

Le Larsim, un laboratoire de l'Irfu au cœur des missions du CEA

À l'origine de toute connaissance scientifique, une question, un « Pourquoi? ».

Les interrogations sur l'univers sont celles posées sur l'espace et ses limites, l'infini et le temps, la matière des choses et des étoiles. *Pourquoi?* D'emblée, la vision des phénomènes de physique nous plonge dans les questions philosophiques, qui motivent ensuite nos recherches sur les lois de l'univers et la genèse des particules. Gaston Bachelard déclarait : « *S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique* ». Il expliquait que « *Le réel n'est jamais "ce qu'on pourrait croire" mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* »*. Ces questions sur les observables et leurs interprétations, ainsi que sur nos connaissances et leurs limites, composent la démarche scientifique. L'examen de l'évolution des expériences et des idées, leur mise en perspective, donnent accès à la compréhension de l'élaboration des connaissances ainsi qu'aux conditions d'émergence des progrès scientifiques et techniques. Ces études font appel à l'expertise de physiciens-philosophes ; au CEA, ils constituent un groupe qui a fondé en 2007 le Larsim, **Laboratoire de Recherche sur les Sciences de la Matière**, ancré depuis 2015 à l'Irfu. Ce numéro a pour objectif d'illustrer ses activités et ses interactions au sein de l'Irfu, depuis les réflexions pour revisiter concepts et pratiques, jusqu'à la mise en œuvre des expériences et des projets techniques.

Valérie Lapoux

« La terre est bleue comme une orange
jamais une erreur les mots ne mentent pas. »

Paul Eluard

- ♦ **Une présentation du Larsim**, (p. 2), l'Irfu et **ScintillationS** (p. 3)
- ♦ **L'au-delà des théories de physique**, Nouveaux modèles ou nouvelles particules? (p. 4)
- ♦ Notre regard sur la **mécanique quantique** change (p. 5)
- ♦ Questions croisées à propos du **boson de Higgs** (p. 6)
- ♦ **Mécanologie et méthodologie de l'instrumentation** (p. 7-9), *Projet ExplorNova* (p. 8)
- ♦ Les **ateliers physique-philosophie** (p. 10-11), **l'ESNT**
- ♦ **Comment transmettre et diffuser les connaissances scientifiques?** (p. 12-14) ♦ **Écrire la science?** (p. 12) Pourquoi si **noire?** (p. 12) ♦ **Questions d'éthique** (p. 13)
- ♦ Sciences et société : quel **projet pour la cité?** (p. 13)
- ♦ Une **éducation à la science** : les MOOCs (p. 14)
- ♦ **Art(s) et Science(s)** (p. 15)
- ♦ **L'Irfu à l'affiche!** (p. 16)

* Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique* (Librairie philosophique Vrin, 1999, 1^{ère} éd. 1938).



Une présentation du Larsim

Par Etienne Klein

Sur toutes les pages lues
Sur toutes les pages blanches
Pierre sang papier ou cendre
J'écris ton nom...

Liberté, Paul Eluard (1895-1952)

Le Larsim est né en 2007, au CEA-Saclay, sur son site de l'Orme des Merisiers, en conséquence d'une simple phrase : travailler sur la science, c'est travailler pour la science.

Aujourd'hui, chacun le voit bien, la physique et la philosophie (y compris la philosophie dite « des sciences ») sont deux disciplines assez bien séparées, au moins dans la plupart des cursus universitaires. Cette indépendance relative ne semblant guère affecter leurs progressions respectives, il n'y a pas lieu de la remettre en cause, d'autant qu'en apparence la démarche et les objectifs des sciences n'ont guère à voir avec ceux de la philosophie. On pourrait même aller jusqu'à défendre l'idée qu'il s'agit de deux modes presque opposés, étrangers l'un à l'autre, d'exercice de l'activité intellectuelle, qui ne traitent pas des mêmes problèmes, ne mettent pas en jeu les mêmes raisonnements ou facultés, ne reposent pas sur le même type d'organisation sociale, ne répondent pas aux mêmes finalités et ne sont pas entretenus de la même manière par la société. Il reste que, tout en étant différents, ces deux modes apparaissent, sous un certain angle, très semblables : une même visée - la connaissance au sens large du terme - les anime, de sorte que ces deux activités, aussi éloignées et hétérogènes soient-elles, communiquent. On constate d'ailleurs que leur dialogue, lorsqu'il est bien mené, a l'avantage d'offrir à la philosophie l'opportunité d'un renouvellement de ses problématiques et que, symétriquement, il donne aux sciences, guettées par les risques de l'hyperspécialisation, l'occasion d'entretenir leur créativité conceptuelle, de mieux penser leurs avancées, et peut-être aussi de connecter ces dernières à l'histoire des idées.

Un lien fort, devenu perceptible depuis une trentaine d'années, relie déjà l'épistémologie à l'éthique, en raison de l'hybridation de la science et de la technologie, notamment dans le domaine des sciences de la vie et de la médecine. À ce lien récent de l'épistémologie (entendue comme description aussi proche que possible du contenu effectif des sciences, de leurs progrès et de leurs orientations) et de l'éthique, vient s'ajouter, en une sorte de triade, la réflexion sur le thème « sciences et société », qui ne cesse de s'amplifier. Épistémologie, éthique et sciences sociales sont ainsi conviées dans la réflexion contemporaine à un effort de compréhension mutuelle et d'intégration sans précédent.

« Les plus grandes avancées de la physique concernant le temps, le vide, l'univers obligent parfois une part de la réflexion philosophique à ouvrir de nouveaux chemins de pensée. »

Depuis sa création, le Larsim y contribue activement en questionnant les fondements de la physique, les limites des théories, ou bien encore les modèles et les pratiques scientifiques et techniques.



Mais il y a une autre chose, que le Larsim peut bien saisir du fait de son appartenance à la Direction de la Recherche Fondamentale* : on ne peut plus guère contester qu'il existe des situations dans lesquelles les sciences fondamentales – et notamment la physique – permettent de faire des « découvertes philosophiques négatives », pour reprendre l'expression de Maurice Merleau-Ponty¹. Que faut-il entendre par là ? Que certains de leurs résultats ou arguments peuvent déplacer les termes en lesquels certaines questions philosophiques se posent, apporter des contraintes, et ainsi s'inviter dans des débats qui leur sont a priori extérieurs. Songeons à la question du temps : elle ne saurait plus être traitée, même dans sa composante purement philosophique, comme si la théorie de la relativité d'Einstein n'avait pas largement « fait ses preuves ». De même, il serait intellectuellement discutable de prétendre aborder philosophiquement la question du « réel » sans tenir compte des leçons de la physique quantique, qui sont, en la matière, à la fois spectaculaires et contraignantes. Ou encore de penser la matière comme si le boson de Higgs, dont l'existence désolidarise les concepts de matière et de masse, n'avait pas été récemment détecté. De façon générale, lorsqu'on les considère à leur juste hauteur, les plus grandes avancées de la physique concernant le temps, le vide, l'univers et son contenu obligent une part de la réflexion philosophique à se remobiliser, et, parfois même, à ouvrir de nouveaux chemins de pensée.

¹Maurice Merleau-Ponty, *La Nature. Notes - Cours du Collège de France*, Paris, Seuil, 1995, p. 68.

* (NdlR) « sigles et historiques » ou « métriques et espace-temps des directions au CEA ». Le CEA, Commissariat à l'Énergie Atomique (depuis 2010, à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives), regroupe, depuis le 1^{er} janvier 2016, sous sa direction de Recherche Fondamentale (DRF), deux pôles : les ex-Directions des Sciences de la Matière (DSM) et des Sciences de la Vie (DSV). Leurs instituts sont rattachés à la DRF, comme l'Irfu de la DSM, auquel appartient le Larsim depuis 2015, après avoir été dans un autre institut de la DSM, l'Iramis (Institut Rayonnement Matière de Saclay).

CEA : <http://www.cea.fr> - DRF : <http://ceasciences.fr/> - Irfu : <http://irfu.cea.fr>



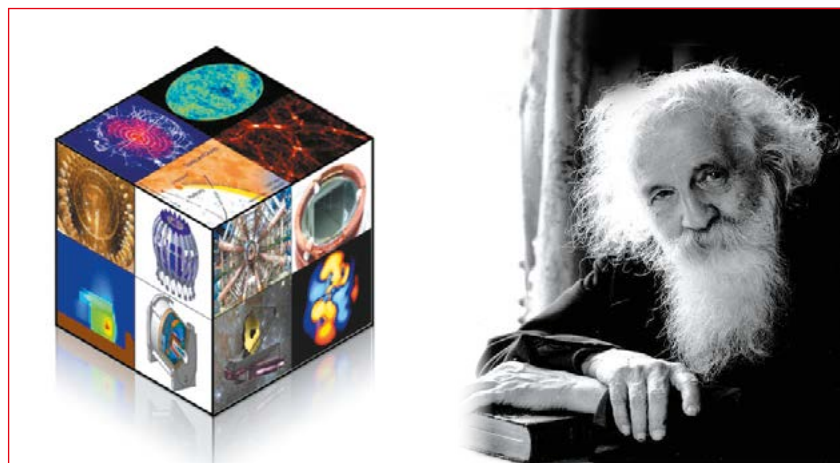
Sur les formes scintillantes
Sur les cloches des couleurs
Sur la vérité physique
J'écris ton nom

Liberté, Poésies et vérités (1942)



Mais il va de soi que pour pouvoir discuter avec les philosophes des découvertes philosophiques négatives en provenance de la physique, il faut préalablement rendre accessibles les avancées de cette dernière, c'est-à-dire les « traduire », d'une certaine façon, en un langage dont les non-physiciens puissent se saisir au prix d'un minimum de malentendus. Pour cela, une sorte de « saut » doit être effectué, un saut qui n'a rien à voir avec le saut à la perche où le sauteur, sauf accident, est le même à l'arrivée qu'avant. Le saut dont il s'agit ici ne peut être un simple déplacement : ce doit être une *transformation*. Il ne s'agit pas ici d'engager quelque variation nouvelle sur le thème rebattu de « l'incommunicabilité » entre les sciences et les langues vernaculaires, ou entre les théories les plus abstraites et les sciences les plus appliquées, seulement de faire remarquer que la question de la traduction « *n'est nullement ce petit événement inoffensif pour lequel on la prend encore de nos jours* »², pour reprendre les mots de Heidegger. La traduction, de quelque type qu'elle soit, est à l'évidence une activité proche de la pensée. S'agissant de la traduction de la physique - sa mise en phrases dépourvues d'équations mais si possible justes et élégantes -, elle doit se donner un objectif dont l'ambition peut sembler démesurée : concevoir et élaborer rien de moins qu'une sorte de « sel » qui soit capable de rendre aux idées et aux concepts de la physique leur saveur propre, à l'issue d'une analyse critique qui porte à la fois sur ce qu'ils représentent et sur la façon dont nous les exprimons. En d'autres termes, elle consiste à tenter de dire ce que diraient les équations de la physique si celles-ci pouvaient parler.

Un tel travail produit des résultats qui se révèlent fort précieux et très utiles, notamment pour le dialogue entre science et technique, pour la formulation des questions éthiques posées par l'avancée des savoirs scientifiques et des nouveaux moyens qu'ils rendent possibles, et enfin pour l'enseignement et la diffusion de la culture scientifique et technique au sein de la société.



