

Provided for non-commercial research and education use.  
Not for reproduction, distribution or commercial use.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

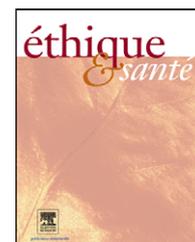
In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Disponible en ligne sur  
 ScienceDirect  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France  
  
www.em-consulte.com



DOSSIER THÉMATIQUE : ÉTHIQUE DU VIVANT

## Nouveaux objets, nouveaux acteurs, nouveau enjeux éthiques : les interfaces entre biologie, nanotechnologie et informatique

New objects, new actors, new ethical issues: The interfaces between biology, nanotechnologies and computer sciences

**B. Vandebunder**

*Institut de recherche interdisciplinaire, USR 3078 CNRS, université Lille-1, parc de la Haute-Borne, 50, avenue de Halley, BP 70478, 59658 Villeneuve d'Ascq, France*

Disponible sur Internet le 29 janvier 2010

### MOTS CLÉS

Éthique ;  
Biologie ;  
Nanotechnologies ;  
Informatique ;  
Complexité ;  
Déterminisme ;  
Bruit

**Résumé** Avec le développement de programmes qui visent à assurer un continuum entre recherche et soins « *du malade au malade* », il devient de plus en plus important de réunir des chercheurs en éthique et en biologie pour analyser la vision de l'humain qui est sous-jacente aux programmes de recherche fondamentale en biologie. Dans une première partie, un rappel historique sur 25 années de recherche sur le cancer illustrera les succès et les limites des approches moléculaires des maladies humaines multifactorielles. Dans la deuxième partie, on verra comment les nouvelles technologies mobilisées pour le séquençage du génome humain et pour la description d'événements moléculaires dans des cellules vivantes conduisent à un déplacement de l'intérêt des gènes aux réseaux de régulation, du déterminisme génétique à la mise en évidence de l'importance du bruit dans l'émergence de programmes de développement robustes. Enfin, la dernière partie évoque la façon dont la philosophie et l'éthique peuvent contribuer à reconnaître les limites des approches expérimentales du vivant et à penser sa complexité, entre émerveillement, souffrance et protestation.

© 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Adresse e-mail : [Bernard.Vandebunder@iri.univ-lille1.fr](mailto:Bernard.Vandebunder@iri.univ-lille1.fr).

**KEYWORDS**

Ethics;  
Molecular biology;  
Nanotechnology;  
Computer science;  
Complexity;  
Determinism;  
Noise

**Summary** With the launching of “bench to bedside” programs which aim to establish bridges between clinics and life science laboratories, it becomes increasingly important to associate specialists in ethics and basic scientists to analyze the vision of mankind underlying fundamental research programs in biology. In a first part, a survey of 25 years of research on cancer will illustrate the rise and the limits of molecular approaches to human multifactorial diseases. The second part will present how new technologies recruited for the sequencing of the human genome and for the description of molecular events in living cells led to a shift of the interest from gene to regulatory networks, from genetic determinism to the importance of noise in the emergence of robust development programs. The last part intends to discuss how philosophy and ethics are needed to recognize the limits of the experimental approaches of the living and to think its complexity, between marveling, suffering and protesting.

© 2009 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

La recherche sur le vivant s’est toujours développée aux *interfaces* entre les disciplines scientifiques. Il y a 50 ans, les mathématiques, la physique et la chimie ont joué un grand rôle dans l’émergence de la biologie moléculaire. Depuis dix ans, ce sont l’informatique et les nanotechnologies qui apportent de nouveaux outils pour explorer et manipuler le vivant, et qui remettent en cause notre vision du vivant.

“We have a new continent to explore and we need maps at every scale to find our way” [1]

écrivait Dennis Bray dans un article de revue sur la « nouvelle » biologie, systémique ou intégrative qui voit le jour. Pour réussir cette exploration, il nous faut plutôt des boussoles qui invitent à déplacer notre regard, il nous faut dépolir ou polir nos lunettes conceptuelles<sup>1</sup>. Ce soir, je souhaite vous apporter de la matière à penser, et convaincre certain(e)s philosophes parmi vous de monter dans le bateau parce que la réflexion éthique aujourd’hui doit être menée non seulement au retour ou aux étapes, mais au départ des expéditions et pendant le voyage.

