



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Développement de céramiques pour l'ingénierie tissulaire osseuse : de la synthèse de matériaux à l'évaluation biologique

Development of ceramics for bone tissue engineering: from material elaboration to biological evaluation

Amandine Magnaudeix

IRCER, UMR 7315, Université de Limoges, CNRS

amandine.magnaudeix@unilim.fr

Eric Champion

IRCER, UMR 7315, Université de Limoges, CNRS

eric.champion@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/301>

DOI : 10.25965/lji.301

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Les propriétés biologiques des céramiques phosphocalciques, dont l'hydroxyapatite, de composition chimique proche de celle de l'os minéral ne sont pas suffisantes pour répondre à l'ensemble des besoins en médecine régénérative osseuse. Pour en améliorer les performances biologiques plusieurs leviers d'actions existent à différents niveaux de la chaîne d'élaboration de ces biomatériaux. Or, chaque maillon de cette chaîne correspond à un champ disciplinaire spécifique lié à un domaine scientifique différent (ex : chimie des matériaux *vs.* biologie). L'organisation de la recherche menée à l'IRCER autour de cette thématique est donc le reflet de cette transdisciplinarité. Elle implique une perméabilité et un dialogue constant entre les disciplines et permet la maîtrise de la recherche depuis la synthèse du matériau jusqu'à l'évaluation de ses performances biologiques.

Mots clés : biomatériaux, céramiques phosphocalciques, substituts osseux, porosité multi-échelle, interface vivant-matériau

Abstract: Biological properties of calcium phosphate ceramics, among which hydroxyapatite, with a chemical composition close to that of bone mineral, are not sufficient to meet all the needs in bone regenerative medicine. To improve their biological performances, several levers of action are distributed throughout the different steps of the production chain of these biomaterials. However, each element of this chain relates to a specific disciplinary field associated to a different scientific field (e.g. materials chemistry *vs.* biology). The organisation of the research conducted at IRCER around bioceramics is therefore a reflection of this transdisciplinarity. It implies permeability and ongoing dialogue between the disciplines and allows the control of research from the synthesis of the material to the evaluation of its biological performance.

Keywords: biomaterials, calcium phosphate ceramics, bone substitutes, multiscale porosity, living-biomaterial interface

Introduction

L'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER) est un laboratoire dédié à l'étude des matériaux céramiques et des procédés d'élaboration de pièces associées pour des applications très diverses. Ainsi, les travaux de recherche qui y sont menés sont, par essence, pluridisciplinaires. En son sein, l'équipe « Biocéramiques » illustre parfaitement cette pluridisciplinarité. Forte de 30 ans d'expérience en recherche sur les phosphates de calcium, ses objectifs actuels sont le développement de nouveaux matériaux céramiques phosphocalciques poreux, mis en forme par des technologies de fabrication additive, pour des applications en ingénierie tissulaire osseuse. À la croisée des chemins entre sciences du vivant et sciences des matériaux, cette thématique de recherche nécessite la collaboration active de scientifiques provenant d'horizons disciplinaires multiples : sciences des matériaux, génie des procédés, biologie cellulaire, sciences pharmaceutiques, sciences chirurgicales.

1. Ingénierie tissulaire osseuse : l'existant et l'idéal

Le tissu osseux est un organe à la fois vivant et minéral, par les cellules spécialisées qui le constituent et par les cristaux de phosphates de calcium déposés dans la matrice structurante sécrétée par une partie de ces cellules. Il est l'un des rares tissus de l'organisme à présenter des facultés d'autoréparation qui peuvent être qualifiées de régénération car le tissu cicatriciel résultant de sa cicatrisation est identique au tissu initial. Cependant, dans des contextes cliniques spécifiques comme suite à des traumatismes importants (traumatismes balistiques, accidents) ou une exérèse chirurgicale (retrait de tissus endommagés) consécutive à des pathologies (cancers, infections), la quantité d'os manquant est telle que l'implantation de matériaux exogènes est indispensable. L'ingénierie tissulaire osseuse consiste donc à employer un matériau, quelle que soit son origine, naturelle ou synthétique, pour servir de support à la réparation et à la régénération de tissus osseux lésés.

Malgré de nombreuses contraintes évidentes, la greffe et en particulier l'autogreffe, où le greffon est prélevé sur le patient lui-même en un autre site que le site lésé, reste la méthode standard en chirurgie de réhabilitation fonctionnelle, car donnant les meilleurs résultats. Le matériau implanté ici est donc d'origine naturelle. L'utilisation de matériaux synthétiques ou biomatériaux en tant que substituts osseux constitue une alternative intéressante. Ainsi, plusieurs générations de biomatériaux ont été développées et sont utilisées actuellement. Une première génération, développée à partir des années 1940, correspond à des matériaux inertes sur le plan biologique (pas d'effet sur les tissus et les cellules de l'organisme hôte) et biocompatibles. Ces matériaux permettent de remplacer les fonctions mécaniques de l'os manquant. Depuis les années 1980, une seconde génération de biomatériaux, majoritairement des biocéramiques à base de phosphate de calcium (CPC) et des bioverres, est utilisée (Champion et al., 2021). Ces matériaux ont la capacité d'interagir avec l'organisme et sont donc dits bioactifs. Ils sont capables de se dégrader, par dissolution et résorption ostéoclastique¹, lorsqu'ils sont implantés dans l'organisme. Cette bioactivité fait également référence à leur capacité à supporter l'attachement, la croissance et la fonction des cellules productrices d'os, les ostéoblastes, propriété

¹ Les ostéoclastes sont les cellules responsables de la résorption osseuse.