À l'Irfu, **on est bachelardien***, le Larsim est désormais associé aux thématiques de la physique des deux infinis figurées sur le cube symbolique des réalisations de l'institut.

Scintillations

par Gilles Cohen-Tannoudji

Scintillations est né en 1991 en même temps que le Département d'Astrophysique, physique des Particules, physique Nucléaire, et de l'Instrumentation Associée (Dapnia) à l'issue d'une réorganisation mouvementée de la DSM.

Le projet initial de la direction était de créer deux pôles, l'un scientifique, rassemblant l'astrophysique, la physique des particules et celle des noyaux, et l'autre technique, avec les moyens instrumentaux associés à ces disciplines. Cela se heurta à l'opposition des personnels (physiciens, ingénieurs, techniciens, administratifs), qui, dans des groupes de réflexion et de proposition, élaborèrent un projet interdisciplinaire sans séparation entre science et technique. Après négociation, le Dapnia fut conforme, pour l'essentiel, à ce contreprojet [**débats : on (ne) lâche rien*]. Ayant participé à son élaboration et à la négociation, j'ai été en charge de la cellule qui veillait auprès de la direction à la communication interne et externe du département. Une de ses premières actions a été le lancement de ce journal dont nous publions le numéro 94 et dont le titre est une allusion au poème de Paul Eluard, la liberté :

« Sur les formes scintillantes
Sur les cloches des couleurs
Sur la vérité physique ».

Près de 25 ans après, je suis heureux et fier de revenir à l'Irfu (ex-Dapnia), comme chercheur émérite au Larsim, qui étudie la science, la technique et les relations science-société.

²Heidegger, Martin (1962), *Chemins qui ne mènent nulle part*, traduit par Wolfgang Brokmeier, Paris, Gallimard, p. 21.



L'au-delà des théories de physique

Nouveaux modèles ou nouvelles particules ?
L'exemple de la cosmologie et de la matière noire,
un entretien du Larsim avec les physiciens du SAp et du SPP.

Par Etienne Klein

Un problème se pose de façon récurrente dans l'histoire de la physique : que faire lorsque le résultat d'une expérience ou d'une observation contredit les prédictions d'une théorie par ailleurs solidement éprouvée ? À chaque fois, deux hypothèses sont envisageables :

- ♦ Il existe une « entité » ou une « substance » non encore découverte dont l'existence permettrait d'annuler le désaccord entre la théorie et l'expérience. La solution consiste alors à compléter le mobilier ontologique de l'univers, c'est-à-dire l'ensemble des choses supposées exister en son sein, au nom de l'universalité de lois physiques bien établies par ailleurs. C'est par exemple ce type d'hypothèse qui a conduit à la prédiction de l'existence du neutrino en 1930, en s'appuyant sur la loi de la conservation de l'énergie.
- ♦ Les lois physiques sur lesquelles s'étaient appuyées les prédictions théoriques ne sont pas aussi exactes qu'on l'avait cru. Dans ce cas, la solution du problème est de nature législative : il faut corriger les lois physiques, voire bâtir une nouvelle théorie radicalement différente de la précédente. Par exemple, l'anomalie constatée de l'avance du périhélie de Mercure au XIX^e siècle n'a été résolue que grâce à l'élaboration, en 1915, d'une nouvelle théorie de la gravitation, la relativité générale d'Einstein.

Aucune de ces deux hypothèses ne peut être écartée a priori. L'histoire de la physique montre en effet que des crises ont été résolues de façon législative, d'autres par des ajouts ontologiques.

Les interprétations des observations astrophysiques, notamment de la dynamique des galaxies, ont conduit à postuler l'existence d'une matière cachée, dite « noire »¹, pour expliquer la différence entre la densité de matière totale de l'univers et celle des composants (galaxies et amas de galaxies), actuellement dans un rapport de 6 pour 1. Est-ce un déficit lié à des particules massives qui n'ont pas encore pu être observées, ou est-ce dû à l'incomplétude ou à l'inadéquation des modèles ?

Vers quel type de solution doit-on se pencher : ontologique, avec la matière noire, ou législative, par modification de la théorie de la gravitation ?

La réponse n'est pas simple, d'autant qu'une solution ontologique aurait sans doute des implications législatives : les particules de matière noire, si elles existent, ne faisant pas partie du mobilier du modèle standard, leur découverte obligerait à modifier le cadre théorique de la physique des particules.

Pour en discuter j'ai rencontré deux spécialistes de l'infiniment grand (grandes structures de l'Univers) et de l'infiniment petit (particules élémentaires) : David Elbaz (SAp) et Eric Armengaud (SPP).

Le premier évoque une tension croissante entre les deux infinis. Il se pourrait à ses yeux que la question posée dépasse le débat classique ontologique/législatif, car il est possible, dit-il, que « notre interprétation des

faits soit trompeuse ». En fait, il existe des tensions majeures à toutes les échelles, très petites ou très grandes, qui nous envoient des messages que nous ne comprenons pas encore. La matière noire n'est peut-être qu'un symptôme qui synthétise toutes ces tensions, une sorte de mot-valise pour dire qu'il demeure des incohérences. La solution viendra plus certainement, selon lui, « d'un autre regard sur l'univers » (titre d'un ouvrage à paraître...).

Eric Armengaud considère lui aussi que le problème dépasse largement le problème de la dynamique des galaxies. Il ajoute que parler de « matière noire » suppose implicitement que la solution serait une particule descriptible par la théorie quantique des champs. Or, rien ne permet de garantir que cela sera le cas. Le risque, lorsqu'on nomme ou « baptise » le problème de cette manière, c'est d'orienter implicitement vers une solution particulière, de sous-entendre comme si elle était évidente l'idée d'un objet dont la description devrait être similaire à celle des particules de notre modèle standard. Mais le physicien et l'astrophysicien s'accordent pour dire que les expériences en cours, avec leurs difficultés propres et leurs incertitudes, celles qui cherchent d'hypothétiques « particules de matière noire », soit de façon directe dans des laboratoires souterrains, soit de façon indirecte par leurs produits de désintégration (ou d'annihilation dans les milieux denses), devraient permettre d'avancer dans la recherche de la solution de l'énigme.

¹(NdIR) Noire en français, sombre, obscure (*dark matter*) en anglais... voir l'encadré sur les « idées noires » p. 12.

Notre regard sur la mécanique quantique change

Par Alexei Grinbaum



La spécificité principale de la physique quantique réside dans la manière dont elle décrit, non un objet isolé, mais deux, trois ou plusieurs objets, lorsqu'ils se composent les uns aux autres. Autrement dit, que signifie prendre deux entités et les traiter comme une seule ?

Les manuels de physique quantique écrits au XX^e siècle ne sont plus tout à fait à jour : nous avons appris récemment qu'une large partie de la spécificité de cette théorie réside dans la description, non d'un système physique isolé, mais de la règle de composition des systèmes. Cet éclairage est devenu possible grâce à l'information quantique, qui a permis de caractériser précisément la frontière entre les mondes classique et quantique. La détermination d'une limite passe par l'évaluation quantitative des corrélations entre les sous-systèmes d'un système composé. Quel que soit le substrat matériel d'un tel système, les corrélations produites entre ses parties dans le cas quantique sont plus fortes que ce que prévoit la physique classique. Cette différence n'est donc pas une affaire d'échelle. On s'aperçoit que « non-classique » ne signifie pas nécessairement « quantique » et qu'il existe des modèles cohérents « plus-que-quantiques », qui sont utiles pour étudier les propriétés informationnelles de notre monde¹.

Sans parler de nouvelles applications possibles telles que la cryptographie et l'ordinateur quantiques, c'est désormais avec ces nouveaux outils que sont développés des formalismes permettant de replacer dans un cadre rigoureux des questions fondamentales laissées jusqu'alors à la seule spéculation métaphysique : qu'est-ce qu'un système ? Qu'est-ce qu'un observateur ?

John Bell lança la deuxième révolution quantique lorsqu'il publia, en 1964, ses fameuses inégalités. Leur borne supérieure pour les

systèmes quantiques dépasse la limite classique.

Dans le cas des systèmes binaires dont la mesure a deux résultats possibles, comme les projections du spin d'un électron ou la polarisation d'un photon, l'inégalité CHSH (Clauser-Horne-Shimony-Holt) a pour limite quantique « la borne de Tsirelson », égale à $2\sqrt{2}$. En 1994, S. Popescu et D. Rohrlich imaginent un modèle théorique tel que la quantité de non-localité y dépasse cette borne et atteint 4, sans que cela contredise une autre loi de la physique, y compris la relativité d'Einstein. On part ailleurs à la recherche d'un principe en vertu duquel notre monde ne pourrait pas être « davantage non-local »¹. À cette question il n'existe pas encore de réponse satisfaisante : pourquoi, si la physique l'autorise, la Nature n'a-t-elle pas choisi la quantité maximale de la non-localité ?

Le recours aux inégalités permet de poser des questions encore plus contre-intuitives. Si chaque sous-système d'un système composé est mesuré dans un laboratoire isolé, alors il est concevable, pourvu qu'une inégalité dite « causale » soit violée, que l'ordre causal des observations au sein des laboratoires ne se décrive pas comme « L_1 est avant L_2 » ou « L_2 est avant L_1 ». Cet ordre peut, lui-même, être indéterminé ou « être en superposition quantique »².

L'espoir est alors que l'analyse informationnelle, aux conclusions souvent inattendues, aboutira à une nouvelle manière de comprendre la structure causale, composante essentielle de l'espace-temps physique.

Relativité générale et physique quantique ne vivent pas dans le même espace-temps, par E. Klein

Pour décrire les propriétés et l'évolution de l'univers primordial, les physiciens tentent de bâtir une théorie unifiée capable de rendre compte en même temps des effets produits par les quatre interactions fondamentales. Or deux formalismes coexistent : celui de la relativité générale, élaboré par Einstein en 1915, qui conçoit la gravitation comme une courbure de l'espace-temps, et celui de la physique quantique, apparu plus tard, qui décrit les phénomènes des trois autres interactions, électromagnétique, faible et forte. Les principes et équations des deux formalismes sont à ce jour incompatibles, ce qui se voit déjà par les différences de structure et de dynamique des espaces temps qu'ils génèrent : celui de la physique quantique est celui de la relativité restreinte, c'est-à-dire rigide, plat, complètement découplé des événements qui s'y produisent, tandis que celui de la relativité générale est souple, courbé et dynamique, en interaction constante avec la matière et l'énergie qui se déplacent en son sein.

La courbure de l'espace-temps...
revue par Albert Einstein et le chat de Schrödinger ?