Ce séminaire consacré à *l’éthique de la recherche biomédicale* s’inscrit directement dans une réflexion consacrée à *l’éthique du soin* dans la mesure où les politiques

<sup>1</sup> « Les préconceptions théoriques exercent une emprise subtile et inévitable sur l’observation des faits. La réalité ne se présente pas à nous en toute objectivité, et aucun scientifique n’est libre de contraintes issues de son psychisme et de la société. *La plus grande entrave au progrès de la science provient très souvent d’œillères conceptuelles et non pas du manque de données* ». La vie est belle. Stephen J. Gould, Points Sciences. (Page 360).

« Hélas ! la crasse grossièreté de nos organes, aggravée par la pesanteur et l’hébététe d’un incurable esprit de géométrie, prépare mal l’entendement obtus à saisir les impondérables. L’entendement est plutôt fait pour dénouer des câbles que pour trier des fils d’araignée ! « Ce sont, dit Marivaux, des objets de sentiment si compliqués, et d’une netteté si délicate, qu’ils se brouillent dès que ma réflexion s’en mêle. ». Un objet infiniment délicat veut un esprit délié infiniment. *Comme on a trouvé le microscope pour corriger la myopie lamentable des hommes et allonger leur courte vue, trouverons-nous l’appareil qui aiguise notre faculté de discernement si émoussée ?* ». Le Je-ne-sais-quoi et le Presque-rien, V.Jankélévitch (Points), page 44.

de recherche visent à créer un pseudocontinuum entre recherche fondamentale et recherche clinique, à réduire la distance entre le laboratoire et le lit du malade « pour lui faire bénéficier le plus rapidement possible des progrès de la recherche ».

Au cours de ce séminaire, je vais détourner le thème du double élargissement proposé par Frédéric Worms le 27 janvier dernier. En m’appuyant d’abord sur les approches moléculaires du cancer, puis sur l’irruption des nanotechnologies et de l’informatique, je voudrais montrer comment la recherche en biologie s’est élargie à de nouveaux acteurs qui ont ouvert de nouveaux champs d’investigation autrefois inaccessibles et qui proposent une nouvelle vision du vivant.

Enfin, je parlerai des questions éthiques que posent cette recherche, entre émerveillement, souffrance et protestation.

## Succès et limites de l’approche moléculaire du vivant : l’exemple du cancer

### Émerveillement

Toutes les secondes, plus de deux millions de nouveaux globules rouges apparaissent dans la circulation sanguine d’un organisme humain adulte. Presque autant de globules blancs. Pour chaque nouvelle cellule qui se divise, son génome entier (trois milliards de base) est dupliqué. Toutes les secondes, deux millions de « vieux » globules rouges meurent dans cet organisme. Les cellules de chacun de ses tissus se renouvellent sans cesse à des vitesses différentes. Cet équilibre entre prolifération et mort cellulaire peut être perturbé et c’est ainsi que commence le processus cancéreux.

Pendant longtemps, jusqu’aux années 1970 pour étudier le cancer on regardait les cellules et les tissus cancéreux au microscope. On les marquait avec des colorants chimiques (éosine, vert de méthyle, bleu de méthylène...), on étudiait leur apparence et on essayait de les classer. Il en résultait une zoologie complexe des différents types de tumeurs avec une grande variété de phénotypes de cellules cancéreuses. Il était surtout difficile de distinguer à partir de ces travaux entre la cause et la conséquence des maladies cancéreuses.

La découverte des gènes de cancer allait apporter un espoir de simplification.

Cette découverte est due à l'essor de la biologie moléculaire, qui était née dans l'étude des bactéries et des virus qui infectent ces bactéries.

Les résultats obtenus avec la bactérie *Escherichia Coli* avaient permis de forger un concept «un gène, une protéine, une fonction»... et par extension une maladie, un (ou plusieurs gènes) qui constituent autant de cibles thérapeutiques. Ce concept est bien illustré par l'hémoglobine : sa fonction est le transport de l'oxygène et la mutation d'un gène codant pour l'hémoglobine cause une maladie qu'on appelle thalassémie.