définie sous le terme d'ostéoconductivité. Parmi ces matériaux de seconde génération, l'hydroxyapatite (HA) est un phosphate de calcium de composition chimique proche de celle du minéral osseux humain (cf §2.1). L'hydroxyapatite est parfaitement tolérée par l'organisme, ostéoconductrice mais non résorbable. Ces matériaux sont couramment implantés pour le comblement de pertes de substance osseuse. L'apport des technologies de conception et de fabrication additive assistées par ordinateur ont permis d'en augmenter le champ d'applications en permettant l'obtention d'architectures tridimensionnelles complexes. Par exemple, des pièces mises en forme couche par couche par la méthode de stéréolithographie, développés en collaboration avec des équipes de l'IRCER², du CTTC³ et l'entreprise 3DCeram, ont été implantées avec succès en chirurgie maxillo-faciale pour la reconstruction de grandes lésions crâniennes et/ou faciales. La pose d'un implant crânien en céramique d'hydroxyapatite phosphocalcique, par le Dr Brie en 2005 au CHU de Limoges, constituait une première mondiale (Brie et al., 2013). Une étude rétrospective portant sur les résultats obtenus suite à l'implantation de 19 patients a montré que 72,2 % de ceux-ci présentaient une fusion totale de l'os concerné avec l'implant (Usseglio-Grosso, 2015). De plus, la fonction de protection du cerveau ainsi restaurée a permis une récupération neurologique tout en assurant un résultat esthétique extrêmement satisfaisant. Les biomatériaux existants ne peuvent toutefois pas répondre à tous les besoins en médecine régénérative osseuse, en particulier pour leurs utilisations sous forme de grands implants (défauts osseux de surface supérieure à 20 cm²). Notamment, lorsqu'ils sont utilisés sous forme de support poreux pour favoriser la régénération osseuse (cf § 2.2.), les implants sont faiblement vascularisés et les tissus néoformés pénètrent difficilement en profondeur (c'est-à-dire au-delà d'un centimètre). Il est donc indispensable de développer de nouveaux matériaux innovants avec des propriétés biologiques optimisées, idéalement stimulant la réparation osseuse et biodégradables, pour être à terme remplacés par de l'os néo-formé.

2. La chaîne de recherche pour l'élaboration de biomatériaux céramiques optimisés et innovants : où la transdisciplinarité prend tout son sens

Les membres de l'équipe « Biocéramiques » couvrent par leurs compétences l'ensemble des champs disciplinaires nécessaires pour effectuer une recherche efficace portant sur l'élaboration de biomatériaux innovants. Ainsi, la chaîne de recherche permet d'aller de la synthèse du biomatériau, suivie de sa mise en forme pour l'obtention d'implants personnalisés, jusqu'à l'évaluation de ses propriétés applicatives, c'est-à-dire ici, de ses performances biologiques. Ces dernières propriétés auront pu être modulées par le couplage de la céramique à des molécules actives (Damia et al., 2021) (figure 1).

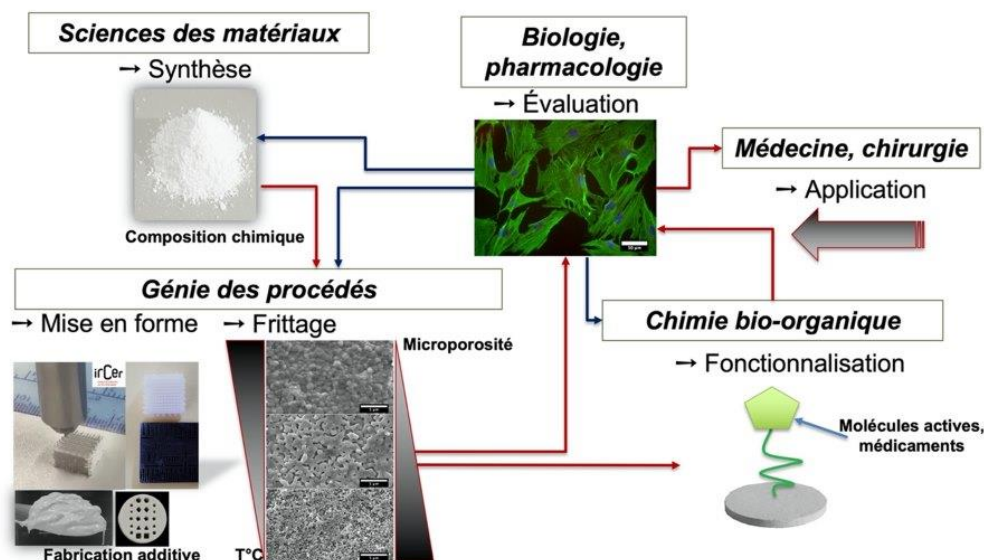
Cette constitution transdisciplinaire de l'équipe permet, en plus de disposer de plusieurs leviers d'action complémentaires pour accroître les propriétés du matériau, de permettre les retours d'expérience à différents niveaux, rationalisant ainsi la démarche de recherche. La présence de chirurgiens dans l'équipe (chirurgie maxillo-faciale, orthopédie) va permettre de concevoir la recherche jusqu'à

2 Alors appelé SPCTS pour Science des Procédés Céramiques et de Traitements de Surface.

3 CTTC : Centre de Transfert de Technologies Céramiques

l'application et d'avoir une vision claire des besoins. Ici donc, le mot transdisciplinarité prend tout son sens, les champs de compétences font plus que se côtoyer, ils dialoguent et se mêlent.

Figure 1 : La chaîne de recherche pour l'élaboration de biocéramiques implantables innovantes pour la réparation osseuse et les champs disciplinaires associés.



2.1. La synthèse : les sciences des matériaux à l'origine

L'hydroxyapatite synthétique est un phosphate de calcium de composition proche de celle du minéral osseux mais simplifiée quant aux éléments chimiques qui la constituent : $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ pour l'HA synthétique, contre $Ca_{8,3}\square_{1,7}(PO_4)_{4,3}(HPO_4,CO_3)_{1,7}(CO_3,OH)_{0,3}\square_{1,7}$ (où \square = lacunes, Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , F^- , etc.) pour l'os. L'introduction dans la structure du matériau d'éléments chimiques avec un intérêt biologique est donc une voie prometteuse. Parmi ces éléments, on peut citer le silicium, décrit pour stimuler des aspects liés à la réparation osseuse et à la vascularisation, ainsi que le cuivre qui serait un inducteur de phénomènes associés à la vascularisation. Ce pan de recherche est entièrement associé aux sciences des matériaux. Après avoir développé le nouveau composé, il faut ensuite en caractériser la chimie (détermination de sa formule), par exemple $Ca_{10}Cu_x(PO_4)_6(OH)_{2-x}O_x$ pour les hydroxyapatites contenant du cuivre récemment développées au laboratoire dans le cadre de la thèse de Tiphaine Bazin (Bazin, 2020), ainsi que les propriétés physico-chimiques.

