trop ténu... Une évidence qui finalement n'en est pas une.

Pourtant, cette boutade, dont la paternité est souvent attribuée — à tort semble-t-il — au Général De Gaulle² pose trois questions essentielles sur la fonction du chercheur dans la société.

1. Directeur de recherche à Inria.

2. Voir l'article de Pierre-Carl Langlais du 18/10/2014, <http://blogs.rue89.nouvelobs.com/les-coulisses-de-wikipedia/2014/10/18/des-chercheurs-qui-cherchent-en-trouve-des-chercheurs-qui-trouvent-en-cherche-la-phrase-que-de-233663>

Premièrement, la recherche est-elle utile à notre société ? Après tout, la grande masse des individus de la société ne sont pas chercheurs. Ne pourrait-on pas tout simplement se passer de cette activité dont on n'a pas toujours l'impression qu'elle est essentielle, ici et maintenant ?

Deuxièmement, en admettant tout de même que la société ait besoin de chercheurs, a-t-elle besoin d'une telle masse de chercheurs (dont une grande partie sont des fonctionnaires) pour progresser dans la connaissance et faire des découvertes ? Les chercheurs qui cherchent et ne trouvent pas ne sont-ils pas inutiles ? Ne pourrait-on pas faire beaucoup d'économies en appointant uniquement des chercheurs qui trouvent ? Ne pourrait-on plus efficacement utiliser l'argent du contribuable en formant des trouveurs plutôt que des chercheurs, des sortes de super-chercheurs qui, en plus de chercher, trouveraient ?

Finalement, la recherche est-elle un bien ou un mal ? C'est la recherche qui permet de trouver de nouveaux vaccins, de construire des avions plus rapides, de rester en contact malgré les distances. Mais c'est également la recherche qui engendre des applications dont le risque mal évalué conduit à des accidents comme ceux de Tchernobyl ou de Fukushima, à l'accumulation de pollutions (gaz à effet de serre, déchets dangereux ou massifs) dont l'impact est maintenant mondial. En arrêtant de financer la recherche, ne supprimerions-nous pas bien des maux dont souffre aujourd'hui notre société ?

Ces questions sont tout à fait légitimes, et il faut y répondre. Cependant, je me suis progressivement rendu compte qu'elles ne posent pas le problème correctement (d'où mon embarras à y répondre), et que l'apparent bon sens derrière ces questions est en réalité lié à un malentendu commun — mais, à terme, dangereux — sur la fonction de chercheur dans la société.

Pour le comprendre, observons le comportement des fourmis. Vous vous êtes sans doute comme moi étonné au printemps de la terrible efficacité des fourmis pour repérer toute trace de nourriture : le moindre insecte mort, morceau de sucre ou de pain, tombé sur le sol est, après quelques minutes seulement, envahi de fourmis et acheminé vers la fourmilière dans un convoi ininterrompu. Cette efficacité n'est bien sûr pas un hasard. C'est le fruit d'un processus comportemental sélectionné par la nature pour son efficacité redoutable. Pour explorer le territoire autour de la fourmilière, des fourmis spécialisées dans l'exploration se déplacent selon une trajectoire un peu aléatoire. L'ensemble des trajectoires de ces exploratrices réalise en permanence un maillage assez fin de la surface entière du territoire, de sorte qu'une source de nourriture sera vite repérée où qu'elle soit. En revenant à la fourmilière, une fourmi ayant fait une telle découverte indique par l'odeur qu'elle dépose sur le chemin aux autres fourmis le lieu de sa découverte, attirant ainsi vers la source de nourriture très rapidement ses congénères qui intensifient alors l'exploitation du filon.

Il est intéressant de s'arrêter un instant sur ce sur quoi repose une stratégie aussi efficace : (1) les acteurs (les fourmis) sont nombreux et autonomes, (2) ils se déplacent en partie aléatoirement, (3) tous travaillent simultanément et (4) une fois une source de nourriture trouvée, un mécanisme collaboratif se met en œuvre afin de permettre aux fourmis d'exploiter cette source rapidement. En réalité, cette stratégie affinée par la nature pour explorer et exploiter un espace donné avec efficacité a une nature universelle. Elle peut être mise en œuvre par bien d'autres systèmes que celui des fourmis dès qu'il s'agit d'explorer un espace vaste et de découvrir en un temps raisonnable des éléments d'intérêt dans celui-ci. C'est en particulier en partie comme cela que la recherche procède chez les hommes.