Les ondes gravitationnelles (NdIR, V. Lapoux)

En février 2016, les équipes LIGO-Virgo ont annoncé avoir détecté un signal cosmique* le 14 septembre 2015, associé à une variation de distance (dl) de deux miroirs-détecteurs, compatible avec le passage d'une onde gravitationnelle « onde G », produite par la coalescence de deux trous noirs en orbite l'un autour de l'autre (trous noirs binaires). La déformation spatio-temporelle associée à la variation relative de distance (dl divisée par la distance totale entre les détecteurs) serait de l'ordre de 10^{-21} . Cette découverte, première preuve directe de l'existence des ondes prédites par la théorie de la relativité générale, apporte une confirmation du caractère ondulatoire de cette théorie, avec comme message les ondes G. Si l'on imagine la description complémentaire, corpusculaire, sous forme d'une théorie quantique de la gravitation, il faut découvrir la possible particule associée, le « graviton », qui serait le nouvel élément du « mobilier ontologique » (cf. E. Klein) de notre univers, contribuant à l'unification des quatre interactions au sein de la théorie quantique de la relativité.

Le choc d'hier est grand - ondes du 14 septembre 2015 - rien n'est établi...

Et les particules élémentaires... tissèrent l'espace et la lumière : superbe spectacle de l'amour.

Quelques extraits libres d'Etienne Klein et Jacques Perry-Salkow - à poursuivre avec l'arôme des mots à l'infini... (p. 16).

¹S. Popescu, *Nonlocality beyond quantum mechanics*, Nature Physics 10, 264-270, 2014.

²C. Brukner, *Quantum Causality*, Nature Physics 10, 259-263, 2014.

Plus d'informations : www.pcqc.fr. Lire aussi *Mécanique des étreintes* : dans cet ouvrage, les disputes sur les corrélations quantiques sont mises en scène à travers des rencontres avec des personnages mythiques : dieux, physiciens, héros.

**Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, B. P. Abbott et al. (collaboration scientifique LIGO et Virgo). Physical Review Letters 116, 061102 - Publié le 11 février 2016. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>



Questions croisées à propos du Boson de Higgs

Par Nathalie Besson (SPP) et Etienne Klein (Larsim)



Prédit en 1964 par trois physiciens théoriciens¹ dans le but de résoudre certaines contradictions du modèle standard, alors à l'ébauche, le boson de Higgs a pu être détecté 48 ans plus tard grâce aux collisions de protons produites par le LHC. Ce résultat majeur a clos un long chapitre de l'histoire de la physique des particules et en a ouvert un autre. D'après le mécanisme de Higgs, la masse vient aux particules du fait de leur interaction avec ce que l'on appelle l'espace vide, qui n'est pas le néant mais « tient le milieu entre la matière et le néant », comme le dit Pascal.

E.K. : Si je prononce le mot « boson de Higgs », cela allume en vous quelles images, quels souvenirs, quelles émotions ?

N.B. : D'abord, l'émerveillement devant la puissance des mathématiques et l'intelligence humaine. Le boson de Higgs était resté pendant longtemps une pure abstraction, et le voilà qui apparaissait sous la forme d'extraordinaires « petites bosses »² dans des distributions de masse. Je me suis sentie très fière des êtres humains. Ensuite, des réflexions sur la meilleure façon de raconter le boson de Higgs, sans sombrer dans le sensationnalisme : non, le boson de Higgs n'est pas « la particule de Dieu », et il n'est pas non plus LA pierre angulaire du modèle standard de la physique des particules (qui s'écroulerait tout autant si on lui retirait l'électron ou le boson W). Mais il en est une brique essentielle, pour l'instant unique en son genre.

E.K. : Quelle fut votre contribution à cette découverte ?

N.B. : Pour mesurer la masse des particules instables, on utilise les caractéristiques de leurs produits de désintégration : angles d'émission et énergies cinétiques. Pour que cette mesure soit la plus précise possible, il faut bien connaître les énergies mises en jeu. Je me suis consacrée à la calibration des électrons. Entre autres mesures, la connaissance précise de leur énergie a permis de réduire l'incertitude sur la masse du boson de Higgs.

N.B. : Quand avez-vous fait connaissance du boson de Higgs ?

E.K. : C'était en 1980. J'étais étudiant d'été au CERN, et je suivais les cours de Victor Weisskopf³, qui était un merveilleux pédagogue. Il nous avait parlé de cette particule, qu'il avait présentée comme « hypothétique ». J'avoue ne pas avoir compris tout ce qu'il nous avait expliqué, mais je n'en étais pas moins fasciné.

N.B. : En quoi le boson de Higgs peut-il intéresser les philosophes ?

E.K. : Dans notre esprit, les notions de masse et de matière sont intellectuellement intriquées : nous avons du mal à concevoir une chose matérielle qui serait sans masse, et nous avons du mal à imaginer de la masse qui ne serait pas incarnée en choses matérielles plus ou moins petites. Bref, quand nous pensons matière, nous pensons immédiatement masse, et réciproquement. L'existence du boson de Higgs oblige à revoir cette façon de considérer les choses : au lieu d'être, comme on le croyait, une propriété intrinsèque des particules élémentaires, une caractéristique qu'elles porteraient « de par elles-mêmes », la masse apparaît plutôt comme n'étant qu'une propriété secondaire et indirecte résultant de leur interaction avec... le vide ! Le vide n'est donc pas vide. Il est bel et bien habité. Il contient notamment de quoi créer la masse des particules élémentaires. Philosophiquement, cette nouvelle donne n'est pas neutre : elle implique qu'après de longs siècles d'amalgame, les notions de matière et de masse doivent désormais être pensées distinctement l'une de l'autre.



« D'où l'on peut voir qu'il y a autant de différence entre le néant et l'espace vide, que de l'espace vide au corps matériel ; et qu'ainsi l'espace vide tient le milieu entre la matière et le néant. C'est pourquoi la maxime d'Aristote dont vous parlez, "que les non-êtres ne sont point différents", s'entend du véritable néant, et non pas de l'espace vide. »

Réponse de Blaise Pascal au très révérend père Noël, recteur de la Société de Jésus, à Paris, le 29 octobre 1647. Pascal, *Œuvres complètes*, La Pléiade, p 384, ed. 1998.

Se pourrait-il que ce « vide-milieu » soit justement ce en quoi consistent matière et énergie sombres ? (voir p.4).

¹Peter Higgs, François Englert et Robert Brout. Leurs portraits respectifs par l'artiste C215 (Ch. Guémy) sont figurés sur les supports de cuivre d'un détecteur du LHC, visibles dans le bandeau. L'image ci-dessous « puzzle du LHC à l'Irfu », présente des éléments de construction d'un quadripôle pour le LHC, pièces isolantes et câble supraconducteur.

²Il s'agit de signaux liés à différents modes de désintégration.

³Victor Weisskopf (1908-2002) fut un physicien théoricien autrichien, puis américain. Il avait fait sa thèse sous la direction de Wolfgang Pauli. Il fut le Directeur général du CERN de 1961 à 1966.



Mécanologie et méthodologie de l'instrumentation

Par Vincent Bontems (Larsim) et Vincent Minier (Larsim, SAp)



Au Larsim, la philosophie des techniques s'applique aux instruments de la recherche. Il s'agit d'analyser leur fonctionnement et leurs processus de conception et de concrétisation pour comprendre les phases d'innovation. Ces travaux combinent la recherche théorique sur les concepts, les études de cas sur les grands instruments auxquels l'Irfu contribue et le développement d'outils numériques pour la gestion des connaissances, la culture technologique et la prospective. Nous avons ainsi développé une base de données polyvalente sur les sciences et technologies spatiales dans le cadre du projet ExplorNova, applicable à d'autres domaines.

« La philosophie des instruments au service de l'Irfu » : en physique, le progrès des connaissances repose en grande partie sur l'extension et l'approfondissement de l'horizon expérimental, c'est-à-dire sur l'innovation des instruments de la recherche rendant possibles des mesures toujours plus fines ou l'exploration de nouveaux champs. L'analyse des machines développée par le philosophe Gilbert Simondon (1924-1989), en particulier dans son livre *Du mode d'existence des objets techniques*¹, fournit des outils conceptuels pour analyser le processus de « concrétisation », c'est-à-dire la convergence de « lignées techniques » aboutissant à un fonctionnement synergique. Les lignées techniques sont constituées par les générations successives de machines possédant le même principe de fonctionnement. Ces machines deviennent de plus en plus « concrètes », c'est-à-dire synergiques et en harmonie avec leur milieu associé. Nos recherches combinent cette « mécanologie génétique », c'est-à-dire cette étude de la genèse des machines et du processus de concrétisation des lignées techniques, avec des méthodes de résolution inventive (comme la TRIZ² développée par G. Altshuller en URSS et utilisée maintenant dans l'industrie), de gestion des connaissances (comme la méthode MASK³, développée par J.-L. Ermine pour le CEA), ou des théories de la conception innovante (comme la théorie Concept-Knowledge⁴, développée par A. Hatchuel à l'école des Mines) afin d'extraire l'information sur l'organisation des instruments, sur l'évolution des lignées et sur les dynamiques de conception conduisant du projet initial à l'objet finalement réalisé.

Cette épistémologie est appliquée aux réalisations de l'Irfu afin de mieux comprendre les conditions et les processus de l'innovation.

Mais de quoi l'innovation est-elle le nom ? Le verbe « innover » dérive d'« *innovare* » qui signifiait « renouveler » en bas latin. C'est à Francis Bacon (1561-1626), dans ses *Essais de Morale et de Politique* (1597), que l'on doit le premier emploi du terme se rapportant à l'évolution des sciences et des techniques : « *Certainement, chaque médicament est une innovation, et celui qui ne s'applique pas de nouveaux remèdes doit s'attendre à de nouveaux maux ; car le temps est le plus grand innovateur, et si le temps, bien sûr, change les choses pour le pire, et que la sagesse et le conseil ne les modifient pas pour le meilleur, quelle sera la fin ?* ».

Transparaissent ici deux traits de la notion d'innovation qui perdurent : le progrès de la connaissance doit se traduire par une efficacité accrue de nos remèdes aux maux de la société, et le temps joue contre nous, si bien que la recherche de l'innovation doit contrecarrer ses effets corrupteurs. On les retrouve en 1911, quand Joseph Schumpeter (1883-1950) introduisit, dans sa *Théorie du développement économique*, cette notion pour expliquer comment le capitalisme se renouvelle : l'innovation est une « destruction créatrice » de valeur. Schumpeter prenait soin de préciser que toute innovation ne suppose pas forcément une invention et que toutes les inventions n'ont pas vocation à devenir des innovations. Toutefois, il insistait aussi sur le fait que ce sont les innovations induites par les progrès scientifiques qui sont les plus susceptibles de produire des ruptures.

La recherche produit toutes sortes d'innovations techniques. Certaines adaptent ingénieusement des technologies à de nouveaux environnements ou à des usages différents. Dans ces cas de *customisation*, l'expertise et la réactivité sont des facteurs clefs. D'autres innovations procèdent de l'amélioration de lignées techniques. Elles évoluent au rythme des appels à projets. Enfin, il y a des innovations de franche rupture, allant jusqu'à l'innovation radicale, c'est-à-dire l'invention d'une nouvelle lignée.