2.2. Une architecture sur-mesure, le savoir-faire en génie des procédés

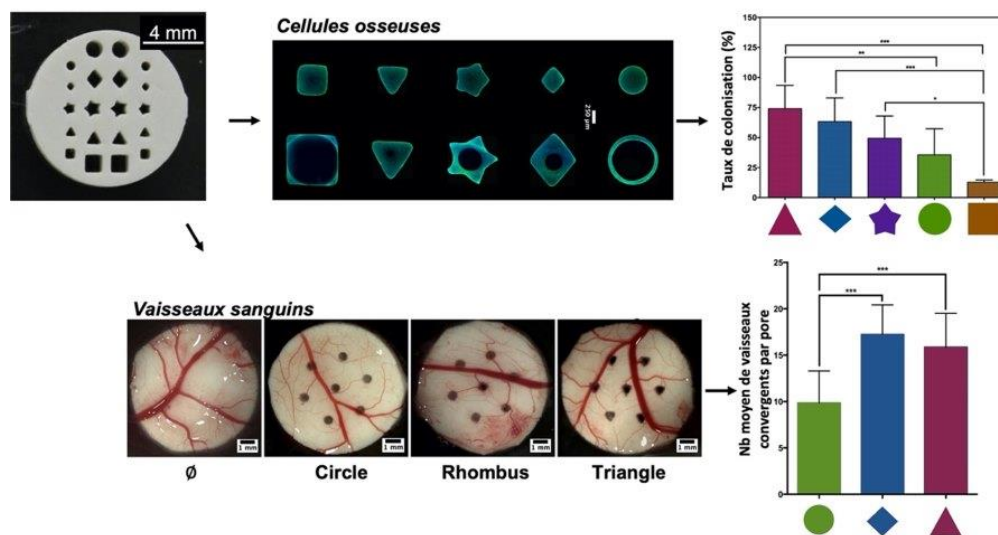
Le composé obtenu va permettre la fabrication de l'objet. Intervient ici le génie des procédés qui va, en utilisant des méthodes de conception assistée par ordinateur (CAO) permettre la fabrication assistée par ordinateur (FAO) en utilisant des technologies de fabrication additive. Dans le cadre de la fabrication des implants crânio-faciaux évoqués plus tôt, cela a permis la production d'implants personnalisés où la CAO a été réalisée à partir des fichiers scanners du patient avant la production elle-même de la pièce. Le résultat en est un implant parfaitement adapté à la lésion du patient et avec une structuration différente en fonction des zones : dense au centre pour de meilleures performances mécaniques (plus grande solidité) et présentant une macroporosité en périphérie (pores de taille supérieure à 300 μm) afin

d'assurer une meilleure colonisation par les cellules osseuses à la jonction avec l'os natif du patient, et donc une meilleure intégration dans l'organisme (Brie et al., 2013).

A l'échelle du laboratoire, des pièces tridimensionnelles sont également produites par différentes méthodes de fabrication additive. Par exemple, l'utilisation de la microstéréolithographie (qui s'apparente à une forme d'impression 3D) a permis la production de disques de céramiques avec des macropores traversants de géométrie contrôlée. Ces pièces modèles ont ensuite été utilisées dans des études menées avec différents modèles biologiques. Ainsi, il a pu être mis en évidence que la géométrie des macropores influence fortement la colonisation des céramiques par les cellules osseuses (Rüdrieh et al., 2019), mais aussi par des tissus plus complexes comme les vaisseaux sanguins (Magnaudeix et al., 2016) (figure 2).

Au niveau de l'architecture du matériau mais à une échelle différente, l'ajout de microporosité (pores de taille supérieure à 10 μm), en augmentant la surface d'échange disponible avec les fluides biologiques et en modifiant la topographie de surface du matériau, influence la manière dont les cellules interagissent avec lui. La présence et le taux de microporosité est dépendant du temps et de la température de chauffe subis par le matériau lors de l'étape de « cuisson » appelée frittage, indispensable à la fabrication d'une céramique. Aussi, les pièces produites peuvent présenter une porosité multi-échelle.

Figure 2 : Étude de la colonisation des macropores en fonction de leur géométrie réalisée à partir de pièces céramiques produites par fabrication additive.



Pour aller plus loin, sont actuellement développés d'autres types de pièces modèles avec une porosité multi-échelle pour comprendre, notamment, comment le matériau et les fluides biologiques ou les cellules de différents types interagissent.

2.3. La biologie cellulaire permet le développement de modèles adaptés

L'intervention des sciences biologiques est importante ici pour caractériser les propriétés biologiques du matériau et ses performances. En reprenant l'exemple des céramiques dopées au cuivre citées plus

haut, l'évaluation *in vitro* a permis de déterminer quel taux de cuivre pouvait être inséré dans la structure de l'hydroxyapatite sans engendrer de toxicité à court terme pour les cellules osseuses (Bazin et al., 2021). L'apport de la biologie permet de comprendre également les phénomènes qui surviennent lorsque les cellules sont en contact avec la céramique. C'est l'exemple ci-avant de la compréhension du processus de colonisation des macropores de la céramique par les cellules et de l'identification des facteurs le régissant.

