



CERISY

Le **Centre Culturel International de Cerisy** propose, chaque année, de fin mai à début octobre, dans le cadre accueillant d'un château construit au début du XVII^e siècle, monument historique, des rencontres réunissant artistes, chercheurs, enseignants, étudiants, acteurs économiques et sociaux, mais aussi un vaste public intéressé par les échanges culturels et scientifiques.

Une longue tradition culturelle

– Entre 1910 et 1939, Paul Desjardins organise à l'abbaye de Pontigny les célèbres **décades**, qui réunissent d'éminentes personnalités pour débattre de thèmes littéraires, sociaux, politiques.

– En 1952, Anne Heurgon-Desjardins, remettant le château en état, crée le **Centre Culturel** et poursuit, en lui donnant sa marque personnelle, l'œuvre de son père.

– De 1977 à 2006, ses filles, Catherine Peyrou et Edith Heurgon, reprennent le flambeau et donnent une nouvelle ampleur aux activités.

– Aujourd'hui, après la disparition de Catherine, puis celle de Jacques Peyrou, Cerisy continue sous la direction d'Edith Heurgon et de Dominique Peyrou, avec le concours d'Anne Peyrou-Bas et de Christian Peyrou, également groupés dans la Société civile du château de Cerisy, ainsi que d'une équipe efficace et dévouée, animée par Philippe Kister.

Un même projet original

– Accueillir dans un cadre prestigieux, éloigné des agitations urbaines, pendant une période assez longue, des personnes qu'anime un même attrait pour les échanges, afin que, dans la réflexion commune, s'inventent des idées neuves et se tissent des liens durables.

– La société civile met gracieusement les lieux à la disposition de l'**Association des Amis de Pontigny-Cerisy**, sans but lucratif et reconnue d'utilité publique, présidée actuellement par Jean-Baptiste de Foucauld, inspecteur général des finances honoraire.

Une régulière action soutenue

– Le **Centre Culturel**, principal moyen d'action de l'Association, a organisé près de **750 colloques** abordant, en toute indépendance d'esprit, les thèmes les plus divers. Ces colloques ont donné lieu, chez divers éditeurs, à la publication de près de **550 ouvrages**.

– Le **Centre National du Livre** assure une aide continue pour l'organisation et l'édition des colloques. Les **collectivités territoriales** (Région Normandie, Conseil départemental de la Manche, Coutances Mer et Bocage) et la **Direction régionale des affaires culturelles** apportent leur soutien au Centre, qui organise, en outre, avec les **Universités de Caen** et de **Rennes 2**, des rencontres sur des thèmes concernant la Normandie et le Grand Ouest.

– Un **Cercle des Partenaires**, formé d'entreprises, de collectivités locales et d'organismes publics, soutient, voire initie, des rencontres de **prospective** sur les principaux **enjeux contemporains**.

Depuis 2012, une nouvelle salle de conférences, moderne et accessible, propose une formule nouvelle : les **Entretiens de la Laiterie**, journées d'échanges et de débats, à l'initiative des partenaires de l'Association.

Renseignements :

CCIC, Le Château, 50210 CERISY-LA-SALLE, FRANCE

Tél. : 02 33 46 91 66

Fax. : 02 33 46 11 39

Site internet : www.ccic-cerisy.asso.fr ; Courriel : info.cerisy@ccic-cerisy.asso.fr



COLLOQUES DE CERISY (CHOIX DE PUBLICATIONS)