© Ray Clid –

<http://www.rayclid.com/>

Pour les hommes, l'espace à explorer est le monde physique et biologique ainsi que le monde conceptuel que l'on peut construire par abstraction et déduction (monde économique, sociologique, mathématique, numérique). Cet espace est gigantesque, bien plus vaste que ce que nous pouvons imaginer. Pourtant, à travers l'histoire des sciences et des technologies, nous savons qu'il recèle une quantité formidable de sources de nouvelles connaissances et de propriétés à découvrir. Pour explorer cet espace, nous avons petit à petit mis en place une stratégie implacable, comparable à celle des fourmis : des individus spécialisés (les chercheurs) explorent cet espace et développent des trajectoires (travaux de recherche) qui, ensemble, couvrent à tout moment une grande partie de l'espace à explorer. Lorsqu'ils font une découverte, ils laissent une trace pour leurs collègues (publication) qui permet à toute la communauté de repérer et d'exploiter la nouvelle mine de savoir ainsi dévoilée. Il existe bien sûr une disparité dans la capacité de recherche, les compétences, l'intuition et l'efficacité de chacun des acteurs (comme chez les fourmis sans doute). Mais c'est bien l'ensemble de ces trajectoires et leur nombre qui garantit la terrible efficacité de notre système de recherche dans son ensemble. Et c'est là le point essentiel !

Comme toutes les métaphores, celle de l'organisation distribuée des fourmis explorant leur espace dans un mouvement essentiellement aléatoire a des limites lorsqu'on la compare à l'activité de recherche humaine. La plus importante est sans doute que les fourmis sont des acteurs doués de facultés de raisonnement limitées. Pour autant, elle nous fournit une grille de lecture très utile pour penser l'efficacité de notre système de recherche actuel et sa gouvernance. C'est ce point que j'aimerais maintenant discuter. Cette grille fait apparaître quatre principes fondamentaux sous-tendant un système de recherche efficace :

● Principe des moyens exploratoires.

Le premier principe est qu'il faut laisser les chercheurs faire ce pour quoi ils sont formés et payés : *explorer systématiquement l'espace inconnu autour de nous tous*. La condition principale d'une telle recherche est *le temps : il faut laisser aux chercheurs l'essentiel de leur temps pour chercher*. C'est un point d'une importance capitale mais dont la fragilité tient en ce que, s'il n'est pas assuré, il est très difficile pour le système de détecter immédiatement qu'il y a un problème. Les effets se feront ressentir des années plus tard. Si on ne laisse pas suffisamment de temps d'exploration aux chercheurs, l'espace inconnu parcouru par l'ensemble de la communauté de chercheurs sera de faible étendue et le risque de passer à côté des découvertes clés largement accru.

Ainsi, si on estime que l'efficacité d'un chercheur pour la communauté croît en proportion du temps qu'il met dans son exploration du monde, alors on voit bien que l'accumulation de tâches secondaires, non directement liées à ses capacités de chercheur (tâches administratives, tâches d'évaluation, rapports, rédaction de projets, tronçonnage excessif des publications pour faire « du chiffre », etc.) va nécessairement se faire au détriment de son travail d'exploration. S'il s'agit d'un seul chercheur, le coût pour la collectivité est bien évidemment réduit, mais si c'est l'ensemble de la communauté des chercheurs qui est affecté, il en va de l'efficacité globale de notre système d'exploration, de notre compétitivité, de notre potentiel de croissance. Et ce risque est avéré dans l'organisation actuelle de notre système : voir à ce sujet le témoignage de Marco Zito, physicien au Commissariat à l'Énergie Atomique : « Pris dans l'engrenage »³ dans *Le Monde Science et Techno* du 27 janvier 2014.

Il est essentiel pour bien prendre la mesure de l'ampleur du problème de détailler les deux processus majeurs qui amputent aujourd'hui régulièrement des pans entiers au temps que les chercheurs peuvent consacrer à leur exploration.