Pour toutes ces caractérisations, l'utilisation de modèles biologiques adaptés est essentielle. Cependant, l'utilisation d'une culture cellulaire simple contenant un seul type de cellules ne paraît pas suffisant. En effet, d'un point de vue physiologique, le processus de réparation de l'os nécessite la communication entre différents types cellulaires présents dans le tissu osseux, en particulier les cellules qui vont constituer les vaisseaux sanguins avec les cellules qui vont être amenées à produire de l'os. Des travaux de différentes équipes ont mis en évidence que les cellules ne répondaient pas forcément toutes de la même manière au microenvironnement qui les entourent (ex : Costa et al., 2013). Ainsi, une cellule constitutive d'un vaisseau sanguin ne va pas forcément réagir positivement aux mêmes caractéristiques de surface d'un biomatériau qu'une cellule osseuse. Par ailleurs, lorsqu'un matériau est testé avec un type cellulaire, la contribution de la communication cellulaire n'est pas prise en compte. C'est pourquoi, la recherche autour de l'évaluation biologique des biomatériaux s'oriente vers le développement de modèles dits de co-cultures mettant en présence de cellules d'origine osseuse avec des cellules d'origine vasculaire par exemple.

En suivant l'idée de l'amélioration des modèles biologiques utilisés, la méthode de culture cellulaire elle-même est questionnée. Notre organisme est tridimensionnel, nos cellules et leur matrice structurante qu'elles produisent, assemblent et modèlent sont « programmées » pour fonctionner dans cette configuration. Aussi la culture bidimensionnelle, telle qu'elle est réalisée dans des boîtes de Pétri, peut entraîner des biais notamment concernant la production et la structuration de la matrice minéralisée par les cellules. Ainsi, dans une culture 2D, les cellules osseuses forment une monocouche et produisent leur matrice minéralisée au-dessus d'elles en un bloc qui va finir par les isoler du milieu de culture. Ces cultures ne peuvent donc pas être menées sur des temps longs et la matrice produite ne sera pas représentative de ce que peut être la réalité. Il est clair que ce type de méthode n'est pas adapté pour l'évaluation d'architectures céramiques poreuses 3D. En outre, notre organisme est aussi parcouru de fluides dont les mouvements sont ressentis par les cellules. L'absence de stimulation due à l'absence de la circulation de ces fluides, ce qui est le cas en culture 2D, peut modifier la manière dont une cellule va se comporter.

Par conséquent, pour évaluer les performances des biocéramiques, nous développons une méthode avancée de caractérisation par culture cellulaire en conditions tridimensionnelles et dynamiques, avec la circulation du fluide nutritif au cœur de modèles céramiques poreux, dans un bioréacteur à flux par perfusion. Ces développements sont au centre d'un projet financé par l'Agence Nationale de la

Recherche et impliquent des étudiants en thèse et en stage de master recherche du domaine Biologie/Santé⁴ au laboratoire.

3. Vers de nouveaux horizons...l'ouverture à d'autres disciplines

En complément de cette démarche de développement, il est nécessaire d'explorer des méthodes de caractérisations autres que celles utilisées de manière conventionnelle. Cette ouverture devrait permettre d'apporter de nouvelles informations pertinentes sur les phénomènes se produisant à l'interface entre le vivant et la biocéramique. L'utilisation de techniques d'imagerie optique avancées comme la microspectroscopie vibrationnelle dite « Raman cohérent » ou CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy) est une voie actuellement suivie en collaboration avec des spécialistes de photonique et du traitement et de l'analyse de données dans le cadre du laboratoire d'excellence (LabEx) SigmaLim associant l'IRCER et XLim (Magnauzeix et al., 2021).

La technologie CARS est une méthode d'imagerie spectrale. Chaque pixel de l'image résultante correspond à un spectre, c'est-à-dire une sorte de carte d'identité chimique de la zone associée à ce pixel. Elle est obtenue sans manipulation de la cellule, ce qui n'est pas le cas avec les méthodes d'imagerie optique conventionnelles utilisées actuellement pour visualiser les cellules à la surface des matériaux⁵. L'information obtenue est riche et complexe et nécessite le déploiement de méthodes numériques avancées et d'algorithmes pour l'exploiter complètement. Le recours à l'intelligence artificielle est également une voie prometteuse en ce sens (Boildieu et al., 2021).

Conclusion

Ces travaux de recherche réalisés au sein de l'équipe « Biocéramiques » de l'IRCER, en collaboration étroite avec d'autres équipes du secteur santé, ont été présentés ici dans le but de démontrer que la transdisciplinarité est indispensable dans la recherche liée au domaine de l'ingénierie pour la santé. Au-delà même de ce domaine de la santé publique, les futures générations de chercheuses et chercheurs doivent y être sensibilisées précocement pour avoir l'opportunité d'ouvrir leurs connaissances à d'autres champs disciplinaires que le leur au cours de leur formation et contribuer ainsi à mieux répondre aux enjeux et besoins sociétaux de demain.

Les travaux en liens avec le projet ANR CharaBioC ont été financés par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre de l'instrument JCJC avec la référence ANR-19-CE08-0003.

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier du LABEX SigmaLim dans le cadre du programme Investissements d'avenir géré par l'Agence Nationale de la Recherche avec la référence ANR-10-LABX-0074-01 Sigma-LIM.

⁴ Projet JCJC CharaBioC financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

⁵ Les méthodes conventionnelles nécessitent le ciblage spécifique de marqueurs mis en évidence grâce à l'utilisation de traceurs fluorescents ou couplés à des molécules fluorescentes.