« Les innovations les plus susceptibles de produire des ruptures sont induites par les progrès scientifiques. »

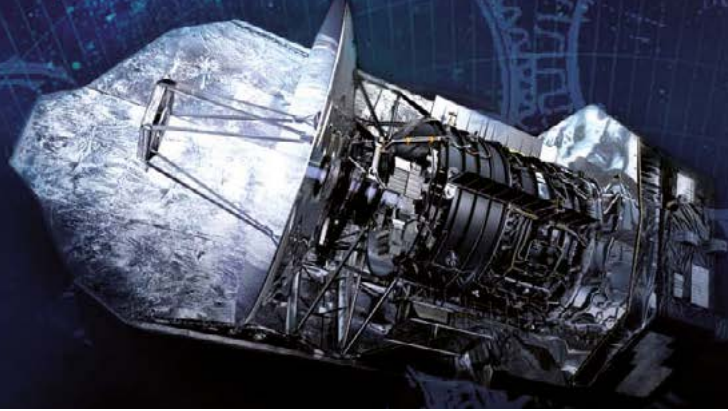
Le franchissement d'un seuil dans les performances passe alors par l'invention d'un nouveau principe de fonctionnement.

¹Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 2012.

²« Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch » : « théorie de résolution des problèmes inventifs », cf. G. Altshuller, *The Innovation Algorithm. TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Worcester (MA), Technical Innovation Center, 2007.

³Méthode d'Analyse et de Structuration des (K)Connaissances, cf. J.-L. Ermine, *La Gestion des connaissances*, Paris, Hermès, 2003.

⁴Théorie C-K, cf. P. Le Masson, B. Weil et A. Hatchuel, *Théories, méthodes et organisations de la conception*, Paris, Presses des Mines, 2014.



Ces innovations supposent que les chercheurs se fixent des objectifs ambitieux et risqués dans la mesure où on ne peut préjuger de leur faisabilité à partir de ce qui est initialement connu. Chaque type d'innovation a ainsi une temporalité propre : les innovations adaptatives nécessitent que les chercheurs disposent d'une grande autonomie pour organiser leur temps et leurs collaborations afin d'explorer librement ; les innovations incrémentales s'inscrivent dans une durée cumulative afin de bénéficier de l'expérience déjà acquise ; quant aux innovations de rupture, elles visent des futurs qui outrepassent l'avenir prévisible.

Prenons l'exemple des divers processus d'innovation au sein de la mission Herschel⁵. Le projet ExplorNova recourt à des procédés de diagrammatisation numérique (Fig. 1) pour capter, organiser et visualiser l'information sur ces processus. Il vise ainsi à constituer une mémoire de l'inventivité. L'innovation radicale n'est ni prédictible ni le fruit du hasard. Elle dépend d'une organisation et d'un contexte qui valorisent les connaissances et les savoir-faire de ses agents sur le long terme. Maintenir et augmenter la capacité à innover suppose de conserver une trace des réalisations passées, de leur genèse et de leurs conditions socio-culturelles (tant pour les réussites que pour les échecs). Quand, au cours d'un processus de conception innovante, interviennent des cas de « morts subites » ou des « innovations de dernière minute », ces événements font partie intégrante du processus. La mémoire de ces phases critiques doit être conservée pour

les anticiper et les gérer au mieux dans de futurs projets (voir l'encadré ci-dessous). C'est pourquoi le corpus de connaissances recueilli par l'enquête d'ExplorNova alimente un serveur de connaissances connecté à une base de données. Le niveau de profondeur dans la navigation définit le niveau d'expertise. Ce serveur permet de visualiser les relations entre les objets et d'identifier les inventeurs. Il a pour ambition de devenir un outil d'analyse de la R&D, de veille technologique et d'aide à la décision.

La recherche scientifique est ainsi productrice d'innovation au sens de destruction créatrice d'une valeur qui n'est pas prioritairement économique. Il s'agit de « capitaux symboliques »⁶ (au sens de Pierre Bourdieu) qui valorisent de la connaissance, des savoir-faire, des modes d'organisation, des images, de la culture. C'est pourquoi nous étudions aussi les processus de valorisations symboliques. Le résultat de ces analyses sert de base au développement d'outils numériques destinés à éclairer le rôle de l'instrumentation en science, à promouvoir la culture technologique auprès de différents publics et à valoriser les innovations elles-mêmes.

Comprendre les processus d'innovation et anticiper les dynamiques technologiques est un enjeu permanent au CEA, et tout particulièrement à l'Irfu. Les recherches menées au Larsim en mécanologie et en méthodologie de la conception visent à fournir des concepts, des outils et des applications pour y parvenir.

Projet ExplorNova

Les projets de recherche ExplorNova et Épistémé (ANR) étudient la production, la transformation et la médiatisation des connaissances en astrophysique par et avec le numérique. « Par » le numérique, car il offre des techniques de programmation, de gestion et de saisie de base de données, d'extraction automatique et de visualisation des connaissances. « Avec » car le numérique n'est plus simplement un support et un ensemble de technologies : il est le milieu dans lequel se reconfigurent en profondeur les disciplines scientifiques.

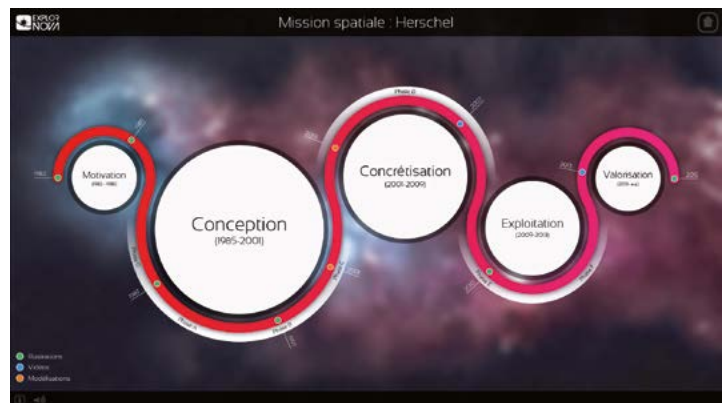


Figure 1. Frise dynamique des phases de la mission spatiale Herschel. Les cercles définissent les grandes étapes socio-technologiques lors de la conception, réalisation et exploitation d'un grand instrument. Ce phasage correspond à celui de l'Agence spatiale européenne de la phase initiale à la finale. La phase de conception est longue car elle vise à permettre le meilleur retour scientifique sur une durée limitée d'exploitation.

⁵Herschel (image du bandeau) est un télescope spatial infrarouge développé par l'Esa qui a fonctionné entre 2009 et 2013 mais dont le processus de conception remonte à 1982 (sous l'appellation FIRST, Far Infrared and Submillimetre Telescope).

⁶P. Bourdieu, *La Distinction. Critique sociale du jugement*, Les Éditions de Minuit, 1979 ; *Raisons pratiques : sur la théorie de l'action*, Paris, Seuil, 1994.

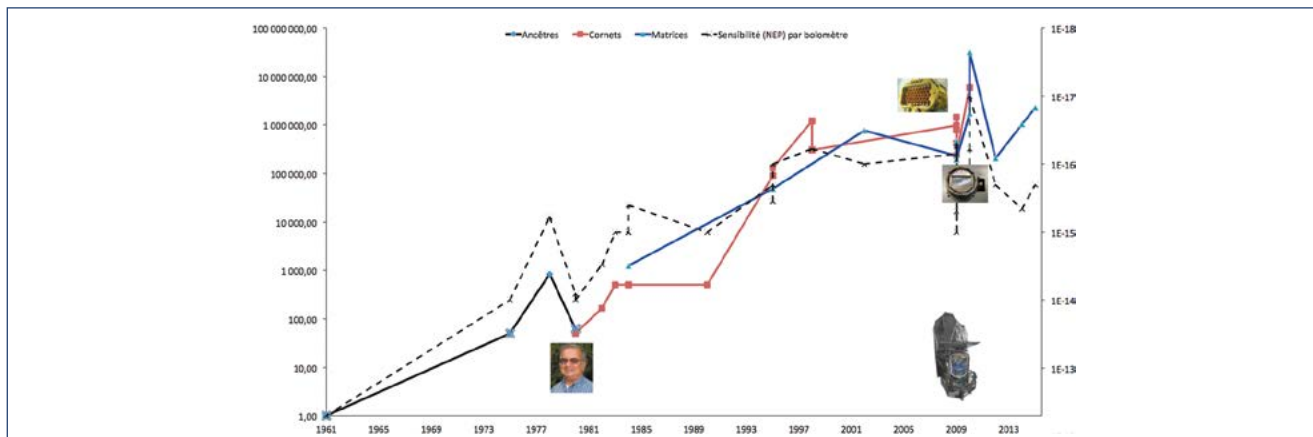


Figure 2. Diagramme schématisant des lignées techniques des bolomètres, les premiers modernes qualifiés d'ancêtres, puis la lignée à cornets, débutant quelques années après l'invention des cônes de R. Winston en 1970, et enfin celle des bolomètres organisés en matrices. Le niveau de performance (à gauche en ordonnée) est le nombre de bolomètres (dans l'instrument) multiplié par l'efficacité (ouverture efficiency) divisé par la sensibilité (Noise Equivalent Power, NEP) des bolomètres individuels. Ce niveau de performance permet de comparer des caméras de bolomètres. Les courbes de performances des lignées "cornets" et "matrices" se rejoignent en 2009 avec les instruments SPIRE et PACS du satellite Herschel. À titre comparatif, la courbe hachurée représente l'évolution du NEP (à droite en ordonnée). Les photos de R. Winston et des instruments sont placées sur la chronologie.

Dans le langage technique ordinaire, un bolomètre est un instrument qui convertit un rayonnement en chaleur au sein de l'absorbeur, lui-même relié à un matériau dont les propriétés de résistance électrique dépendent de la température, ce qui permet de mesurer les variations d'impédance du détecteur. À partir de cette mesure, il est possible d'inférer la puissance incidente après étalonnage à l'aide d'une source connue. Le bolomètre est donc un instrument défini par sa fonction : mesurer un rayonnement électromagnétique. En mécanique génétique, on distinguera différentes lignées de bolomètres selon leur fonctionnement, c'est-à-dire selon leur structure et les opérations qu'ils réalisent pour assurer cette fonction. Sont représentées ci-dessus (Fig. 2) les évolutions de deux lignées de bolomètres de 1950 à nos jours. Le niveau de performances détermine la sensibilité des détecteurs exprimées en W/\sqrt{Hz} . Ces deux lignées techniques, les bolomètres à cornets et les bolomètres matriciels, sont en compétition. Elles sont intégrées à des instruments différents de l'observatoire spatial Herschel. La première, produite par une série de *customisation* et d'innovations incrémentales depuis les premiers bolomètres à cornets de Roland Winston, équipe le photomètre de l'instrument SPIRE. La seconde, résultant d'une innovation de rupture, se base sur une architecture matricielle pour l'agencement des détecteurs remplissant ainsi le plan focal à l'instar d'une caméra CCD. Elle découle de la R&D au CEA de Grenoble en collaboration avec le SAp. Ce type de matrices de bolomètres équipe le photomètre de l'instrument PACS sur Herschel, alors qu'elles n'ont pas été retenues pour SPIRE.

Au moment des sélections des détecteurs, en 2000, la robustesse a été privilégiée pour SPIRE alors qu'une prise de risque a été effectuée avec PACS.

Pour comprendre les dynamiques de l'innovation et les prises de décisions, il faut compléter l'étude des lignées techniques selon l'approche purement technologique par une analyse sociologique du contexte, des contraintes et des ressources.