— *La surenchère de création de structures, qui a sévi dans la dernière quinzaine d'années, a eu des conséquences dévastatrices sur notre capacité de recherche. Il est urgent de revenir à une infrastructure de recherche simplifiée et cohérente.*

En plus des Instituts, des Universités, des grandes écoles et de leurs départements, on a vu foisonner dans les dernières années un nombre incalculable de structures liées à l'organisation de la recherche : UMR, UPR, IFR, FDR, USR, COMUE, PRES, Pôles d'excellence, Instituts Carnot, Alliances, LABEX, IDEX, EQUIPEX, Fondations, pôles de compétitivité, projets d'avenir, etc. La liste est longue. Ces structures, le plus souvent régionales, ont été créées les unes après les autres sans pensée rationnelle de l'ensemble, sans que la question de savoir quelles anciennes structures devaient être supprimées avant d'en créer de nouvelles.

3. http://www.lemonde.fr/sciences/article/2014/01/27/pris-dans-l-engrenage_4355224_1650684.html

Ces créations anarchiques ont abouti aujourd'hui à un véritable écheveau de structures d'une complexité innommable, sorte de propriété émergente d'un système qui nous a échappé par sa complexité. Situation à laquelle tout le monde (y compris les chercheurs !) a contribué de bonne foi. Il n'est pas rare qu'une équipe de recherche appartienne à trois, quatre, parfois cinq, six ou plus de ces structures. Chacune a sa direction, son bureau d'instruction des dossiers, son administration, son conseil scientifique, ses comités de décision, son animation scientifique. La plupart sont évaluées par l'AERES⁴ (et bien entendu les chercheurs qui participent à plusieurs de ces structures participent donc à ces différentes évaluations). Les mêmes chercheurs sont appelés à siéger dans les conseils scientifiques de structures d'autres régions françaises ou dans leurs panels d'évaluateurs. Le système s'étouffe de lui-même.

Mais qui contrôle cet emballement ? Qui analyse l'effet dévastateur que cela a sur le fonctionnement du système de recherche dans son ensemble ? Personne semble-t-il, ou plutôt si : les chercheurs eux mêmes, par la voix de l'Académie des sciences, qui a adressé des recommandations d'urgence à la sphère politique et qui sont à ce jour, et pour l'essentiel, restées lettre morte⁵.

Notre système de recherche est comparable à une formule 1 qui ferait une course avec le frein à main à moitié serré en permanence. Cet état de fait est le résultat émergent d'un système complexe qui est assujéti aux marées électorales et aux changements fréquents de gouvernance. En réfléchissant à la rationalisation de l'organisation de notre système de recherche, nous pouvons réaliser des économies d'échelles de grande ampleur et tout en redonnant de l'air aux chercheurs, c'est-à-dire du temps, condition essentielle de la performance collective de notre système de recherche.

— *Depuis une vingtaine d'années, les chercheurs consacrent de plus en plus de leur temps à des processus compétitifs à l'échelle nationale et européenne pour obtenir des moyens de recherche.*

Cette stratégie peut inciter les collaborations entre équipes de recherche et fournir des compléments de moyens pour réaliser des projets innovants. Pourtant, poussée trop loin, elle est simplement naïve et dangereuse pour l'ensemble du système car elle détourne de façon significative les chercheurs de leur travail d'exploration (voir par exemple l'article de John Ionnadis⁶ dans la revue *Nature*).

Quelle est alors la valeur ajoutée de ces appels à projets ? Elle peut être d'orienter une partie du système de recherche vers des problématiques sociétales d'actualité. Mais alors cela doit être fait avec parcimonie (voir le point suivant sur la complétude exploratoire). Elle peut être également d'évaluer la qualité des projets de recherche proposés. Dans ce cas, ce n'est sans doute pas la bonne façon de procéder à l'échelle

4. Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur, devenue en novembre 2014 le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES).

5. <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rads0912.pdf>

6. <http://www.nature.com/nature/journal/v477/n7366/abs/477529a.html>

du système de recherche entier. Il faut bien comprendre que la qualité des équipes de recherche et des chercheurs eux-mêmes est établie bien en amont de ces appels à projets, au moment de leur formation longue et exigeante et de la constitution et l'évaluation des équipes de recherche. Il est extrêmement risqué pour l'efficacité de tout le système de rajouter une couche d'évaluation pour le montage souvent coûteux en temps de projets de recherche (le dernier appel à projet de l'ANR, pour lequel seulement 10% des projets proposés par l'ensemble des chercheurs français a été finalement financé, fournit une illustration typique du gâchis d'énergie occasionné par de tels appels à projets⁷) au détriment des ressources de fonctionnement (dites récurrentes) qui sont octroyées aux chercheurs par les instituts de recherche. *Il faut s'assurer que les chercheurs aient les moyens de leur recherche.*