Références

- Bazin, T., 2020. Synthèse, caractérisations structurales par spectroscopie et mise en forme d'hydroxyapatites dopées au cuivre ou au fer. Thèse de Doctorat en Physico-Chimie de la Matière Condensée, Université de Bordeaux
- Bazin, T., Magnaudeix, A., Mayet, R., Carles, P., Julien, I., Demourgues, A., Gaudon, M., Champion, E., 2021. Sintering and biocompatibility of copper-doped hydroxyapatite bioceramics. *Ceramics International* 47, 13644–13654. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.225>
- Boildieu, D., Helbert, D., Champion, E., Magnaudeix, A., Leproux, P., Carré, P., 2021. Segmentation integration in multivariate curve resolution applied to coherent anti-Stokes Raman scattering, in : Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO). Munich, Germany.
- Brie, J., Chartier, T., Chaput, C., Delage, C., Pradeau, B., Caire, F., Boncoeur, M.-P., Moreau, J.-J., 2013. A new custom made bioceramic implant for the repair of large and complex craniofacial bone defects. *J Craniomaxillofac Surg* 41, 403–407. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2012.11.005>
- Champion, E., Magnaudeix, A., Pascaud-Mathieu, P., Damia, C., 2021. Les céramiques biomédicales. *Arts et sciences* 5. <https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2021.0708>
- Costa, D.O., Prowse, P.D.H., Chrones, T., Sims, S.M., Hamilton, D.W., Rizkalla, A.S., Dixon, S.J., 2013. The differential regulation of osteoblast and osteoclast activity by surface topography of hydroxyapatite coatings. *Biomaterials* 34, 7215–7226. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2013.06.014>
- Damia, C., Magnaudeix, A., Laverdet, B., 2021. Chemical Functionalization of Calcium Phosphate Bioceramic Surfaces, in : Pomeroy, M. (Ed.), *Encyclopedia of Materials : Technical Ceramics and Glasses*. Elsevier, Oxford, pp. 716–731. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.12108-3>
- Magnaudeix, A., Champion, E., Leproux, P., Carré, P., 2021. La transdisciplinarité au service de la conception d'implants innovants « éphémères ». *Microscop*, CNRS Centre Limousin Poitou-Charentes 83, 22–23. <https://www.centre-limousin-poitou-charentes.cnrs.fr/fr/microscop>
- Magnaudeix, A., Usseglio, J., Lasgorceix, M., Lalloue, F., Damia, C., Brie, J., Pascaud-Mathieu, P., Champion, E., 2016. Quantitative analysis of vascular colonisation and angio-conduction in porous silicon-substituted hydroxyapatite with various pore shapes in a chick chorioallantoic membrane (CAM) model. *Acta Biomaterialia* 38, 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2016.04.039>
- Rüdrich, U., Lasgorceix, M., Champion, E., Pascaud-Mathieu, P., Damia, C., Chartier, T., Brie, J., Magnaudeix, A., 2019. Pre-osteoblast cell colonization of porous silicon substituted hydroxyapatite bioceramics : Influence of microporosity and macropore design. *Materials Science and Engineering: C* 97, 510–528. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.046>
- Usseglio-Grosso, J., 2015. Reconstruction des pertes de substances osseuses cranio-faciales au moyen d'un implant sur mesure en hydroxyapatite : une série de 19 cas. Thèse de Doctorat en Médecine, Université de Limoges.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Sport in Paolo Sorrentino's Movies

Le sport dans les films de Paolo Sorrentino

Thomas BAUER

EHIC EA 1087

thomas.bauer@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/238>

DOI : 10.25965/lji.238

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Abstract: While sport is a popular theme for film directors, it is all too rarely studied by social science researchers. This is all the more true when it is considered as just one of the many narrative or decorative elements of the film and is not at the heart of the story. Such is the case for academic studies related to Italian director Paolo Sorrentino's work, in which the easily identifiable theme of sport is surprisingly nowhere to be found. Indeed, while reference to the body periodically occurs, most of the work conducted on his feature films focuses on the recurrent themes of politics and the quest for power, loneliness and isolation, the flâneur in post-industrial society, sexism, irony, and of course the mafia. The sporting occurrences (including footballer Antonio Pisapia in *L'Uomo in più*, Cheyenne's ping-pong match in *This Must Be the Place*, as well as Fred Ballinger and Mick Boyle's alpine treks in *Youth*, etc.) cannot be missed. Why then does Sorrentino choose to refer to sport: for societal, narrative or nostalgic reasons? These questions and more invite us to identify the "constants" and "variables" of this theme, so as to highlight a strong element of his style.

Keywords: cinema, sport, filmmaker, soccer, Maradona

Mots clés : cinéma, sport, cinéaste, football, Maradona

Introduction

While sport is a popular theme for film directors, it is all too rarely studied by social science researchers.¹ This is all the more true when it is considered as just one of the many narrative or decorative elements of the film and is not at the heart of the story. Such is the case for academic studies related to Italian director Paolo Sorrentino's work, in which the easily identifiable theme of sport is surprisingly nowhere to be found. Indeed, while reference to the body periodically occurs (sexuality, dancing and even physical decline linked to ageing or illness), most of the work conducted on his feature films focuses on the recurrent themes of politics and the quest for power, loneliness and isolation, the flâneur in post-industrial society, sexism, irony, and of course the mafia. Studies likewise exist on his style and artistic choices concerning camera movement, color reconstruction and musical eclecticism. Yet, numerous references to sportspeople and physical activities can be found in his films, including footballer Antonio Pisapia (*L'Uomo in più*), the surf instructor (*Le Conseguenze dell'amore*), Cheyenne's ping-pong match (*This Must Be the Place*) and the football jugglery of Ramona's lover (*La Grande Bellezza*), as well as ball-throwing between female volleyball players (*L'Amico di famiglia*), Giulio Andreotti's fitness training (*Il Divo*), Fred Ballinger and Mick Boyle's alpine treks (*Youth*), and the workout of Pope Pius XIII (*The Young Pope*), etc. These sporting occurrences cannot be missed. Why then does Sorrentino choose to refer to sport: for societal, narrative or nostalgic reasons? Moreover, why does he attach more importance to certain sports, such as football, than others? Could it be that he sees it as a metaphor for life? These questions and more encourage identification of the theme's "constants" and "variables", with the aim of circumscribing, somewhere between film analysis and psychocritique,² the film director's symptoms of possible *acute sportsmania*. The corpus chosen for this study includes his first novel *Hanno Tutti Ragione* published in 2010, seven feature films screened between 2001 and 2015³ and the television series *The Young Pope* broadcast as from 2016.