L'émergence des bolomètres à cornet s'explique ainsi par le transfert des cônes de Winston d'un champ instrumental (les photomultiplicateurs) vers un autre (l'astronomie infrarouge). Le choix risqué des bolomètres du CEA pour PACS résulte quant à lui d'une crise, à savoir l'incapacité du consortium PACS à fournir les photomètres initialement prévus car ils avaient été excessivement optimisés (ce que Simondon appelle un cas d'« hypertélie », c'est-à-dire de suradaptation) pour de très faible niveau de luminosité alors qu'ils devaient fonctionner également avec une luminosité beaucoup plus importante. En revanche, l'instrument matriciel était assez « générique » pour être adapté à PACS. C'est ainsi qu'à la toute fin d'un long processus de conception, et de manière imprévisible, une lignée technique innovante, qui avait été jugée trop risquée pour SPIRE face à la technologie dominante, fut récupérée pour sauver un autre instrument, et cela grâce à la souplesse du management scientifique. Il s'agit d'un cas de « substitution après saturation » qui illustre comment le développement d'une technologie « risquée » peut s'avérer en définitive une option prudente car il faut anticiper la défaillance éventuelle de la lignée mature.



Thomas D.

Stefano P.

Des ateliers physique-philosophie pour les physiciens

Par Vincent Bontems (Larsim),
Thomas Duguet
et Stefano Panebianco (SPhN)



Vincent B.

Gaston B.

Dans le cadre de l'Espace de Structure et de réactions Nucléaires Théorique (ESNT, p.11), le Larsim organise depuis 2013 des ateliers d'une semaine apportant, sur une thématique différente chaque année, des éclairages philosophique, historique et sociologique sur la pratique du chercheur en sciences physiques. L'objectif de ces rencontres est d'outiller le questionnement spontané du physicien sur son travail de recherche au point que sa réflexivité puisse enrichir son activité et sa méthodologie au quotidien.

La réflexion philosophique anime, de manière plus ou moins consciente et construite, le travail des physiciens. En particulier, la physique des deux infinis pratiquée au sein de l'Irfu a toujours été, du fait de ses objets et des implications épistémologiques de ses découvertes, un laboratoire privilégié pour développer des concepts spéculatifs qui rompent avec les intuitions du sens commun, modifiant à la fois la théorie de la connaissance et notre vision du monde, si bien que la réflexion sur cette double transformation du sujet et de l'objet scientifiques ne peut être que d'ordre philosophique. Cependant, l'étude de la philosophie et des sciences sociales n'apparaît que très rarement dans le parcours de formation des scientifiques, notamment en France, et reste, pour la plupart d'entre eux, un champ méconnu, éthéré, sans rapport direct avec leur pratique quotidienne. C'est suite à ce constat, avec l'idée qu'une réflexion philosophique explicite est à même de fournir un cadre conceptuel interprétatif puissant, que s'est imposée, en 2012, l'idée d'un atelier de réflexion philosophique pour les scientifiques. Dès le début, il est apparu que l'ESNT constituait un lieu approprié pour amorcer une collaboration constructive et efficace avec le Larsim.

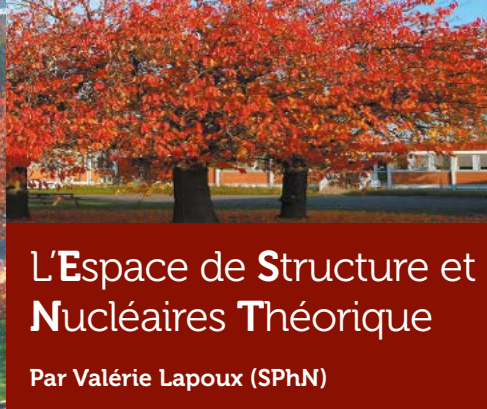
Mais comment démarrer? Quel sujet, quels intervenants? Quel public? Pour le premier atelier, en janvier 2013, il nous a semblé important de poser les bases, comme pour toute bonne pratique d'apprentissage. Comme le titre l'indiquait, « *Enjeux et outils philosophiques pour le physicien* », cet atelier visait à fournir au physicien, qu'il soit théoricien, instrumentaliste ou expérimentateur, les principaux outils conceptuels d'épistémologie, de philosophie des techniques, d'éthique et de sociologie des sciences. Il prit alors une forme composite, alternant pendant une semaine des modules pédagogiques avec des séminaires et tables rondes animés conjointement par des philosophes du Larsim et des chercheurs de l'Irfu. Ce format a permis d'approcher les concepts de manière progressive pour ensuite les mettre en application dans une réflexion plus axée sur les pratiques concrètes des physiciens. Par exemple, la « *mécanologie* », c'est-à-dire l'analyse des instruments techniques de la recherche*, a été appliquée à l'évolution des lignées technologiques des grands télescopes spatiaux, dont l'Irfu est depuis des décennies un des plus grands contributeurs à leur conception. De même, le cadre interprétatif fourni par la sociologie des sciences a été convoqué pour éclairer les enjeux

éthiques des relations entre chercheurs et industriels et, plus généralement, la responsabilité du chercheur face à la société. Forts du succès du premier atelier, qui a vu la participation active et enthousiaste d'une cinquantaine de physiciens, nous avons souhaité transformer cette expérience en rendez-vous annuel. En 2014, le deuxième atelier a examiné le thème « *Incertitudes, erreurs et éthique* ». Tout en gardant le même format, les participants à l'atelier ont pu se confronter aux enjeux épistémologiques investis par la notion d'erreur, à son caractère ambivalent, notamment vis-à-vis de du concept d'incertitude et de ses implications en mécanique quantique. Cette réflexion a permis ensuite de se pencher sur l'état de l'art des méthodes probabilistes utilisées, notamment en ingénierie, pour quantifier et propager les incertitudes ainsi que pour analyser la sensibilité d'un modèle vis-à-vis des variables mises en jeu. L'esprit du deuxième atelier consistait à prolonger la réflexion philosophique par l'exposition des méthodes formelles et des concepts qui trouvent une mise en application efficace dans la pratique de recherche en physique. Cela a également été le cas lors du troisième atelier portant sur « *Sous-détermination, incomplétude, incommensurabilité: la pensée des limites* », en janvier 2015. Les participants ont eu à s'interroger sur la valeur des modèles et des théories, sur leur statut hypothétique et révisable par rapport à l'expérience, ainsi que sur leur éventuelle incomplétude.

Dans tous les ateliers, la réflexion sur le thème central est étendue à des champs éloignés de la physique et ses éventuelles réverbérations: l'étude des concepts de sous-détermination et d'incomplétude a permis d'interroger la place des notions de vérité et de réalité dans le droit ou encore les limites de la pensée rationnelle dans la pratique de soin des maladies mentales. De même, l'objectivation du concept de fraude et l'analyse des normes éthiques en science a amené les participants à interroger le progrès des valeurs et normes éthiques dans le champ artistique. Enfin, l'atelier de janvier 2016 traitant de la question « *Comment écrire la science?* » a examiné le parallèle entre l'objectivité des sciences de la nature et la réflexivité des sciences sociales, et a même étendu sa réflexion aux mutations de l'écriture en musique.

Cette vision globale et ouverte, caractéristique des ateliers philosophiques proposés dans ce cadre de la collaboration Larsim et ESNT, a montré à quel point les physiciens sont à la fois animés d'une grande curiosité vis-à-vis de leur pratique, et intéressés par les méthodes mises en jeu dans d'autres champs. À cet égard, la pratique de l'écriture, activité du chercheur conditionnant toutes les autres, a été un thème extrêmement riche et fécond. Pour le futur, les projets d'ateliers ne manquent pas: les organisateurs ont en réserve une (trop!) grande quantité d'idées proposées au cours des quatre dernières années par les participants. De plus en plus nombreux, ils ont fait de ce rendez-vous annuel une période précieuse d'échange et d'approfondissement des idées, ainsi que d'élargissement interdisciplinaire entre sciences physiques, techniques et sociales.

*Voir en page 7 l'article sur ce sujet.



L'Espace de Structure et de réactions Nucléaires Théorique

Par Valérie Lapoux (SPhN)

Espace original, laboratoire virtuel réunissant des physiciens visiteurs sur un projet de physique nucléaire : voilà l'ESNT fondé en 2004 au CEA. Au cœur de ses études : comprendre la structure et les réactions nucléaires, en modéliser les observables, les comparer aux expériences. L'ESNT apparaît aussi comme un espace d'esprit bachelardien et inspiré par la vision de ses fondateurs. Depuis 2013, il s'est étendu pour explorer de nouveaux horizons théoriques et des thématiques alternatives.

À l'origine, l'ESNT a été conçu par des physiciens des services de Physique Nucléaire (SPhN) et de Physique Théorique (SPhT) de la Direction des Sciences de la Matière (DSM) à Saclay pour répondre aux besoins de soutien théorique pour la physique nucléaire à basse énergie au CEA, en particulier pour les expérimentateurs du SPhN travaillant sur les programmes d'étude des faisceaux radioactifs. L'ESNT a été fondé ensuite par la DSM et la Direction des Applications Militaires (DAM) du CEA ; il fut établi comme l'une des actions visant à renforcer les liens entre les groupes de physiciens nucléaires de ces deux directions. Suivant le texte fondateur, l'Espace correspond à une « structure légère, sans chercheur permanent, permettant d'organiser une activité scientifique commune entre les différents laboratoires mentionnés ci-dessus, ouverte sur l'extérieur (en particulier les équipes de l'IN2P3), et en fort couplage avec les expérimentateurs. Elle aura pour but de contribuer à l'animation scientifique par des ateliers spécialisés et un programme de visiteurs de courte et moyenne durée. »

En 2014, l'ESNT a célébré ses « 10 ans passés... et à venir », rendant hommage à l'un de ses fondateurs, Paul Bonche¹, théoricien en physique nucléaire de basse énergie au SPhT et expert des modèles du champ moyen nucléaire. Paul Bonche a contribué durant sa carrière à l'élaboration de méthodes qui ont permis l'étude de problèmes clés de la discipline (collisions entre ions lourds, équation d'état de la matière nucléaire dense et chaude des supernovæ et des étoiles à neutrons). Il s'intéressait également aux développements expérimentaux². Il envisageait le physicien comme un citoyen doté des armes scientifiques lui permettant de participer aux débats de la Cité sur les questions techniques et énergétiques, notamment celles relatives à la maîtrise de l'énergie nucléaire et à la gestion des déchets. La contribution des physiciens lui paraissait cruciale pour expliquer les principes de physique nucléaire, et discuter les choix énergétiques de notre société. En témoignant les travaux auxquels il participa dans le cadre du groupe Cesen² au CEA, conduisant à un ouvrage de référence, *Le nucléaire expliqué par des physiciens*, dont il dirigea l'édition. *L'honnête homme*, citoyen et scientifique, que tout physicien souhaite être : il en était l'incarnation. Cette vision du métier de physicien nucléaire qui habitait P. Bonche a inspiré la création de l'ESNT, et lui a donné les fondations solides qui ont permis les évolutions de l'Espace. Le succès rencontré par l'ESNT l'a amené à s'ouvrir largement

à la communauté internationale pour offrir un espace de travail et de réflexion aux physiciens sur des problèmes particuliers qui nécessitent une unité de lieu-temps-action, pour des échanges et des efforts communs sur le calcul des propriétés nucléaires et la comparaison des résultats théoriques avec les observables expérimentales. Le temps dévolu aux discussions permet de mener des réflexions sur les outils théoriques. Il favorise l'émergence d'idées ou de concepts novateurs dans le but d'améliorer notre compréhension du noyau atomique.