Payer des chercheurs à scruter le ciel et ne pas leur donner la possibilité de d'utiliser ou de construire des télescopes, ou à faire de la recherche en génétique sans leur donner la possibilité de séquencer les génomes, ou de décrire la biodiversité sans qu'ils puissent mettre en place des stations d'observation en différents points de la planète serait tout simplement absurde. Si on ne le fait pas, une bonne partie du temps de recherche sera consacré à trouver les fonds pour obtenir ces moyens. Une politique de financement de la recherche doit s'assurer de cette cohérence et assurer aux chercheurs qu'elle paie les moyens de leurs actions d'exploration. Un nouvel équilibre est nécessaire entre ressources récurrentes et compétitives obtenues sur des appels à projets, au risque de gripper tout le système et de prendre un retard considérable dans notre exploration de l'inconnu.

● Principe de complétude exploratoire.

Il est essentiel d'encourager les chercheurs à explorer tous les compartiments de l'espace inconnu qui nous entoure (et non seulement une partie de celui-ci). C'est cette complétude du balayage de l'espace de recherche qui peut garantir la meilleure efficacité des découvertes (comme pour les fourmis). Ce mouvement d'exploration systématique prend sa source à l'échelle des équipes de recherche : il est l'équivalent du déplacement aléatoire des fourmis. Il n'est pas dirigé par une instance supérieure qui prétendrait savoir où chercher. C'est lui qui garantit la performance de découverte de l'ensemble du système.

L'alternative est de laisser un individu ou un groupe décider pour la nation de ce qui est le plus prometteur en matière de retombées sociétales. Or, il est extrêmement difficile à quiconque de prédire dans quel domaine vont être faites les prochaines découvertes les plus significatives pour la société. Un exemple célèbre est celui du vaccin contre la rage, ou celui de la découverte de la pénicilline en médecine, d'autres sont ceux des découvertes de la radioactivité en physique, de l'invention des transistors en électronique, ou plus récemment celle du Web par exemple dans les sciences

7. <http://sciences.blogs.liberation.fr/home/2014/08/lanr-recale-80-des-projets-scientifiques.html>

du numérique. L'histoire des sciences regorge de ces découvertes qui n'auraient pu être prédites par les contemporains de ces recherches, chercheurs ou non. Si la société veut infléchir des directions de recherche, elle doit le faire dans le respect de ce principe de complétude exploratoire et résister à la tentation de sacrifier les financements « ouverts » ou « métaboliques » au profit de financements plus « ciblés ».

Comme le montre l'exemple des fourmis, la qualité et le nombre d'individus participant aux recherches sont déterminants dans l'efficacité de la recherche collective. La question de savoir si c'est tel ou tel individu qui a fait une découverte particulière est finalement secondaire. L'importance pour la société est que cette découverte soit faite. Et il y a pour cela deux autres conditions fondamentales :

- **Principe de compétence des acteurs.**

La nature même de l'espace à explorer exige que les chercheurs aient reçu une formation très spécifique. Il s'agit d'être capable de se déplacer dans ce monde des idées et de l'expérimentation. Ce type de « déplacement » exige une formation pointue, qui permette de reconnaître les endroits où d'autres sont déjà passés, de trouver de nouvelles pistes (idées ou expériences) et de les mettre en œuvre. Cela doit se faire avec une méthode précise et rigoureuse, la *méthode scientifique*, que tout chercheur doit commencer par apprendre au cours d'études souvent assez longues.

L'étape ultime de cet apprentissage est celle du doctorat. L'idée est qu'un jeune chercheur travaille pendant plusieurs années sur un sujet de recherche, et mette pour la première fois à l'épreuve du réel les compétences acquises au cours de sa formation théorique. Cette étape est essentielle : elle permet d'une part au jeune chercheur d'approfondir sa maîtrise de la méthode scientifique, d'approfondir une spécialité, de commencer à se faire connaître de ses collègues dans la même spécialité, d'apprendre à rédiger et présenter ses résultats (rédaction d'articles de journaux, présentation à des conférences), et enfin au total de voir si le métier de chercheur lui plaît effectivement.