1/ A dedicated sports oeuvre

Acting as a true source of inspiration, sport irradiates all of Sorrentino's cinematic work. From one storyline to another or one film to the next, the director signs his scripts with narrative elements arising from his experience and knowledge of physical activity. He plays with the viewers by discreetly, even secretly, interspersing a number of sometimes unusual references. By using allusions in this way, in the etymological sense of the word, does he not then consider sport as a signature from deep down, the significant trace of a path of meaning? Answering this question implies entering his inner geography by identifying the scenes and references to sport that mark his work. In a process bordering on "taxonomic

¹ A number of academics have explored the relationship between sport and cinema from different perspectives, including national identities (Klara Bruveris, 2017), technical representation of sport (Sebastian Byrne, 2017), portrayal of female athletes (Katharina Lindner, 2011), wrestling in early cinema (Luke Stadel, 2013), understanding sports coaching (Nicholas Chare, 2016) and, of course, Seán Crosson's remarkable and comprehensive book *Sport and Film* (2013).

² Psychocritique is a method of analysis which consists in studying an oeuvre to identify facts and relationships arising from the film director or character's unconscious personality. Credit for developing this psychological approach from literary texts goes to Charles Mauron (1899-1966).

³ *L'Uomo in più* (2001), *Le Conseguenze dell'amore* (2004), *L'Amico di famiglia* (2007), *Il Divo* (2008), *This Must Be the Place* (2011), *La Grande Bellezza* (2013), *Youth* (2015).

fury” (Barthes 1985, 156), occurrences were identified and organized, paying particular attention to the film decors, dialogues and characters’ postures. And so, a host of sporting activities accompany and reflect the director’s thoughts. Whether anecdotic or recurrent, they confront Sorrentino with his own sporting experiences and possibly even with the unchanging pillars of time. Here lies perhaps one of the challenges of his cinematic writing, producing *self-encoded* or *self-encrypted scripts* through which he strives to transform his seemingly perishable sporting memories into an inalterable form linked to melancholy and adolescence. While appearing to film football, swimming or dancing, he is in reality acknowledging the passing time. Through the examples he shows, he is providing partial pieces of an autobiographical jigsaw.

There is no doubt that sport is a key element of Paolo Sorrentino’s narration. *A priori* insignificant in how the plot unfolds, the sporting allusions in his films (a singular metaphor, a suggestive decorative object, a character built like an athlete, an action scene, etc.) nonetheless constitute a place for personal expression into which the discerning viewer may delve. Admittedly, Sorrentino’s main preoccupations concern Republican Italy and the grey areas of its history. Oscillating “between Sergio Leone style westerns and pure pulp gangster movies (Vacaro 2009, 183), his films show how tension operates between manipulators and the manipulated with, beneath the surface, the implication of politicians and financial leaders, football managers, mafia godfathers and even men of the Vatican. He also likes to give his stories a singular tonality by playing on both musical rhythm – hence the alternation between classical music and rock or electronic music – and energies, hence the sizeable place occupied by sport. From decors to ripostes, the art of Sorrentino lies in coinciding the narrative spine with a more personal message and may be modeled according to three techniques. The first involves the use of image as *a reference to the sporting sphere*. The director regularly “pitches” the camera following a tracking shot or in between two scenes so as to orient the viewer’s gaze towards a sporting action. Such is the case in a sequence of *This Must Be the Place*, where he films an appropriately dressed man rollerblading down a path in Central Park just before he has a memorable fall. The main character Cheyenne impassively watches the scene. The variety of film shots used by the director, from the sportsman on the ground to the rock star sitting peacefully on a bench, emphasize the situation and heighten its evocative power. As Alain Masson explains, “gesture is not limited to an immediate and simple meaning or value or function” (2007, 87). The second technique consists in making the sporting object *a condensed representation of the physical activity*. With a fixed or moving camera, Sorrentino periodically films the presence of sports-related equipment or work of art in the corner of a room, as with the skiing photograph on the hotel manager’s wall in *Le Conseguenze dell’amore* for example. The photograph symbolizes a window to the outside world, life and freedom within a story unfolding inside a closed space, confined and almost dehumanizing. Condensing in this way has its role to play in the construction of the viewer’s imaginary. Sorrentino acknowledged as much during one of his interviews in which he referred to the description of the location by saying “Malaise and mystery, that is the atmosphere the film aimed to create in the first part. But the decor of the hotel, frozen in time with its numerous mirrors and large windows, further reinforced its “aquarium” aspect and oneiric dimension”.⁴ Finally, in honor of his passion for football

⁴ Sorrentino, Paolo. *Le Conseguenze dell’amore/The Consequences of Love*. 2004. Behind the Scenes/Interview with the Director – DVD TF1 video, Ocean Films Distribution.

and according to the principle of *mise en abyme*, he regularly inserts a *mention of its sporting events*. He cannot help but show viewers the exceptional victories of the Naples football club and the vital role of Argentine Diego Maradona.

2/ Diego Maradona

Football occupies a special, not to say omnipresent, place in Sorrentino's work. He did not randomly choose the dramatic life of a footballer as the subject of his first film *L'Uomo in più*. Indeed, the story introduces two men who carry the name Antonio Pisabia. One is the pop singer "Tony", the other a young professional soccer player. For the two men, the 80s promise wealth and success, but their fortunes take a turn for the worse. After seducing a young girl, Tony is accused of rape, while Antonio tears his ligaments and can no longer play. Antonio becomes a coach, but finds he no longer has a place in the world of sport. One day, destiny brings the two men together, and the one's defeat means the other's redemption.