L'accueil de ces physiciens en interaction nécessite un support logistique, d'où le budget alloué par le CEA à l'ESNT pour couvrir le fonctionnement et, en moyenne, un contrat de post-doctorant par an. Ces fonds permettent d'organiser quatre à six projets par an dans un format souple : ateliers ou échanges avec des visiteurs durant une à quelques semaines, ou des cours. Les organisateurs sont à l'initiative des propositions de projets, examinées et validées par le conseil scientifique. Plus largement, il s'agit de fédérer la communauté autour de questions fondamentales et de proposer des solutions techniques en confrontant les modélisations. Plusieurs thématiques³ ont ainsi été traitées récemment : phénomène de fission, applications des calculs à N corps incluant les forces à trois nucléons, modélisation des réactions nucléaires ou cours de formation aux codes modernes de calcul de structure du noyau.

L'effervescence des discussions, l'impact des publications qui en découlent, le parcours des post-doctorants de l'ESNT⁴, témoignent de l'attractivité et du rôle que l'Espace occupe désormais dans la communauté. Les actions de l'Espace ont un horizon de plusieurs années : cet approfondissement des thématiques de recherche nous permet à la fois d'augmenter nos connaissances dans un champ théorique spécifique et, d'année en année, de revisiter nos concepts de physique, nos pratiques, et d'examiner de nouvelles approches : en 2016 sont organisés des ateliers sur les études des hypernoyaux, les collisions électron-ion radioactif, la diffusion neutrino-noyau.

L'ESNT offre donc de nouvelles dimensions pour examiner les frontières des concepts de physique, mais aussi les fondements de notre discipline : lors des ateliers organisés pour l'ESNT, le Larsim propose un arsenal d'outils philosophiques³ pour renforcer la réflexion du physicien sur ses méthodes et son interprétation des observables.

¹Une page est dédiée à Paul Bonche sur le site ESNT. Il participa au groupe de travail sur l'évolution de la physique des noyaux exotiques par la production de nouveaux faisceaux radioactifs au Ganil, Grand Accélérateur National d'Ions Lourds.

²Le Cesen, « Cercle d'Études Sur l'Énergie Nucléaire », était un groupe de spécialistes de physique nucléaire fondamentale. Leur recueil a été publié en 2002 par EDP Sciences. Il faut relire la postface de P. Bonche, se concluant par un appel aux citoyens, la largeur de vue n'étant pas demandée seulement à ceux qui prennent les décisions mais « *Et si (elle) était aussi celle demandée à tout citoyen responsable ?* ».

³Thématiques traitées, cf esnt.cea.fr ; les sessions Larsim-ESNT : <http://esnt.cea.fr/index.php?id=66&ref=1>.

⁴De 2004 à 2014, ils ont été, pour plus de la moitié, recrutés ensuite comme théoriciens dans les grands laboratoires de recherche.



Comment transmettre les connaissances scientifiques ?

Comment écrire la science ?

Par Etienne Klein

*Quel pur travail de fins éclairs consume
Maint diamant d'imperceptible écume,
Et quelle paix semble se concevoir!*

Le cimetière marin, Paul Valéry

Pourquoi la physique est-elle si difficile à traduire avec des mots ? Parce qu'il y a une rupture entre la connaissance commune et la connaissance scientifique, de sorte que nos intellects pétris de préjugés ont tendance à lui faire barrage. Il faut dire que depuis quatre siècles, elle ne cesse de s'opposer à l'intuition et de ridiculiser les similitudes qui s'imposent spontanément à notre esprit. De plus, ses lois les plus fondamentales s'expriment sous la forme d'équations mathématiques.

Les physiciens se posent en somme deux questions fondamentales. La première, qui occupe la plupart d'entre eux, concerne le lien qui existe (ou qui n'existe pas) entre les théories physiques et la réalité : les théories rencontrent-elles la réalité ou divagent-elles à son sujet ? La seconde question concerne le lien entre les théories physiques et le langage ordinaire : comment bien dire avec des mots ce que nous comprenons grâce à des équations ?

Pourquoi si noire ?

Par Vincent Bontems (Larsim) et Roland Lehoucq (SAP)

La matière « noire » n'interagit pas avec la lumière. Une accumulation de données suggère qu'une fraction importante de la masse de l'univers échappe ainsi à l'observation directe et ne se manifeste que par ses effets gravitationnels. Sa nature est une énigme et la confirmation de son existence est attendue avec impatience. Depuis longtemps, les physiciens recourent à des instruments pour capter des signaux même très faibles, à des longueurs d'onde hors du spectre visible, ou transmis par d'autres particules que les photons. À partir d'hypothèses abstraites et de calculs complexes, ils mettent en cohérence l'observation et les prédictions théoriques. Leur démarche consiste aussi à faire l'hypothèse de phénomènes nouveaux qui, s'ils sont observés, renforceront un modèle et, s'ils ne le sont pas, le remettront en cause. Rendre compte d'un effet visible en invoquant une cause invisible est légitime et fructueux dans la mesure où une telle prédiction contient en elle le germe de sa possible réfutation. Il est toutefois frappant que les autres langues qualifient ce type d'hypothèses seulement de « sombre ». Car les deux qualificatifs ne charrient pas les mêmes connotations : une sombre histoire n'est pas claire, douteuse, alors que le noir est, dans l'imaginaire, terriblement consistant. La matière noire substantialise une masse invisible, voire une cause inconnue. *C'est une hypothèse devenue hypostase.* Dans le langage alchimique, la matière noire (ou « œuvre au noir ») est d'un « noir plus noir que le noir » : c'est la substance cachée qui est la vile première étape dans la quête de la précieuse pierre philosophale. Reste à découvrir si et comment la physique transmutera la sienne pour décrocher l'or du Nobel.

Ab esse ad posse valet, a posse ad esse non valet consequentia

Usque ad sideras et usque ad inferos *

« C'est le langage qui doit s'adapter aux faits et non l'inverse. Tenter d'accommoder l'interprétation d'un phénomène avec un langage déjà formé et rempli d'a priori ne peut mener qu'à des conclusions fausses sur la nature des choses. »

Ludwig Wittgenstein

On entend souvent dire : « la physique, c'est du chinois ». Rien de plus vrai : la physique théorique, toute bardée d'équations abscones, c'est bel et bien du chinois. Face à ce constat, il y a deux façons de réagir. La première consiste à penser que la physique n'est compréhensible que par ceux qui la comprennent déjà, à la considérer comme une sorte de corpus intraduisible, car d'essence trop singulière. Mais on peut préférer celle de Richard Feynman : « *Ce qu'un fou a pu comprendre, tous les fous peuvent le comprendre* ». En d'autres termes, la physique est par définition partageable, mais ce partage exige un effort d'un type très particulier.

Comme le souligne F. Nietzsche dans *Humain, trop humain* : « *La valeur d'avoir pendant quelque temps pratiqué avec rigueur une science exacte ne réside pas précisément dans ses résultats : car ceux-ci, comparés à l'océan de ce qui vaut d'être su, n'en seront qu'une goutte infiniment petite. Mais on en retire un surcroît d'énergie, de logique déductive, de ténacité dans l'effort soutenu ; on a appris à atteindre un but par des moyens adaptés à ce but. C'est en ce sens qu'il est très précieux, en vue de tout ce que l'on fera plus tard, d'avoir été une fois dans sa vie, un homme de science* »¹.

Il ne s'agit pas de transporter la physique telle qu'elle est dans le langage tel qu'il est, de dire ses équations avec des mots ordinaires, mais de la transposer. Parlant de la relativité comme d'une « doctrine de l'absolu », Gaston Bachelard écrivait « *Elle va au-delà des apparences (...) au-delà surtout de ce qui a pu dominer les apparences dans une pensée antérieure* »². Penser, c'est être en lutte avec la langue, disait Wittgenstein. Ce travail de mise en mots est plus que jamais indispensable, car c'est précisément dans l'espace qui sépare le calcul du langage que trouve à se déployer la pensée scientifique. Il donne lieu à une activité d'analyse, de clarification et de reconstruction logique, mais ce travail ne conduit pas à un discours scientifique de niveau supérieur, qui constituerait une sorte de science de la science : traduire la science en mots, ce n'est pas rêver d'une métalangue qui intégrerait ou réconcilierait science et langue ordinaire ; c'est plutôt déployer un seuil qui permette de faire entrer la première dans la seconde, au prix d'un aménagement scrupuleux et à l'aide d'habiles analogies.

¹F. Nietzsche, *Humain, trop humain, Un livre pour les esprits libres* (§ 256) in *Œuvres philosophiques complètes III*, Ed. Gallimard, 1988 (1968 pour la traduction française par R. Rovini).

²G. Bachelard, *L'engagement rationaliste*, PUF, 1972, p. 96-97.

**De l'existence d'une chose on conclut à sa possibilité ; de la possibilité d'une chose, on ne peut conclure à son existence... Des étoiles jusqu'aux enfers.*

Comment diffuser les connaissances scientifiques ?

Science et société : quel projet pour la cité ?

Par Etienne Klein

*Temple du Temps, qu'un seul soupir résume,
À ce point pur je monte et m'accoutume,
Tout entouré de mon regard marin ;
Et comme aux dieux mon offrande suprême,
La scintillation sereine sème
Sur l'altitude un dédain souverain.*

Paul Valéry (1871-1945)

Tous ceux qui écrivent des livres de physique destinés à un public large savent d'expérience que les éditeurs se montrent de plus en plus insistants sur un point : le niveau de ce que l'on écrit ne doit pas être trop élevé et le moins de choses possibles doivent être supposées connues du lecteur. Mais cette demande, qui est nette, relève d'une motivation qui, elle, est sans doute ambiguë : faut-il la mettre sur le compte d'un louable souci démocratique, celui de toucher le plus grand nombre de personnes, ou avère-t-elle plutôt qu'il existerait une croissance de l'illettrisme scientifique ? Il est difficile de le dire. Reste que cette évolution n'est pas sans incidence politique. Il est en effet difficile de nier qu'une certaine inculture scientifique est devenue intellectuellement et socialement dangereuse : elle empêche de fonder une épistémologie rigoureuse de la science contemporaine, favorise l'emprise des gourous de toutes sortes et rend délicate l'organisation de débats sérieux sur l'usage que nous voulons faire des technologies. Gaston Bachelard aimait à dire que « *la culture scientifique nous demande de vivre un effort de la pensée* ». Sans doute est-ce cet effort-là que nous ne pratiquons pas assez. On ne saurait toutefois se montrer aussi sévère qu'Einstein lorsqu'il disait : « *Ceux qui utilisent négligemment les miracles de la science et de la technologie, en ne les comprenant pas plus qu'une vache ne comprend la botanique des plantes qu'elle broute avec plaisir, devraient avoir honte* ». Car il y a comme un durcissement de la culture scientifique : il est devenu difficile d'avoir de bonnes connaissances à la fois sur la physique des particules, les mini-trous noirs, les OGM, la génétique, le nucléaire, le changement climatique ou la virologie, de sorte que si l'on voulait que les citoyens participent aux affaires publiques en étant vraiment éclairés sur tous les sujets concernés, il faudrait que chacun d'eux ait le cerveau de mille Einstein... Le prestige de la Science avec un grand S a longtemps tenu au fait qu'on lui conférait le pouvoir symbolique de proposer un point de vue surplombant sur le monde : assise sur une sorte de refuge neutre et haut-placé, elle semblait se déployer à la fois au cœur du réel, près de la vérité et hors de l'humain. Mais cette image est aujourd'hui difficile à défendre.