Aujourd'hui, le temps de cet apprentissage a été réduit uniformément, quelles que soient les universités et les matières, à trois ans. Tous les financements sont obtenus pour cette durée. Les écoles doctorales, au sein des universités, sont évaluées sur leur capacité à faire respecter ces délais. Ceci est absurde. Si elle peut effectivement selon le cas être de trois ans, cette durée ne peut être uniformisée aveuglément, il en va de la qualité des chercheurs que nous formons. L'objectif central du doctorat est de former des jeunes chercheurs à acquérir une première autonomie dans leur activité de recherche et il faut accepter la réalité que ceci prend du temps. Certains travaux de recherche, du fait d'expérimentations longues ou de contextes complexes, pluridisciplinaires par exemple, nécessitent des temps de thèse un peu plus importants. Parce qu'il durent quatre, voire cinq ans, ces travaux n'en sont pas moins importants pour la société. En les arrêtant précocement pour respecter des injonctions artificielles de durée uniforme, nous fragilisons les formations des jeunes chercheurs, la qualité du

diplôme de doctorat que nous délivrons et, au-delà notre efficacité collective à explorer le monde. Il est intéressant de noter qu'il en va tout autrement outre-Atlantique et que la durée d'une thèse peut être largement variable en fonction des cas.

En revanche, il est essentiel de considérer ces jeunes chercheurs pendant toute leur période d'apprentissage comme des chercheurs à part entière et de les rémunérer en conséquence.

● Principe de masse critique.

Le nombre de chercheurs doit être suffisant pour explorer l'espace accessible à la découverte. Ce point est également une pierre angulaire de tout le dispositif. Il se heurte aujourd'hui à deux difficultés.

Il s'agit tout d'abord d'une crise des vocations et d'attractivité. Devant la grisaille des horizons qu'offre notre société, les jeunes sont de moins en moins attirés par un métier dont on ne sait plus bien ce qu'il constitue comme repère. Pour vouloir devenir un explorateur, il faut avoir envie de rêver le monde, d'inventer de nouveaux chemins, d'être convaincu que l'inconnu recèle un passage, une beauté cachés. Ce rêve est aujourd'hui comme un drapeau en berne. Il faut le raviver, susciter l'intérêt des plus jeunes pour le métier de chercheur, les faire rêver de leurs rêves. La recherche doit venir à leur contact, leur parler, les émerveiller, leur montrer la valeur intrinsèque de la connaissance et le plaisir de chercher.

Il faut, au-delà encore, que notre espace de recherche national attire les esprits scientifiques étrangers, ou favorise le retour de chercheurs français un temps expatriés, et que tous aient l'ambition de faire ou de poursuivre leur parcours exploratoire sur un territoire fertile et stimulant.

À l'attractivité scientifique, il faut adjoindre une attractivité financière. Si, en général, les chercheurs ne travaillent pas pour devenir riches, ils sont en revanche très sensibles à la reconnaissance que leurs collègues ou que la société pour laquelle ils travaillent leur témoignent. Le salaire est l'une des formes importante de cette reconnaissance.

Enfin, pour atteindre une masse critique à la fertilité des découvertes, jouer sur les leviers des vocations ou de l'attractivité ne suffit pas. Il faut également qu'en fonction de sa taille la société se dote d'une densité d'explorateurs suffisamment importante pour répondre à ses attendus en matière de progrès, d'innovation, de compétition et d'adaptation. Comment déterminer un tel chiffre ? Il y aurait une étude complète à développer sur ce thème.

Une solution pragmatique consiste à se reposer sur l'expérience comparée des différents pays. Par exemple, les chiffres donnant le pourcentage du PIB national utilisé pour la recherche et le développement par différents pays nous permet de faire une première estimation de cette densité. L'Espagne consacre ainsi 1.30% de son PIB à la recherche et au développement, l'Irlande 1.72, le Royaume-Uni 1.72,

les Pays-Bas 2.16, la France 2.26, les États-Unis 2.79, l'Allemagne 2.92 le Danemark : 2.98, le Japon 3.39, la Suède 3.41, la Finlande 3.55, Israël 3.93, la Corée 4.05. Moyenne mondiale : 2.21⁸). Pour un pays comme la France, ce chiffre correspond actuellement à environ 100 000 chercheurs dans le secteur public. Un point supplémentaire (ce qui nous positionnerait à peu près au niveau du Japon) correspondrait à un investissement supplémentaire d'environ 20 milliards d'euros dans la recherche et le développement et 43 000 chercheurs supplémentaires (en supposant par exemple simplement que le nombre de chercheurs du public croît proportionnellement au PIB investi dans la recherche).