Sorrentino moreover gives a prominent place to the emblematic figure of Diego Maradona and contributes, indirectly, to the dissemination of the icon in media culture (Free 2014). The director explained during an interview, "I thought of Maradona because he belongs to the world of show business. When a sportsman is so astounding and astonishing, he is no longer merely an athlete, but an artist".⁵ In *La Grande Bellezza* for example, Sorrentino shows a sequence in which a naked young man gives a display of football acrobatics in his room. The sequence serves to illustrate a conversation between the mondain Jep Gambardella (Toni Servillo) and the attractive Ramona (Sabrina Ferilli), in which she tells him about her relationship with the football player. The director uses this passage to give an indisputable wink to Maradona, known for his famous moves. Moreover, when he won his Oscar in Hollywood, Sorrentino thanked Maradona as one of the three personages inspiring the film, along with Federico Fellini and Martin Scorsese. It is however without a doubt in *Youth* that he pays the greatest tribute to the Argentine star, with the latter's figure haunting the luxury hotel resembling a sanatorium. The footballer is of course only a shadow of his former self and –the exact opposite of Pope Pius XIII – is presented by Sorrentino as a worn out, overweight man needing to use an oxygen mask. At the same time, he aptly describes his virtually unaltered power to fascinate others. Hotel guests and fans lining up along the hotel railings for an autograph all show genuine respect towards him. And as further allusion to his genius, Sorrentino inserts a scene where the character of Maradona (Roly Serrano) performs acrobatics with a tennis ball on a clay court. In the middle of this oasis of calm, only the swish of the ball and the heavy breathing of the former footballer can be heard. The succession of shots shows the yellow ball rising and falling in the same way as the spirit of places where free time is enjoyed and time is taken to reflect, however painful it may prove to be. The character of Maradona adds a distinctive flavor to the film which, when all is said and done, questions men's destiny and future prospects.

Why *does* Sorrentino show so much interest in Maradona and the Società Sportiva Calcio Napoli? Several complementary hypotheses can be formulated. A first probable one is *societal* in nature. From the moment the director uses Italian society to contextualize his stories, he cannot ignore football as one

⁵ Sorrentino, Paolo. *La giovinezza/Youth*. 2015. Behind The Scenes/Interview with the director – DVD Pathé.

of the pillars of its identity. The sport is an integral part of political life and Italian culture, more especially since the *Calcio* served as a battleground for communists and Christian democrats (Archambault 2012); Italy's victory in the 1982 World Cup only strengthened its role in national identity (Foot 2016). Sorrentino no doubt drew his inspiration for a number of his scenes from both the character of Don Camillo and his own interest in football.⁶ A second likely hypothesis is *narrative*. Born in 1970, Sorrentino was deeply marked by the 80s when he changed from a boy into a man. At the time, Italy was in the midst of political, cultural and sporting tumult. While part of Italy's youth, immortalized by Toty Ruggieri, sought refuge in drug use and artistic revolution, the political scene experienced a turning point with the "Operation Clean Hands"; on this occasion, traditional politicians seemed to make way for the judges and academics who suddenly appeared (Rayner 2005). As for football, in the hands of a number of mafioso, it underwent a troubled period following the *totonero* scandals and conflicts of interest in 1980 and 1986. Mirroring a country in search of stability and as a sign of the times, this football culture is a source of fertile inspiration which has allowed the director to color the majority of his feature films. A third and the most likely hypothesis pertains to *nostalgia*. Not unlike all the adolescents of his time who dreamed of becoming footballers, Sorrentino was influenced deep down by the sporting life of SSC Napoli and that of Diego Maradona. This exceptional player who brought the 1986 World Cup to Argentina thanks to the "hand of God" (Britto, Ventura de Moraes and Barreto 2014) quickly became the icon of the club. Idolized by the *tifosi* of the San Paolo Stadium, he led the Naples team to the most significant titles of its history, making it one of the greatest in Europe. His influence was such that, in the 1980s, "thousands of Neapolitan newborns brought to the baptismal fonts were called Diego" (Dinia 1994, 75). And so, during the club's heyday between 1984 and 1992, Maradona left his mark on the imagination of young Sorrentino. Indeed, the latter was only 14 when he discovered him for the first time. Although the footballer's image was tarnished by the time he was transferred to Sevilla through being caught in the act of using cocaine, he remained nonetheless an exemplary team player in the director's mind, as well as an incredible playmaker and a veritable virtuoso. The fairly marked assonance in the dialect between Maradona and Madonna (Madonna being the name of the Virgin Mary) explains not only the fascination he feels for him but also, in line with the principle of *mise en abyme*, that felt by Cardinal Voeillo in *The Young Pope*.

3/ Sport and religion: the example of *The Young Pope*

Sport and religion are two themes permeating Sorrentino's work. As rightly pointed out by Eszter Simor and David Sorfa, "Magical characters in the films are often spiritual or religious figures" (2017, 12). Moreover, his characters may at times have supernatural powers. Lenny Bellardo (Jude Law) for example, described as a "saint" by Sister Mary (Diane Keaton), is able to accomplish miracles: he heals a dying woman, tames a wild kangaroo, enables an infertile woman to become pregnant, etc. In addition, Sorrentino shows that sport in a monastic context may be considered as a path to spiritual elevation. From this point of view, he is in line with the words of Richard Hutch for whom "lives are empowered

⁶ Don Camillo is the name of a fictional character created in 1948 by Italian humorist, writer, journalist and illustrator Giovannino Guareschi. His adventures were published in the form of short stories in the weekly *Candido*, before being immortalized by Fernandel at the cinema in 1952. He is characterized by his sometimes tough verbal sparring with Peppone, the communist mayor.

not by brute strength and tenacity alone, but also by sustaining personal coherence within the lived experience of one's sporting activities" (2012, 131). It should be remembered that since the advent of the sports movement in the late 19th century, religious institutions and youth movements had gradually taken over physical activities with the aim of promoting their ideologies (Watson and Parker 2014; Schultz and Sheffer 2016). As for others such as Baron Pierre de Coubertin, they wasted no time in comparing the International Olympic Committee to "a sort of Vatican for athletics" (Pouillart and Willems 1953, 16). This undoubtedly explains why, in *The Young Pope* series, Sorrentino shows not only the spiritual dimension of sport – the Coubertinian concept of *religio athletae* (Jirásek 2015) – but also what sporting life within the Vatican could be like. With ten episodes, the series was previewed at the Venice International Film Festival on September 3, 2016, before being progressively screened in Europe and the United States. It describes the daily life of a young 47-year-old American Pope, Lenny Belardo (Pius XIII), who is basically unknown to the cardinals. The Pope proves to be unstable, ultraconservative and calculating. He is conspicuous since he "smokes like a chimney", drinks Coca-Cola zero cherry and stands like a rock star; in short, an absolute psychopath fueling a mystical delusion existing around him. Abandoned as a child at an orphanage and permanently troubled, he develops an extremely turbulent relationship with his faith and God.⁷