- Les animaux : deux ou trois choses que nous savons d'eux*, Hermann, 2014.
Déterminismes et complexités (autour d'Henri Atlan), La Découverte, 2008.
L'auto-organisation : de la physique au politique, Le Seuil, 1983.
Bachelard, UGE, 10-18, réédition, Hermann, 2011.
Gaston Bachelard : science et poétique, une nouvelle éthique, Hermann, 2013.
Yves Bonnefoy : poésie, recherche et savoirs, Hermann, 2007.
Civilisations mondialisées ? De l'éthologie à la prospective, L'Aube, 2004.
Les nouveaux régimes de la conception, réédition, Hermann, 2014.
Connaissance, activité, organisation, La Découverte, 2005.
Le labyrinthe du continu, Springer-Verlag, 1992.
Jean-Pierre Dupuy : l'œil du cyclone, Carnets nord, 2008.
L'économie de la connaissance et ses territoires, Hermann, 2010.
L'entreprise, point aveugle du savoir, Editions Sciences humaines, 2014.
Gestes spéculatifs, Les presses du réel, 2015.
Lieux et figures de l'imaginaire, Hermann, 2017.
Imaginaire, industrie, innovation, Manucius, 2016.
L'industrie, notre avenir, Eyrolles, 2015.
Intelligence de la complexité, L'Aube, réédition Hermann, 2013.
One Hundred Years of Intuitionism (1907-2007), Birkhäuser Verlag AG, 2008.
Renouveau des jardins : clés pour un monde durable ?, Hermann, 2014.
Des possibles de la pensée (itinéraire philosophique de F. Jullien), Hermann, 2014.
Logique de l'espace, esprit des lieux, Belin, 2000.
Ouvrir la logique au monde, Hermann, 2009.
Nietzsche aujourd'hui ? 1. Intensités, 2. Passion, Hermann 2011.
Nourritures jardinières dans les sociétés urbanisées, Hermann, 2016.
Les sens du mouvement, Belin, 2004.
S.I.E.C.L.E., 100 ans de rencontres : Pontigny, Cerisy, IMEC, 2005.

- De Pontigny à Cerisy : des lieux pour « penser avec ensemble »*, Hermann, 2011.
Temps et devenir (autour d'Ilya Prigogine), Patiño, réédition, Hermann, 2012.
Du risque à la menace : penser la catastrophe, PUF, 2013.
La démocratie à l'œuvre : autour de Pierre Rosanvallon, Seuil, 2015.
Les nouvelles raisons du Savoir, L'Aube, 2002.
Introduction aux sciences cognitives, Gallimard/Folio, 1993, réédition 2004.
La sérendipité. Le hasard heureux, Hermann, 2011.
Gilbert Simondon ou l'invention du futur, Klincksieck, 2016.
L'empreinte de la technique. Ethnotechnologie prospective, L'Harmattan, 2010.
Logos et théorie des catastrophes (autour de René Thom), Patiño, 1988.
L'âge de la transition, Les petits matins, 2016.
Transplanter : une approche transdisciplinaire, Hermann, 2014.
Villes, territoires, réversibilités, Hermann, 2013.
Le moment du Vivant, Puf, 2016.

INTRODUCTION

Le pari des organisateurs de la semaine Cerisy SVSI (Sciences de la vie, sciences de l'information) était que des chercheurs de très haut niveau et venant de disciplines différentes, des sciences de la vie d'une part et des sciences de l'information d'autre part, auraient matière à échanger dans ce lieu exceptionnellement propice à la réflexion qu'est le château de Cerisy, et seraient heureux de connaître leurs pensées respectives sur la question fondamentale des rapports entre la vie et cet élément immatériel et encore plus fugace que la vie, qu'on appelle l'information. Plusieurs philosophes et éthologues nous ont aussi apporté leurs visions. Nous espérons que vous conviendrez, en lisant ce livre, que le pari a été gagné.

Le livre commence par poser la question du rapport entre l'information contenue dans le génome et le phénotype. Question ardue qui n'appelle pas de réponse simple et univoque comme on aurait pu le penser après la découverte de la double hélice d'ADN. En effet, Antonio Lazcano nous a rappelé que, peu après sa découverte, Crick avait dit à son fils : « Le gène est un code. » Sous-entendu, la cellule suit le programme écrit à quatre lettres qu'est le génome. Las, ce n'est pas si simple, car on sait bien maintenant que la suite du processus qui mène du génome à l'individu n'a rien d'un long fleuve tranquille. Depuis les années 60, on a commencé à comprendre que l'environnement agit sur l'expression des gènes et que, par conséquent, en un certain sens, l'environnement influence sur le phénotype. Avec les progrès de l'épigénétique, il est maintenant bien établi que la méthylation agit sur l'activation des gènes et que, par conséquent, un même génome peut engendrer différents traits génotypiques.