La science pleut littéralement sur nous : elle a mille et une retombées pratiques, diversement connotées, qui vont de l'informatique à l'énergie atomique en passant par les vaccins, les OGM et les lasers. Ici, ce qu'elle fait rassure, là, ce qu'elle annonce angoisse. Mais une tendance générale se dessine : tout se passe désormais comme si les avancées accomplies dans l'étendue des savoirs scientifiques ou la puissance des techniques devaient se payer, chaque fois, de nouveaux risques, ou de risques accrus – d'ordre sanitaire, environnemental, ou encore symbolique – qui alimentent l'inquiétude et la défiance. Les sciences se développent au sein de la société et non au-dessus d'elle, et s'y montrent essentiellement par le biais des multiples transformations qu'elle induit, notamment dans la vie quotidienne. Or, personne ne pense que cette société est parfaite. Alors, qu'ils soient perplexes, critiques ou hostiles, certains citoyens interrogent les liens des sciences et des technologies avec les pouvoirs, le marché, l'économie, la santé... Et chaque fois qu'une nouvelle possibilité technologique se présente, ce sont deux logiques, presque deux métaphysiques,

Questions d'éthique Par Alexei Grinbaum

L'éthique ? Dès que le mot est lâché vient à l'esprit l'idée d'un jugement : au motif qu'elle nous a fait du bien ou du mal, telle technique ou telle connaissance sera jugée bonne ou mauvaise. Mais, avant tout jugement, l'éthique exige un engagement, un effort intellectuel, une réflexion. Avant de juger, il faut envisager une multitude de cas concrets, tous différents, tous exigeant un traitement particulier. La question éthique est donc toujours appliquée tandis que sa formule générale serait : « Quelle est la signification du changement qu'opère la technique dans la condition humaine ? ». Déjà posée par Hannah Arendt, en 1958, dans *La Condition de l'homme moderne*, cette interrogation ouvre un espace d'interprétations. Arendt soulignait l'emprise qu'opère le savoir-faire sur le savoir : pour connaître, il faut faire, fabriquer, construire. Dans les années 1970, Hans Jonas fut le premier à soulever l'enjeu de la responsabilité du chercheur : il y voyait la répercussion du décalage, impossible à compenser, entre la célérité de l'action technique sur le monde et la lenteur de notre appréhension de ses conséquences. Contrairement à la doctrine qui prévalait depuis Aristote, la contemplation ne suffit plus à valider la connaissance. Lorsque pour connaître nous agissons, le savoir qui en résulte n'est pas l'unique conséquence. C'est pourquoi la prolifération de l'action technique et la fabrication par les sciences, dans la mesure où leurs conséquences ne peuvent pas être parfaitement anticipées et régulées par avance, sont devenues un problème éthique qui réclame une réflexion adéquate.

qui s'affrontent ; l'une se réduit au calcul comparatif des coûts et des bénéfices (c'est celle des opérateurs, incités à innover pour être compétitifs) ; l'autre, attentive aux dommages que pourrait provoquer une telle réduction, cherche à reconstruire une approche du monde où la rationalité, comprise comme ce qui est raisonnable, imposerait des limites aux conclusions des calculs pour prendre en compte d'autres considérations, plus qualitatives ou plus indirectes. Mais si les sciences, désormais entourées d'un vaste halo technologique et économique, ne sont plus hors-société, même si elles sont insérées pleinement dans la société, elles n'y occupent pas tout l'espace. Il est sans doute vain - parce qu'utopique - de défendre, en matière de sciences, une conception trop scolaire de l'exercice de la démocratie. Reste que la soi-disant opposition entre culture et science mériterait sans doute d'être davantage inquiétée. La faiblesse de notre équipement intellectuel en la matière vaut pour tout le monde, philosophes, politiques, journalistes et experts compris. Il est devenu urgent de réinventer une « culture technique et scientifique » qui permette aux citoyens de s'orienter face aux défis du développement technologique qui sont à l'horizon de notre temps.

Comment partager les connaissances scientifiques ?

Une éducation à la science : les MOOCs.

Par Vincent Minier (SAP, Larsim)

*Le vent se lève!... il faut tenter de vivre!
L'air immense ouvre et referme mon livre,
La vague en poudre ose jaillir des rocs!
Envolez-vous, pages tout éblouies!
Rompez, vagues!
Rompez d'eaux réjouies
Ce toit tranquille où picoraient des focs!*

Le cimetière marin, Charmes (1922), P. Valéry

14

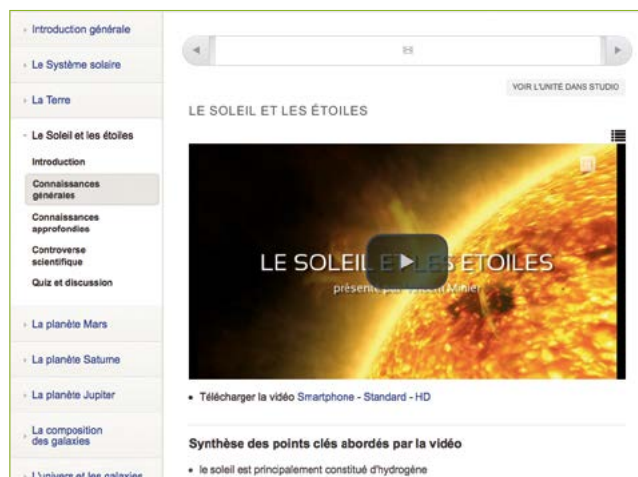
N° 94 - AVRIL 2016

MASSIVE OPEN ONLINE COURSE
MOOC – un drôle de mot pour décrire une formation ouverte à tous et associant des milliers d'étudiants en ligne. Le concept nous vient des États-Unis et des pionniers comme le MIT. À l'origine, les MOOCs n'étaient que la prolongation de l'apprentissage diffusé sur l'internet, « e-learning », lui-même modernisant l'enseignement à distance. Ils proposaient des cours magistraux en vidéos et des devoirs en ligne. Aujourd'hui les MOOCs sont édités sur des plateformes d'hébergement (edX, FUN* en France, Coursera, Openclassrooms...). Ils s'appuient sur les formats du Web et proposent un apprentissage collaboratif tout en testant les acquis et en respectant la temporalité d'un cours. Ainsi un MOOC se décompose en séances hebdomadaires, chacune regroupant des vidéos généralement courtes et tournées en studio, des textes, des quizz et des forums de discussion. La place du professeur, mis en vedette dans les vidéos, demeure néanmoins écrasante. Les raisons sont économiques. Il est moins coûteux de filmer un chercheur (bénévole) que de bien scénariser et réaliser une vidéo enrichie d'animations.

La transformation du e-learning suit celle du numérique qui s'est modifié dans ses usages (smartphones, tablettes), ses technologies (video streaming, haut débit) et dans ce qu'il est : un nouveau milieu mnémotechnique. Le numérique n'est plus simplement un support et un ensemble de technologies de l'information. Il reconfigure en profondeur les disciplines scientifiques et l'accès aux connaissances.

Pour dépasser la relation classique enseignant-étudiant, certains MOOCs tentent l'expérience « connectiviste » : les étudiants les plus motivés contribuent activement à l'organisation des discussions et le professeur s'efface progressivement. Ce fut le cas du MOOC ExplorUnivers (Figure ci-contre) sur l'astronomie populaire porté au sein de l'Irfu par le SAP et le Larsim en 2015 et premier MOOC du CEA. Il s'appuyait sur des contenus multimédia et interdisciplinaires dont des vidéos très spatiales, des entretiens filmés incitant les étudiants à questionner eux-mêmes les connaissances transmises et des éclairages épistémologiques. Cela conduit à une immense synthèse finale, contributive et auto-organisée.

Notons également le MOOC *Des particules aux étoiles*, auquel l'Irfu a largement contribué, ciblant des étudiants en master



Vue du tableau de bord du MOOC ExplorUnivers sur France Université Numérique en 2015.

mais qui a attiré une communauté plus large. C'est la magie du MOOC où classes d'enfants, familles, cadres, retraités, non diplômés etc peuvent échanger ensemble tout en étant dans un environnement (virtuel) universitaire.

Alors un MOOC pour quoi faire ?

Pour la culture scientifique et technologique, car un MOOC permet de toucher un public large, en âge, en niveau scolaire ou universitaire, et en terme de catégories socio-professionnelles. Il participe ainsi à la formation permanente des citoyens.

Pour la formation continue, car un MOOC peut proposer des formations plus ciblées sur des sujets techniques. Pour rencontrer des étudiants ayant des compétences interdisciplinaires, car un MOOC permet d'identifier des profils d'intérêt par l'intermédiaire des discussions.

Pour la valorisation des activités et des compétences du CEA, car un MOOC est une vitrine sur nos recherches scientifiques et techniques.

« Alors oui, l'École continue tout le long d'une vie. Une culture bloquée sur un temps scolaire est la négation même de la culture scientifique. Il n'y a de science que par une École permanente.

C'est cette école que la science doit fonder. Alors les intérêts sociaux seront définitivement inversés : la Société sera faite pour l'École et non pas l'École pour la Société ».

La formation de l'esprit scientifique, G. Bachelard.

*France Université Numérique « FUN ».

Lien vers vidéos du MOOC : vimeo.com/channels/explorunivers

Lien vers plateforme avec vidéos MOOC : explornova360.com

— A_V 25 mag
— A_V 50 mag
— A_V 100 mag

Art(s) et Science(s)

Par Vincent Minier



Au-delà des dispositifs de médiation, les arts numériques subliment les découvertes en donnant forme et sens à des concepts souvent abstraits. Nos créations associant astrophysiciens et artistes participent à l'invention d'une culture fondée sur l'authenticité scientifique et l'affirmation du monde sensible nous entourant.

La mission Herschel et ses programmes d'observation au Service d'astrophysique ont caractérisé les structures internes des nuages moléculaires, lieux de la formation stellaire dans les galaxies. Ces immenses réservoirs de poussière et gaz s'étendent sur environ une centaine d'années-lumière. Leur densité est extrêmement faible, quasiment nulle par rapport à l'atmosphère terrestre. Toutefois elle est largement supérieure à la densité du milieu interstellaire environnant. Les nuages moléculaires sont ainsi souvent représentés comme des nuages flottants dans l'espace. Cette visualisation permet d'appréhender leur taille et leur condensation. Mais elle ne donne pas accès à une expérience sensible de leur forme, de leur vide ou encore des phénomènes dynamiques s'y produisant.