Au cours des années 1970, la recherche des gènes impliqués dans le cancer ressemblait fort à la recherche d'une aiguille dans une botte de foin. L'identification de ces gènes résulte de la convergence de trois voies d'approche différentes : l'étude des remaniements chromosomiques dans les tumeurs humaines, l'étude du génome (cinq ou six gènes) de petits virus causant très rapidement des tumeurs chez les animaux (poulets, souris) infectés, enfin la recherche de gènes capables de transformer le phénotype de cellules en culture. Ce qui est remarquable, c'est que ces trois approches ont permis de mettre le doigt sur les mêmes gènes nommés oncogènes dont la surexpression ou l'hyperactivité «*créait le cancer*». Quelques années plus tard étaient identifiés des anti-oncogènes dont l'absence ou l'inactivité «*créait le cancer*».

Ces travaux ont conduit à l'élaboration d'une *théorie unificatrice du cancer*, qui se résume ainsi : les oncogènes et anti-oncogènes sont peu nombreux, ils sont conservés au cours de l'évolution, ils jouent des rôles essentiels dans le contrôle de la prolifération cellulaire (accélérateurs ou freins). Selon cette conception, le développement embryonnaire est le déroulement d'une série de programmes d'expression des gènes contrôlés par des «key master genes»<sup>2</sup>. Le cancer, qui correspond à un développement anarchique des tissus, est une maladie de ces «key master genes» que sont les oncogènes et les anti-oncogènes.

Chaque point de cette théorie a été «invalidé» par les travaux qui ont suivi.

## Les oncogènes sont peu nombreux ?

Le nombre d'oncogènes était évalué à une centaine (sur 30,000 gènes) en 1980. Le nombre de gènes connus pour leur implication dans le développement cancéreux dépasse aujourd'hui le millier (plus de 350 fusions de gènes ont été identifiées en 2006<sup>3</sup> dans des tumeurs humaines).

## Les oncogènes sont essentiels ?

L'inactivation du premier oncogène identifié *src* n'est pas létale chez la souris. Certains gènes de ménage peuvent être

des oncogènes. *Ils jouent un rôle dans la prolifération*... et dans bien d'autres processus. On a pu écrire que l'oncogène Fos est activé «*quand on court le jogging*» ! Mais surtout le produit de ces gènes peut jouer le rôle d'accélérateur ou de frein selon le contexte, selon leur activité ou leur dose. Il y a des gènes qui sont membres à la fois du club des oncogènes et du club des anti-oncogènes.

## Les oncogènes sont la cause du cancer ?

Dans des modèles de souris transgéniques, on peut certes induire le développement d'une tumeur en activant l'oncogène Myc et faire régresser ensuite cette tumeur en inactivant cet oncogène. Mais dans les tumeurs humaines, il est difficile de distinguer entre cause et conséquence dans la mesure où les produits des oncogènes interviennent dans les boucles de rétroaction ; de la même façon dans notre société l'illettrisme est à la fois cause et conséquence de la pauvreté.

## La complexité est de retour

Dans les travaux mentionnés précédemment, les gènes et les cellules cancéreuses étaient au devant de la scène. D'autres travaux vont mettre en évidence le rôle que joue l'environnement dans le contrôle du destin d'une cellule cancéreuse (ou d'une cellule souche). Ce rôle n'était pas visible pour des chercheurs qui étudiaient des cellules cancéreuses en culture ! L'étude de modèles tumoraux chez la souris montre que la formation de nouveaux vaisseaux sanguins est souvent essentielle pour fournir l'oxygène et les éléments nutritifs nécessaires à la croissance d'une tumeur. Chez l'homme, l'IRM permet de visualiser de nombreuses microtumeurs qui resteraient dormantes faute de vascularisation.

Des travaux réalisés eux aussi dans les années 1970 ont montré que les cellules de tératocarcinome (une tumeur rare spontanée des testicules et des ovaires) mélangées à des cellules embryonnaires normales peuvent participer au développement d'un embryon chimère normal [2–4]. L'identité d'une cellule est définie par son environnement. En manipulant cet environnement, on peut «obliger» une cellule cancéreuse de la glande mammaire à adopter un phénotype normal. La dégradation de la matrice extracellulaire peut créer une instabilité génétique au début du développement de cancers mammaires chez la souris. Selon ce paradigme, certains auteurs ont écrit que le cancer était une maladie des interactions entre les cellules et leur environnement.