Rappelons que le support du gène¹ contient des suites de nucléotides qui assemblées trois par trois dans l'ARN messager (transcrit à partir de l'ADN) sont les « signaux de correspondance » pour tel ou tel ARN de transfert (ARNt) porteur lui-même d'un acide aminé. Transportés par l'ARNt au niveau du ribosome, les acides aminés se lient les uns aux autres formant ainsi une protéine. Ce système de correspondance, que l'on nomme « code génétique », est « globalement déterministe », mais reste soumis, à chaque étape, aux aléas de la physicochimie des molécules et au fait qu'un ARN de transfert peut reconnaître plusieurs bases nucléiques bien définies (*wobble pairing*).

On est loin du principe de fonctionnement d'un ordinateur tel que posé par von Neumann, à savoir une suite d'instructions (programme) transformée par un compilateur en langage machine qui commande des opérations élémentaires sur les données (*input*) et produit un résultat (*output*) ou une action. Si l'on cherche à expliciter l'analogie, on dira que l'ADN est le programme (les instructions) ; un compilateur, l'ARN de transfert, lit les instructions qui s'effectuent dans une machine à assembler (le ribosome), qui assemble le matériel (les acides aminés). Les protéines représentent le résultat du programme. À la différence du programme de von Neumann, comme on l'a vu pendant ce colloque, il y a beaucoup d'aléas qui interviennent entre l'ADN et les protéines. Ce serait comme un programme informatique, *horresco referens*, qui sauterait ou modifierait aléatoirement quelques instructions, un compilateur tellement mal fait qu'il serait sensible aux interventions externes, mais tellement redondant qu'il finirait toujours par produire des instructions-machine et donc un résultat !

Pour en revenir à la biologie, la première chose que nous a montrée Bernard Dujon c'est que le génome contient beaucoup d'autres « informations » que les bases nucléiques utiles à sa fonction immédiate. Il contient d'anciennes séquences « reliques », des parties redondantes, des parties oubliées et des morceaux de gènes d'origine indéterminée. La présentation de Bernard Dujon donne une idée de l'immense fourre-tout qu'est le génome. Si les programmes informatiques étaient de ce style, aucune application ne marcherait !

Bernard Dujon nous a également montré que l'évolution fonctionne surtout par des événements de régression, ce qui est loin des notions de « progrès » et de phylums linéaires souvent invoquées dans une perspective déterministe-finaliste et aussi dans les représentations graphiques de l'évolution. Bernard Dujon nous a donné un simple chiffre qui montre que la taille du génome ne préjuge pas de la

1. On ne parle ici que des gènes codant des protéines, car il existe d'autres gènes dont les produits restent des ARN très importants au niveau fonctionnel dans les cellules, mais qui ne sont jamais traduits en protéines.

place dans l'évolution ou de la complexité des organismes, en effet celui de la paramécie a 49 000 gènes, celui de l'homo sapiens 23 000.

Les présentations de Guiseppe Zaccai, Marie-Christine Maurel, Ada Yonath, d'Andras Paldi, Alessandra Carbone et Frédéric Ducongé, sont venues montrer toute la complexité des opérations qui font passer de l'ADN aux protéines et au phénotype. Le passage ADN → ARN → protéines → phénotype, même s'il est globalement déterministe, connaît d'indéniables variations à cause du milieu externe et du hasard interne dû aux inévitables anomalies survenant dans un processus aussi complexe. Ainsi, à chaque passage de l'ADN à l'ARN, de l'ARN aux protéines, des protéines au phénotype, des informations extérieures à celles contenues dans les séquences du génome interviennent. L'environnement intervient dans le passage de l'ADN à l'ARN en agissant sur l'expression des gènes, l'environnement externe à l'organisme, mais aussi l'environnement cellulaire. En particulier, plusieurs exposés mettent en évidence le rôle des contraintes physiques, de la thermodynamique et de la dynamique des arrangements et appariements moléculaires (exposés de Guiseppe Zaccai, Alessandra Carbone et Vincent Fleury). Antonio Lazcano, de son côté, nous montre bien le rôle essentiel de l'ARN dans l'origine de la vie. Pour finir, Jean Fourtaux nous dresse un rapide tableau de l'évolution dont la richesse est illustrée par la prodigieuse diversité de la vie planctonique, découverte par les expéditions « Tara », que nous a présentée Christian Sardet.