Prenons l'exemple du nuage moléculaire Vela C. L'analyse par DisPerSe (un algorithme d'identification multi-échelle de structures) de la carte de densité, déduite des données Herschel, réduit ce nuage en un réseau de filaments interstellaires (présenté par l'image du bandeau).

Cette (longue) phrase décrit succinctement un résultat majeur. Néanmoins, affichée dans une exposition en légende d'une belle image de Vela C, elle laissera le visiteur perplexe. L'incompréhension sera immédiate entre les visiteurs d'une exposition sur l'astrophysique recherchant une expression esthétique de ce qui est caché et la tentation positiviste du chercheur de ne dire que ce que la recherche produit. Il faut alors changer les codes, coloriser l'image, l'animer et utiliser l'art pour étendre le cercle d'initiés à l'astrophysique. En quelque sorte, il faut stimuler la rêverie et l'imagination qui, comme

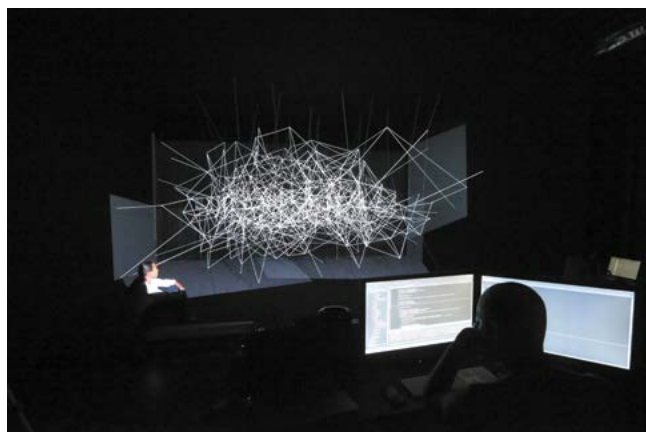
« ...il faut stimuler la rêverie et l'imagination (...) à la source de l'intuition scientifique... »

le disait Bachelard, sont bien souvent à la source de l'intuition scientifique : « On ne peut étudier que ce qu'on a d'abord rêvé. La science se forme plutôt sur une rêverie que sur une expérience et il faut bien des expériences

pour effacer les brumes du songe ».

Devons-nous jouer sur cette corde sensible alliant rêverie et expérience pour entraîner le visiteur vers l'expression abstraite d'un résultat scientifique, et pour cela, concevoir des représentations s'adressant à un cerveau dual, « quelque chose comme deux compartiments du cerveau, pour sentir, d'un côté, la science, de l'autre, ce qui n'est pas la science : existant côte à côte, sans confusion, séparables, étanches » comme le concevait Nietzsche ? L'astrophysique se prête particulièrement bien à cette expérience. Notre vision actuelle de l'univers demeure une source d'imagination pour la représentation des signaux captés par les détecteurs ou encore pour la mise en forme d'un résultat abstrait. Nous avons ainsi proposé une expérience sensible des filaments interstellaires d'un nuage moléculaire avec les artistes numériques de KimChi and Chips en partenariat avec Stereolux à Nantes. Un réseau de cordelettes en nylon (*photos*) forme une structure s'étendant sur $5 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$. Le visiteur la touche pratiquement. Les vidéos projecteurs illuminent le réseau et simulent le passage d'ondes de choc fragmentant les filaments interstellaires en essaim de protoétoiles se métamorphosant en une constellation d'étoiles.

Rationalité scientifique et réaffirmation du monde sensible nous entourant seraient ainsi les deux piliers de la valorisation culturelle de l'astrophysique.



Le nuage moléculaire Vela C, servant de modèle à cette œuvre, se décompose en segments de matière représentant des zones un peu plus denses dans le quasi-vide interstellaire. La formation des filaments est probablement due à la dissipation d'énergie à la suite de mouvement de compression dans ce milieu. Immergée dans un paysage filaire dense suspendu dans le vide et occupant la noirceur d'un espace, l'installation Molecular Cloud déploie un champ visuel à partir d'impulsions lumineuses fragmentées, illuminant par séquences les différents segments de cette étrange composition architecturale. Puisant dans les techniques de peintures lumineuses et les jeux de persistance rétinienne, la pièce stimule un dialogue contrasté entre la matérialité noueuse des filaments interstellaires et l'immatérialité fluctuante de la lumière des étoiles. La vidéo de l'œuvre est disponible sur http://www.dailymotion.com/video/x263bo6_molecular-cloud_creation

L'Irfu à l'affiche!



Le vent se lève! 風立ちぬ (Kaze tachinu)
livre de Tatsuo Hori (1936), film de H. Miyazaki (2013)
«... il faut tenter de vivre!» P. Valéry



Μή, φίλα ψυχά, βίον ἀθάνατον
σπεύθε, τὰν ὄ' ἔμπρακτον ἀντλεῖ μαχανάν.
Pindare, Pythique III, vers 61-62. (*E)

Quand le boson scalaire de Higgs donnera l'horloge des anges d'ici-bas, l'accélérateur de particules éclipsera l'éclat du créateur...

Plumes

- ♦ Vincent Bontems, **Bachelard**, Les Belles Lettres, « Figures du savoir », 2010.
- ♦ Vincent Bontems & Roland Lehoucq, **Les Idées noires de la physique**, Les Belles Lettres, à paraître.
- ♦ Gilles Cohen-Tannoudji et Michel Spiro, **Le Boson et le Chapeau mexicain**, Gallimard « Folio essais », 2013.
- ♦ Alexei Grinbaum, **Mécanique des étreintes. Intrication quantique**, Encre marine « à présent », 2014.
- ♦ Etienne Klein, **Conversations avec le Sphinx, les paradoxes en physique**, Albin Michel, 1991, Le Livre de poche 1994.
- ♦ Etienne Klein et Michel Spiro, **Le temps et sa flèche**, Champs Flammarion, 2010, 2013 (Actes de colloque, 1996).
- ♦ Etienne Klein, **Discours sur l'origine de l'univers**, Flammarion, 2010.
- ♦ Etienne Klein, **Y-a-t-il eu un instant zéro?**, Flammarion, 2015.
- ♦ Etienne Klein, **Les Secrets de la matière**, Flammarion Libro, 2015.
- ♦ Etienne Klein, **Le Pays qu'habitait Albert Einstein**, Actes Sud, à paraître.

Cours et conférences

- ♦ Des réunions-séminaires-rencontres sur la *Philosophie des Techniques, et des « ateliers Simondon »* (C2I2) sont organisés à l'ENS.
- ♦ Lire : **Gilbert Simondon et l'Invention du futur**, Paris, Klincksieck « Continents philosophiques », 2016. Actes de la décade des 5-15 août 2013 du Centre culturel international de Cerisy-la-Salle, coordination éditoriale de V. Bontems. Trois articles sont écrits par V. Bontems, G. Cohen-Tannoudji et V. Minier.
- ♦ Écouter les interventions de V. Bontems : <http://www.franceculture.fr/emissions/les-nouveaux-chemins-de-la-connaissance/gilbert-simondon-44-l-invention-du-futur>

(*E) (V. Lapoux) Traduction d'Aimé Puech (Les Belles Lettres, 1951) :
« O mon âme, n'aspire pas à la vie immortelle, mais épuise le champ du possible ! »
Traduction d'Alain Frontier (μηχανή (machina)) [<http://www.sitaudis.fr/Incitations/lettre-a-un-ami.php>] :
« O mon âme, cesse d'aspirer à la vie immortelle, mais épuise les ressources techniques du possible ! »
Michel Briand, Univ. de Poitiers [<http://rursus.revues.org/468>] cite une version, attribuable à Paul Valéry lui-même :
« N'applique pas, ô mon âme, ta recherche à la vie immortelle, mais capte les sources mêmes de l'effort humain ».



Conversations radiophoniques

Conversation animée par E. Klein, un scientifique s'entretient avec un autre scientifique :
<http://www.franceculture.fr/emissions/la-conversation-scientifique>

Expositions et festivals

- ♦ Vincent Minier & équipe ExplorNova, Les Utopiales, Scopitone, Voyages Planétaires (Nantes) : voir <http://explornova.eu/wp/?p=166>
- ♦ ExplorNova Showroom, un lieu d'exposition SPHN-SAp-Irfu, CEA-Saclay bât. 703, Orme des Merisiers (ouverture en sept. 2016).

Art et Science

- ♦ Œuvre d'art numérique *unfold* par l'artiste Ryoichi Kurokawa et Vincent Minier. Fact (Liverpool), 11 mars - 12 juin 2016 ; Scopitone (Nantes), 21 - 25 sept. 2016 <https://vimeo.com/158614396>
- ♦ Créations ExplorNova sur explornova.eu/#studio
- ♦ Vidéos Picturing star motion : <https://vimeo.com/channels/977204>

Caméras

- ♦ Alexei Grinbaum apparaît dans TRAUM, un film (et une exposition) de Dorothée Smith : <http://diacritik.com/2016/02/25/des-fantomes-entretien-avec-dorothee-smith-par-charlotte-redler-et-isabelle-zribi/>
- ♦ Etienne Klein a co-scénarisé et joué dans « *Le mystère Ettore Majorana* », documentaire produit par Terra-Luna Films, diffusé en juillet 2016 sur la chaîne France 5.
- ♦ Vincent Minier a scénarisé et apparaît dans ExplorUnivers, une série de vidéos d'astronomie populaire diffusée par la web-chaîne Vimeo : <http://vimeo.com/channels/explorunivers>

...Et bien d'autres « Anagrammes renversantes ou Le sens caché du monde » de E. Klein et J. Perry-Salkow, Ed Flammarion, 2011.

Directeur de la publication (chef de l'Irfu) : A.-I. Etievre - Conseiller scientifique : G. Cohen-Tannoudji - Rédaction en chef : Valérie Lapoux

Comité éditorial du numéro 94 : Nathalie BESSON (SPP), Philippe BRIET (Dir Com), Gilles COHEN-TANNOUDDJI (Larsim), Dominique GILLES (SAP), Bertrand HERVIEU (SACM, LCSE), Fabien JEANNEAU (SEDI, DEPHY), Sophie KERHOAS-CAVATA (Dir Com), Valérie LAPOUX (SPHN, LENA), Ange LOTODE (SIS, LEIGE), Pierre MANIL (SIS, LCAP), Jacques MARRONCLE (SEDI, LASYD), Thomas MATERNA (SPHN, LEARN), Emmanuel MOULIN (SPP), Vanina RUHLMANN-KLEIDER (SPP), Yves SACQUIN (SPP), Angèle SENE (Dir Com), Thierry STOLARCZYK (SAP), Didier VILANOVA (SPP).

Crédit Photos : Irfu (p.1, p.3) ; V. Lapoux (p.1-3, p.10-11, p.16) ; C215 (Ch. Guémy) et CEA, Irfu (p.6) ; Irfu, V. Minier (p.7-9) ; MOOC ExplorUnivers, Fr. Univ. Num. (p.14) ; Vela C et ses filaments : Hill et al. 2011 (p.15) ; V. Minier, Kim Chi and Chips & Ouestmedias (p.15).

Dépôt légal : Avril 2016 - ISSN 1268-7855

Numéros de scintillations : <http://irfu.cea.fr/ScintillationS>