## L'interface biologie/nanotechnologie/informatique

Il y a environ dix ans, les outils fournis par les nanotechnologies et l'informatique ont introduit dans la biologie un changement d'échelle.

Nano fait référence à une longueur, le nanomètre, pour laquelle la matière est douée de propriétés nouvelles qui ne sont pas observables à l'échelle du micromètre ou du millimètre. On se souviendra que la «dimension» typique d'un atome est de 0,1 nm. Dans les années 1980, un cer-

<sup>2</sup> On peut imaginer la réaction des embryologistes à cette vision venue d'une discipline pour laquelle «ce qui est vrai pour *E. Coli* est vrai pour l'éléphant».

<sup>3</sup> <http://www.sanger.ac.uk/genetics/CGP/Census/>.

tain nombre de technologies nouvelles ont permis de « voir » la matière à cette échelle, de la manipuler, de mettre en évidence des propriétés nouvelles qui avaient été prédites par la mécanique quantique il y a 100 ans. L'expression « *Nanosciences* » a été popularisée plus récemment aux États-Unis par un groupe de lobbying pour faire contrepoids au lobby des biologistes qui raflaient tous les investissements publics de recherche avec leur programme de séquençage du génome humain. Beaucoup de chercheurs en physique des solides ou en chimie se sont alors rangés sous la bannière « *nano* » pour obtenir des crédits !

Les technologies évoquées ci-dessus sont la pointe avancée d'un ensemble de travaux menés par des physiciens, des ingénieurs et des industriels qui ont permis la miniaturisation des composants électroniques et l'intégration de millions de ces composants sur quelques millimètres carrés<sup>4</sup>.

Pour la biologie, ces nouvelles technologies ont permis le développement d'automates qui réalisent les expériences de biochimie (en particulier le séquençage de l'ADN), la miniaturisation de ces expériences (lab on chip), et avec l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs le succès de l'Human Genome Project en 2003<sup>5</sup>. Le séquençage du génome humain a été réalisé en 13 ans par un consortium de 20 Instituts dans le monde. Il a coûté trois milliards US \$. En 2008, le séquençage du génome de Craig Venter a coûté 100 fois moins cher. Grâce aux progrès technologiques basés sur des approches « *molécule unique* », des compagnies de biotechnologie ont pour objectif de fournir la séquence d'un individu pour 1000 \$. Toute une série d'autres études à grande échelle est devenue aujourd'hui possible grâce à ces outils plus petits, plus rapides, plus sensibles.

Les chercheurs sont submergés par l'avalanche de données produites par ces techniques « *à haut débit* ». Pour faire du sens, le challenge est celui de la *reconstruction*. « *Un tas de briques n'a jamais fait une maison* » (Henri Poincaré). Le séquençage du génome a produit un sac de farine disait Pierre Potier (Dr CNRS) : la question qui se pose, c'est comment faire du pain ?

Ces nouvelles technologies ont aussi permis la mise au point de nouveaux biocapteurs qui peuvent être implantés dans l'organisme pour fournir en direct des informations physiologiques (sucre dans le sang pour le diabétique). Des microsystèmes permettent de fournir des médicaments en fonction de ces informations. Beaucoup de laboratoires cherchent à reconstituer des tissus artificiels (rétine, muscle...), à réaliser des interfaces entre neurones et microcircuits électroniques pour « *voir les neurones rêver* » ou les stimuler.

Dans ce paragraphe consacré aux « *nouvelles* » technologies, il faut enfin mentionner le développement des techniques *d'imagerie moléculaire dans des cellules vivantes* qui ont révolutionné notre façon de voir le vivant. Les progrès de la physique (optique, détecteurs ultrasensibles), de l'informatique (stockage et traitement des données) et de la biologie (clonage de protéines fluorescentes issues d'animaux marins) permettent de voir dans des cellules vivantes des molécules d'intérêt, de suivre leurs déplacements, de mesurer leurs interactions et leur activité. Ces nouvelles techniques de microscopie moléculaire dans des cellules vivantes mettent en évidence le *caractère stochastique des événements moléculaires élémentaires* et en particulier de l'expression des gènes. Les cellules d'un même clone cellulaire se comportent différemment au niveau moléculaire !