La deuxième partie des interventions tourne autour de la notion de variabilité, de hasard, de probabilité et d'espèce. Comme l'a écrit Andras Paldi : « La variation est une propriété intrinsèque du vivant [...]. C'est la stabilité qu'il faut expliquer. » Point de vue partagé par Philippe Kourilsky qui revient sur les conséquences pour l'évolution du principe de variation, élément central de la présentation de Maël Montévil, Guiseppe Longo et Ana Soto qui rappellent aussi, selon les mots de Philippe Kourilsky, qu'il s'agit de « liberté sous contraintes ». On oublie souvent, comme Guillaume Lecointre nous le remémore opportunément, que la préservation des espèces à travers la variabilité des individus est un des concepts sous-tendant le fameux livre de Darwin sur l'origine des espèces. Il faut bien dire que le rôle du hasard en biologie est souvent mal compris, alors que dire des probabilités ? C'est un des sujets abordés par Cédric Villani.

Si la variabilité est une donnée intrinsèque de la vie, il n'est pas étonnant que la notion d'espèce devienne difficile à définir comme le montre Philippe Grandcolas. L'informatique nous enseigne que la classe, comme l'espèce, est une catégorie (Guillaume Lecointre) ou une représentation, selon le terme utilisé par Kavé Salamatian, utile pour simplifier le travail des programmeurs ou des scientifiques. Nous sommes en plein nominalisme comme le rappelle Guillaume Lecointre. Mais catégorie ou espèce ne sont que des simplifications, sans existence réelle, et Kavé Salamatian nous met en garde contre la tentation (de Babel) de considérer

l'informatique comme une représentation universelle, ce qui, à son sens, ne peut être que très réducteur. Pour éviter une catégorisation en intension, il faudrait énumérer tous les éléments de la catégorie, par exemple tous les éléphants répertoriés par leur puce électronique. C'est justement cette énumération qu'on veut éviter, bien qu'elle ne soit plus impossible pour certaines espèces en voie de raréfaction ! Pour en revenir à la notion d'espèce, il n'est pas étonnant que plusieurs exposés reviennent sur la question (Philippe Grandcolas, Régine Vignes-Lebbe, Guillaume Lecointre). Si c'est si compliqué, c'est justement parce qu'on ne peut pas dire qu'il y a une correspondance exacte entre le génome et l'espèce. Bernard Dujon nous rappelle que les génomes de deux représentants d'une même espèce ne sont pas strictement identiques, ils ont cependant en commun environ 95 % des paires de base.

Les informaticiens ont une autre façon de voir le programme qui consiste à l'interpréter comme une fonction qui associe une sortie (*output*) à toute entrée (*input*) de façon déterministe en suivant un algorithme plus ou moins compliqué. **A une entrée donnée, quels que soient la machine et l'environnement, la sortie sera toujours la même.** Comme le fait remarquer Gérard Berry, ce qui caractérise l'algorithme c'est d'être indépendant de la machine, comme l'information est indépendante du support. L'algorithme est non substantiel selon l'expression de Heinz Wismann. Ce dernier explique comment la notion de fonction est née au Moyen Age pour permettre la transmission de droits ecclésiastiques à la mort du titulaire, la fonction épiscopale par exemple. Il y a une dialectique entre l'asubstantialité et l'incorporation qui rappelle la matérialisation de la fonction-programme sur une machine quelconque. Cédric Villani revient sur cette notion importante de fonction en s'interrogeant sur cette fonction très particulière qui s'exprime par un réseau de neurones, fonction qui n'est ni analytique, ni définissable en extension (comme la fonction d'un évêque) parce qu'elle contient plusieurs millions de paramètres. Quel statut épistémologique donner à de telles fonctions qui n'expliquent rien, mais sont maintenant massivement utilisées ?