La recherche n'est bien sûr ni un bien ni un mal. Elle est la condition même de l'évolution de notre société. Il est essentiel que la société civile et les hommes et femmes politiques perçoivent cette réalité au-delà des formes.

Ainsi, l'exemple de l'organisation de l'exploration d'un territoire par les fourmis nous permet de prendre du recul sur la nature même et la fonction de l'activité de recherche dans nos sociétés. La comparaison de chercheurs à des fourmis, si elle est flatteuse pour les fourmis, n'en est pas moins utile pour analyser les enjeux derrière cette activité humaine très particulière, et finalement vitale à l'échelle de notre civilisation. C'est en reconnaissant la composante collective du travail de recherche que nous pourrions prendre les décisions adaptées à la manipulation de cet instrument complexe, mais tellement puissant si l'on s'en sert avec intelligence.

Certains chercheurs, talentueux, audacieux et parfois chanceux (ou tout à la fois), vont être sous le feu des projecteurs. Et c'est très bien, car la société peut à travers eux prendre connaissance des fruits de l'immense effort consenti par tous : les contribuables, les entreprises qui investissent dans la recherche et les chercheurs eux-mêmes. Ils sont portés derrière eux par l'ensemble de la fourmilière des éclaireurs. Si la société a retenu le mot « chercheur » plutôt que celui de « trouveur », c'est bien qu'elle reconnaît profondément la valeur essentielle de l'acte de chercher en soi ! Il ne nous reste qu'à accompagner dignement cette sagesse collective.

Vous rêviez de trouver ? j'en suis fort aise.
Eh bien ! cherchez maintenant.

Une version plus courte de cet article est paru sur le blog BINAIRE⁹.

8. Réf. Banque Mondiale, « Dépenses en recherche et développement en % du PIB, données 2012 », <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

9. <http://binaire.blog.lemonde.fr/2014/12/19/des-fourmis-et-des-chercheurs/>

Pour aller plus loin...

En quelques chiffres (2011/2012) ¹⁰ : « *La dépense intérieure de recherche et développement s'élève à 45 milliards d'euros en 2011. Au total, 543 000 personnes participent à une activité de recherche en France dont 249 100 chercheurs (en équivalent temps plein). On compte 148 300 chercheurs dans les entreprises et 100 800 dans le public. En 2012, la dépense intérieure de recherche et développement (DIRD) s'établit à 46,5 milliards d'euros, en hausse de 1,9 % en volume par rapport à 2011.* »

Si l'on passait au même chiffre que l'Allemagne par exemple cela correspondrait à 60 milliards d'euros au lieu de 46.5 milliards d'euros en France, et 73 milliards d'euros si nous avions une politique similaire à la Finlande (soit 26 milliards d'euros en plus des 46.5 milliards d'euros du budget français R&D 2012).

À lire sur la stratégie des fourmis pour trouver de la nourriture et les stratégies de recherche algorithmiques inspirées de ce comportement :

https://interstices.info/jcms/c_7083/lintelligence-en-essaim-ou-comment-faire-complexe-avec-du-simple

<http://mute-net.sourceforge.net/howAnts.fr.shtml>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_colonies_de_fourmis

À lire sur la recherche en France :

<http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rads0912.pdf>

<http://www.senat.fr/rap/a13-160-5/a13-160-58.html>

http://www.lemonde.fr/sciences/article/2012/11/01/reflexions-sur-la-recherche-scientifique-en-france_1784556_1650684.html

<http://sciences.blogs.liberation.fr/home/2014/03/le-cs-du-cnrs-lance-la-bataille-de-lemploi.html>

À lire sur la complexité des structures de recherche françaises :

http://www.dgdr.cnrs.fr/daj/publi/docs/guide_sor-sos.pdf

À lire sur le détournement du temps des chercheurs à rédiger des projets :

<http://www.nature.com/nature/journal/v477/n7366/abs/477529a.html>

Sur la supposée citation de De Gaulle :

<http://blogs.rue89.nouvelobs.com/les-coulisses-de-wikipedia/2014/10/18/des-chercheurs-qui-cherchent-en-trouve-des-chercheurs-qui-trouvent-en-cherche-la-phras-que-de-233663>

10. Réf. Ministère de l'enseignement et de la recherche. <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/pid25351/chiffres-cles-de-la-recherche.html>