On ne pouvait pas voir cela quand on travaillait sur un tissu entier ou sur une population cellulaire pour extraire ADN ou protéines. Des expériences de microcinéma avaient mis en évidence cette variabilité individuelle (fréquence de rotation des flagelles des bactéries, temps de division cellulaire), mais ces résultats étaient considérés comme secondaires pour les biologistes qui cherchaient des lois générales.

Ces résultats posent une série de nouvelles questions. Comment les cellules tolèrent, contrôlent et utilisent ce bruit, ces fluctuations ? Comment des « *programmes* » de développement embryonnaire robustes peuvent émerger à partir de ces événements élémentaires aléatoires ?

Ces travaux rappellent que la stabilité du vivant est de la même nature que la stabilité de la flamme ou du tourbillon. Ils remettent en cause la notion de déterminisme génétique<sup>6</sup> !

## Quelques questions éthiques

On a vu comment la recherche scientifique crée des nouveaux outils pour explorer le vivant, pour éventuellement l'exploiter ou le maîtriser. L'ambition première affichée par les chercheurs est d'aller toujours plus loin dans la recherche du savoir, d'avancer vers des champs inexplorés. C'est l'ambition du CNRS qui a voulu marquer dans son nouveau logo la formule « *dépasser les frontières* ».

Face à cette ambition, l'éthique est souvent perçue comme un garde fou, un ensemble de règles imposées aux chercheurs par les comités d'éthique. Plutôt que venir de l'extérieur, il me semble que la réflexion éthique peut émerger au cœur de la pratique scientifique. Les lignes

<sup>4</sup> Quelques chiffres pour illustrer la réduction des coûts des composants : un million de transistors coûtaient le prix d'une maison 100.000 € en 1973, 0,005€ en 2005, soit le prix d'un post-it. Pour 1000€ on faisait une opération de calcul par seconde en 1940, plus d'un milliard d'opérations par seconde aujourd'hui !.

<sup>5</sup> Il est intéressant de noter que le séquençage du génome humain a été justifié par la promesse de trouver dans le génome des nouvelles cibles thérapeutiques (on a vu la difficulté de valider ce concept dans le cas du cancer) et que c'est aujourd'hui la recherche des gènes impliqués dans le diabète et l'obésité qui fait la une des journaux, sans qu'on ait tiré la leçon des travaux sur le cancer.

<sup>6</sup> « La connaissance des... risques (*génétiques*) peut avoir un effet bénéfique, en nous permettant de modifier nos comportements pour éviter le déclenchement de la maladie. Cependant, cela mérite une analyse éclairée de la portée réelle des probabilités. Prenons à témoin l'exemple de la tabagie : la probabilité de déclarer un cancer du poumon est de 23 % pour les fumeurs à terrain génétique « favorable » (au cancer), contre 16 % pour les personnes « non à risque ». Mais pour les non-fumeurs, la probabilité tombe à 1 %, même pour les personnes dites à risque. *Dans ce cas, l'influence du comportement dépasse tant celle du terrain génétique que l'évaluation des risques semble vaine* ». Jacques van Helden « Qui lira notre avenir dans nos gènes ? » Lettre de l'ARB septembre 2008.

qui suivent tentent d'illustrer comment l'éthique *sollicite la créativité des chercheurs* pour penser la complexité du monde et du vivant.

Si on veut espérer comprendre un système vivant... ou le manipuler efficacement, il faut d'abord en apprécier toutes les dimensions et fixer les limites de son étude. Les chercheurs doivent donc reconnaître ces différentes dimensions et bien définir l'objet de leur recherche sur le vivant, entre la matière vivante et l'être vivant, entre le dur et le mou, le cristal et la fumée. En aval il faut définir ce qu'est la santé entre molécule (le cancer, c'est la maladie des gènes!), cellule, organe, tissu et organisme, entre l'individu, son mode de vie et son environnement qu'il transforme et qui le transforme<sup>7</sup>. Ces différentes dimensions sont bien discutées dans le cours de Dominique Boury et Daniel Breuil pour les maladies associées au vieillissement. Elles existent aussi dans le cancer ou dans l'obésité.