La propriété de non-dépendance à un support de l'information, fait que, comme l'illustre Gérard Berry dans son exposé, les algorithmes sont partout, y compris dans les sciences de la vie (images, représentations 3-dimensionnelles, modélisation). Même gigantesques, les bases de données ne créent pas de connaissances ni de bonnes représentations sans algorithmes (Maël Montévil et Guiseppa Longo, Régine Vignes Lebbe, Cédric Villani). Cependant, la modélisation en sciences de la vie pose des problèmes très particuliers, car la vie n'a que de très lointains rapports avec les automates de vie artificielle décrits par Hugues Bersini, même si des convergences de forme peuvent être spectaculaires. La vie n'est pas totalement « déterministe » au sens usuel du terme. Elle est beaucoup plus « analogique » que discrète. D'où le grand intérêt d'une recherche sur des simulateurs analogiques tels que présentés par François Fages et Guillaume Le Guludec. D'où l'importance aussi

des reconstitutions sur ordinateurs des réactions chimiques (Marco Saitta) qui apportent de précieuses lumières sur les réactions prébiotiques.

Si l'on revient à la cellule, sans aucun doute exprime-t-elle ses gènes, mais avec une variabilité suffisante pour que l'on ne puisse pas sérieusement soutenir l'analogie avec un programme informatique. C'est le retour de la fonction, car si la molécule d'ADN est parfaitement définie au niveau chimique, elle se fait, dans la cellule, fonction soumise aux aléas de toutes les autres molécules présentes dans la cellule, à la différence du programme informatique qui est aussi fonction, mais ne connaît pas d'aléas, juste des erreurs éventuelles ! C'est précisément la conservation dans la variabilité qui fait que la cellule diffère de la machine. La machine aurait plutôt pour devise : « La conservation par l'immutabilité. » Cédric Villani, de son côté, insiste aussi sur les différences entre la biologie et les mathématiques en tant que sciences.

Et cependant, le processus de reproduction vu comme un tout est robuste, la levure fille ressemble à la levure mère et assume les mêmes fonctions, la drosophile de nième génération ressemble comme deux gouttes d'eau à son lointain ancêtre. D'ailleurs, on peut bien dire comme une goutte d'eau ressemble à une autre, c'est-à-dire avec beaucoup de différences au niveau micro et nano. La vie est stable dans sa variation (Guillaume Lecointre), c'est-à-dire que sa variabilité est la source même de sa robustesse. Dans toutes ces protéines plus ou moins réussies, plus ou moins repliées, il en aura toujours, ou très souvent une, pour s'accrocher au bon endroit comme nous l'a montré Alessandra Carbone.

Un survol des présentations de la semaine conduit à l'idée que l'émergence de la vie et son développement sont le résultat d'un tâtonnement permanent, dénué de sens, dans lequel ce qui « marche » le mieux a des chances de supplanter les autres habitants de la niche et de durer ensuite tant qu'il y a des ressources nutritives dans celle-ci. Comme nous l'a dit Giuseppe Zaccai, « en physique il y a des lois, en biologie il n'y a que des exceptions ».

On reboucle avec le darwinisme à ce stade, mais au sein de l'organisme au niveau des cellules, ce darwinisme cellulaire ouvre des perspectives thérapeutiques dans la lutte contre le cancer comme l'indique Guillaume Lecointre. Mais comme le dit Philippe Kourilsky, le tâtonnement a ses règles (que nous venons d'évoquer) et ses contraintes (en particulier celles du milieu). Il faut donc compléter la phrase de Giuseppe Zaccai en disant que les exceptions obéissent cependant aux lois et subissent les contraintes.