Face à la complexité de ce système vivant qu'il veut étudier, il est important pour un chercheur de bien identifier les limites de ses compétences (ce qui n'est pas trivial dans une société qui valorise l'excellence) et de réussir à associer des chercheurs de disciplines différentes pour repousser les limites de la connaissance (ce qui n'est pas trivial dans une société basée sur la compétition). Cette démarche suppose pour ces chercheurs de quitter le domaine qu'ils « maîtrisent », de faire confiance dans un discours qu'ils ne comprennent pas complètement, d'accorder des perspectives différentes : celles de physiciens à la recherche de lois générales, d'ingénieurs préoccupés par les challenges technologiques, ou de médecins qui font face à des individus singuliers... Le succès de cette démarche suppose aussi *l'équité dans le partage du pouvoir, des budgets et de la reconnaissance*!

Il est important d'identifier les limites des « modèles biologiques » utilisés dans l'étude des maladies humaines et d'étudier la façon dont on peut extrapoler du modèle animal à l'homme. Il faut enfin reconnaître les limites des outils utilisés : est-il possible d'observer un système biologique sans le perturber, comment quantifier le vivant ?

De son côté, la réflexion éthique doit prendre en compte notre ignorance à propos du vivant et son irréductible complexité. Avant de discuter sur le brevetage des gènes, il est utile de réfléchir sur ce qu'est un gène [5]. Avant de se demander s'il est licite d'utiliser des cellules souches embryonnaires pour soigner des malades, il faut évaluer les limites du concept de thérapie cellulaire. Il faut se souvenir que l'identité des cellules souches est définie par leur environnement et que certaines d'entre elles peuvent devenir cancéreuses.

La réflexion éthique doit aussi prendre en compte la situation des chercheurs, de plus en plus éloignés des expé-

riences réalisées par des plateaux techniques spécialisés ou par du personnel contractuel (post-docs ou doctorants). Soumis à la compétition pour publier. Soumis à la pression constante de l'évaluation qui déterminera le financement de leur labo et leur carrière alors que la fraude est aujourd'hui plus difficile à détecter. Soumis à la pression de la « valorisation » : si la force d'un général (chercheur), c'est de choisir son champ de bataille (recherche), on peut se demander qui détermine aujourd'hui ce champ de bataille (recherche) ?

La réflexion éthique en sciences se situe entre émerveillement, souffrance ou protestation.

- Émerveillement du chercheur qui réussit à distinguer un signal reproductible dans le bruit expérimental, qui réussit à faire du sens avec un résultat inattendu, qui observe la beauté du vivant, des molécules, des cellules et des organismes<sup>8</sup>.
- Protestation devant le « simplisme » des slogans portés par certains scientifiques et véhiculés par les médias sur la thérapie génique, « le gène médicament », ou la thérapie cellulaire<sup>9</sup>.
- Souffrance devant les difficultés internes de fonctionnement des institutions de recherche qui « visent l'excellence », qui veulent « contribuer à la solution des grandes questions globales et complexes touchant à l'avenir de la planète », et qui s'engagent dans des stratégies de défense du territoire lorsqu'elles sont en compétition pour l'allocation des ressources. Souffrance devant le gouffre qui sépare une recherche qui prétend « améliorer les performances humaines » et notre incapacité de fournir l'eau potable aux centaines de millions de personnes qui en sont privées, la sophistication des investissements sur la santé et les conduites à risque... Souffrance face à nos limites, à la vieillesse et la mort.

## Conclusion

Pour une vision multidimensionnelle du vivant.

L'évolution de la recherche rend possible et nécessaire le croisement des savoirs dans des lieux de rencontre et de travail en commun pour élaborer une vision multidimensionnelle du vivant. Cette élaboration impliquera de nouveaux acteurs qui disposent d'autres lunettes : lunettes au sens propre pour voir le vivant, mais aussi lunettes conceptuelles. Outils indispensables pour voir, mais aussi outils qui introduisent un biais dont celui qui les porte depuis longtemps n'a plus conscience.

<sup>7</sup> « Aux yeux de bien des malades, le terme guérir semble désigner une opération simple : faire disparaître le symptôme qui fait souffrir... La santé est elle la vie dans le silence des organes comme le disait le Dr René Leriche ? « Non ! l'inadaptation, l'inquiétude, la rumeur qui court dans le corps tacite sont déjà, sont souvent des signes de vie... Oui, l'angoisse est guide de vie et l'inquiétude annonce le renouveau... » écrit Michel Serres.

<sup>8</sup> « We hope that we shall also convey the sense of great mystery that surrounds the many problems that we do not yet know quite how to handle, the feeling of marvelous excitement that comes from the great achievements of today's cell biology and, last but not least, the logical as well as the optical beauty of cells ». Extrait de l'introduction de *Molecular Biology of the Cell*, (Édition Garlands, 1983).

<sup>9</sup> « Il y a en nous quelque chose qui proteste et remurmure contre le succès des entreprises réductionnistes ». Le Je-ne-sais-quoi et le Presque-rien, V.Jankélévitch.

Cette élaboration passe par une remise en cause de nos modèles culturels et rejoint l'éthique de la fragilité dont parlait Frédéric Worms. Qu'est ce qui fait la robustesse du vivant<sup>10</sup>, qu'est ce qui définit ses performances<sup>11</sup> : la stabilité de chacun de ses composants ou les interactions entre ses composants ? Quel statut donne t'on à l'imprévisibilité et aux terrae incognitae ?

## Remerciements

Je remercie Frédéric Worms et Eduardo dei Cas pour leur inspiration et leurs commentaires.

## Références

- [1] Bray D. Molecular networks: the top-down view. *Science* 2003;301:1864–5.
- [2] Mintz B, Illmensee K. Normal genetically mosaic mice produced from malignant teratocarcinoma cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 1975;72:3585–9.
- [3] Bissel M, Radisky G. Putting tumours into context. *Nat Rev Cancer* 2001;1:46–54.
- [4] Morange M. What history tells us. VII. Twenty-five years ago: the production of mouse embryonic stem cell. *J Biosci* 2006;31:537–41.
- [5] Noble D. Genes and causation. *Phil Trans R Soc A* 2008;366:3001–15.

<sup>10</sup> « L'extraordinaire réussite de l'être vivant, animal ou homme, subsistant et se perfectionnant en dépit de toutes les vicissitudes et de toutes les épreuves auxquelles il est exposé, a comme contrepartie un ajustement fort peu précis des mécanismes qui le composent : jamais chez le même sujet ou dans une même espèce chez plusieurs unités distinctes les excitations (les causes) n'ont les mêmes réponses (les effets). Le système nerveux défie toute analogie avec une installation électrique, la circulation du sang dans les vaisseaux n'est pas une affaire de plomberie, l'homéostasie, c'est à dire la fidélité à une norme moyenne, n'a qu'un lointain rapport avec l'asservissement des machines outils ... et pourtant électroniciens, mécaniciens des fluides, cybernéticiens jouent un rôle croissant dans l'acquisition de nos connaissances sur l'homme. Il n'en reste pas moins que beaucoup de lecteurs seraient, quoiqu'ils en disent, rassurés de savoir qu'ils appartiennent les uns à une série sortie d'usine avec ses caractéristiques notées dans un dépliant, les autres à une marque concurrente, *avec les avantages que cette connaissance impliquerait pour les réparations à venir*. Une telle idéologie d'ailleurs contamine certains groupes dirigeants, puisqu'il est évident que les réformateurs de la médecine sociale alignent souvent leurs projets sur les méthodes diagnostiques et thérapeutiques de Volkswagen, pour ne citer qu'une entreprise ayant rigoureusement standardisé la surveillance régulière de ses produits » ... Elie Bernard Weil. *L'arc et la corde*. Editions Maloine, 1975.

<sup>11</sup> « L'individu dont le transhumanisme veut améliorer les performances, cet individu qui n'est défini qu'instrumentalement, ce calculateur, c'est celui qu'Amartya Sen désigne comme un « idiot rationnel », l'agent économique tel que le conçoivent les théories néo-classiques. Il est notoirement asocial. Il ne rencontre les autres que comme des compétiteurs ou des concurrents. ... L'individu isolé n'existe pas. C'est une fiction rationnelle d'un certain type d'économie. D'où une vision instrumentale des sciences ». Catherine Larrère dans *BioNanoEthique*, Editions Vuibert 2008.