Du côté de l'évolution, comme évoqué par Bernard Dujon, il y a beaucoup de destructions et de créations d'espèces par crise. L'analogie qui vient à l'esprit est celle de la destruction créatrice de Schumpeter. Si l'on veut se raccrocher à

l'informatique, ce sont à des algorithmes de type recuit simulé ou à des algorithmes justement nommés génétiques que fait penser l'évolution. On optimise localement et, de temps en temps, on bouscule le système de façon aléatoire, pour éviter de se trouver piégé dans un minimum local (traduisons une impasse évolutive). Cédric Villani évoque à ce sujet l'algorithme « Metropolis » qui est un précurseur des algorithmes génétiques. Mais il souligne aussi les limitations des simulations et des algorithmes de type Monte Carlo : qu'est-ce qu'on comprend finalement, quand on n'a pas de modèle ?

Entre l'ADN et l'individu, il y a de multiples aléas, ce qui amène à la question de l'individuation dans une perspective simondonnienne. Cette réflexion est introduite par Vincent Bontems. Dans le processus d'individuation, plusieurs présentations insistent sur le rôle de l'interaction et de l'apprentissage. Ainsi Pierre-Yves Oudeyer illustre le rôle de l'interaction avec l'environnement dans l'apprentissage, et Dominique Guillo introduit la notion d'interaction interspécifique et de la transmission du savoir associé. Mathieu Lihoreau, Jean-Claude Barrey et l'équipe Pedro Ferrandiz, Michel Duhamel et Joël Sternheimer remettent ces processus d'échanges dans une perspective écologique et éthologique.

Des échanges si riches entre les différentes disciplines conduisent à des interrogations cosmiques (Michel Cassé) et philosophiques sur les rôles des organismes informationnels (« orins ») vivants et artificiels peuplant l'infosphère (Jean-Gabriel Ganascia). Les philosophes s'interrogent sur la possibilité de créer des orins ayant les attributs de la vie : est-ce faisable ? Souhaitable ? Les réponses de Bernadette Bensaude-Vincent et Jean-Michel Besnier sont clairement et résolument négatives. Comme nous le rappelle, dans une tradition philosophique bien établie, Jean-Michel Besnier, l'humanisme c'est le pouvoir de dire « non ». A l'issue de ce colloque, on aurait envie d'ajouter que l'individuation est, en ce sens, le passage obligé de l'humanisme et que ce pouvoir de dire « non » commence dans la cellule par la possibilité de ne pas obéir entièrement au gène. De ce seul fait, la cellule n'est définitivement pas un automate.

De façon métaphorique, disons que la vie apparaît comme un tâtonnement génial, un bricolage intensif fluctuant au gré de la sélection darwinienne et d'interactions aléatoires dans un environnement limité et instable. On est très loin d'un programme, mais ce qui apparaît décisif c'est qu'il est tout aussi important de posséder l'information que la matière et que l'information ne se lit pas de la même façon à chaque niveau. Au niveau du génome et de la cellule, il y a une information qui ressemble à un code, mais qui n'en est pas un dans la mesure où son exécution n'est ni impérative, ni sûre. C'est le passage de l'ADN au phénotype et, enfin, à ce qui caractérise l'espèce, qui fait l'objet de la première partie des actes : *Du gène à l'espèce*.

La vision informatique s'articule autour de la notion d'algorithme comme expliqué par Gérard Berry. L'algorithme ne varie pas (ou alors en fonction d'un autre algorithme) ce qui le différencie radicalement du vivant. Ne variant pas, il ne s'individualise pas et cela conduit à la réflexion sur la notion d'individuation et de singularité individuelle dans les sciences de la vie. Cela trace une frontière entre automate et vivant, même si ce sont tous des organismes informationnels qui interagissent dans l'infosphère. L'interaction devient alors un concept central de construction des connaissances. *Du programme à la vie* en passant par l'individuation, l'interaction et la philosophie, tel est le fil conducteur de la seconde partie de ces actes.

Remerciements

Outre les innombrables encouragements et soutiens individuels, les organisateurs tiennent à remercier les organismes suivants qui ont apporté un soutien sans lequel le colloque n'aurait pas pu se tenir : Électricité de France (Région parisienne), le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA), l'Association Reso, la Délégation générale à la langue française et aux langues de France (DGLFLF), le Centre des monuments nationaux (Administration de l'Abbaye du Mont Saint-Michel) et le groupe ISTE-Éditions.