The relationships between sport and religion are however mocked. Sorrentino cannot help but develop the offbeat humor found in all of his films. He moreover openly admitted it during an interview: "When I start to write a movie, my first priority is that I want it to be funny... I want to make people laugh. On my way to doing that, I often wind up creating something that is also sad" (Simor and Sorfa 2017, 1). For the moment, according to Mathilde Cesbron, he seems to have transformed the Vatican into "pure entertainment" (2016). Which is why he does not hesitate to portray Pope Pius XIII as a modern, athletic man, concerned about staying in shape and careful in his choice of clothes – far from the traditional image of an ageing and sometimes sick pope. When shaping his silhouette to appropriate pop rock music with bodybuilding equipment or yoga, he is always looking towards the light. The director therefore makes explicit, through image and sound, the strong bond uniting physical and spiritual lives. That said, Sorrentino also develops the character of a surprising supporter throughout the series, the very powerful Cardinal and Secretary of State Voiello (Silvio Orlando). A true *tifoso* (fan), the latter devotes his leisure time to the Naples football team. He carefully collects all club posters, has mobile phone cases with photographs of the players and uses supporter song ringtones. He also reads all the latest sports news in *Corriere dello Sport*, listens to live match commentaries on the radio and sometimes watches YouTube playbacks of Maradona from the time when the footballer was playing for the club. Two scenes are particularly interesting in this respect. The first occurs near the beginning of the series. In the first episode, Voiello can be seen placing his three cell phones on the Pope's desk before exclaiming "And here you have the trident!" A tracking shot followed by a close-up then shows the three great footballers of the 2015-2016 Season. Referring to Poseidon's attribute is a way to show just how far these players represent the ultimate weapon. One of them is Gonzalo Higuain, aka "Pipita", the team's center forward. To extend the metaphor, the player is again referred to in the second episode of the series. A worried

⁷ This theme can also be found in *La Grande Bellezza*. It should be remembered that Sorrentino lost his two parents in a gas explosion when he was 17 (Moscati 2017).

Voiello is talking to the Vatican's Marketing Officer Sofia Dubois (Cécile de France) when he refers to "Pipita" by saying "Help us, Pipita!" In answer to Sofia's question "Who is Saint Pipita?", Voiello retorts "He's not a saint. He's Naples' center forward!" With the hint of a smile, Sofia concludes he is losing his optimism. The second scene in the fifth episode shows the moment when a police captain is questioning him over the mysterious disappearance of impostor Tonino Pettola (Franco Pinelli), a quack healer claiming to have been touched by divine grace. Failing to obtain any response whatsoever from the clever Voiello, the captain cunningly gets his own back by affirming that Diego Maradona is still taking drugs. He claims that one of his friends, a secret agent in Dubai, has told him. Somewhat upset by this, Voiello replies immediately, "Why do you want to hurt me? Why?" The ensuing punchline hits home as the police captain cynically responds "Because I'm an Inter supporter, Eminence". The humor is easy to perceive and indisputably accentuated with brio by the actors' performance. It enables Sorrentino to add a little levity to a subject that is sensitive to say the least. Somewhere between fascination and detachment, curiosity and indifference, respect and irreverence, he gradually leads viewers into the private life of the Holy See and desacralizes God's servants to a certain degree.

Conclusion

Throughout his productions, Paolo Sorrentino has developed a recognizable style that consists in "corporifying" his characters and giving them a degree of vitality, such as Jude Law as a bodybuilding pope or Roly Serrano as an adept Maradona. Moreover, and despite the apparent plurality of polymorphic elements, he has likewise developed what could legitimately be called a comparatively "sporting" oeuvre, by systematically inserting scenes or allusions to physical exercise into a coherent whole and within the complex mechanism of cinematographic "fabrication". Indeed, in order to include as many references to sport, the Italian director has performed a skillfully orchestrated sleight of hand by carefully managing his camerapeople, directors of photography and other film editors. This energy directed towards sport, however, reveals deeper motives that drive a quest for identity linked indisputably to his Neapolitan adolescence. As explained by Francis Vanoye, "the mask also serves to dissimulate the subject so he can make his moves on the quiet" (2011, 20). In the same way as the flashbacks he inserts into his films, Sorrentino discreetly provides elements of his life including, for example, the painful loss of his parents with the theme of abandon tormenting Lenny Belardo played by Jude Law, and his passion for the Naples football club with the implicit omnipresence of Maradona. These tangible clues of self-portraiting consequently show the scope of his "athletic" vision of life.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author.

Filmography

Sorrentino, Paolo. *L'Uomo in più/One Man Up*. 2001.

Sorrentino, Paolo. *Le Conseguenze dell'amore/The Consequences of Love*. 2004.

Sorrentino, Paolo. *L'Amico di famiglia/The Family Friend*. 2006.

Sorrentino, Paolo. *Il Divo - La spettacolare vita di Giulio Andreotti/Il Divo*. 2008.

Sorrentino, Paolo. *This Must Be the Place*. 2011.

Sorrentino, Paolo. *La Grande Bellezza/The Great Beauty*. 2013.

Sorrentino, Paolo. *La Giovinezza/Youth*. 2015.

Sorrentino, Paolo. *The Young Pope* (TV Series). 2016.

Novel

Sorrentino, Paolo. *Hanno Tutti Ragione*. 2010. Milano: Universale Economica Feltrinelli. 7th Edition 2016.

References

Archambault, Fabien. 2012. *Le Contrôle du ballon : les catholiques, les communistes et le football en Italie*. Rome: École française de Rome.

Barthes, Roland. 1985. *L'Aventure sémiologique*. Paris: Seuil.

Britto, Simone, Magalhães, Ventura de Morais, Jorge, and Barreto, Túlio Velho, eds. 2014. The Hand of God, the Hand of the Devil: a sociological interpretation of Maradona's hand goal. *Soccer & Society* 15, no. 5: 671-684.

Bruveris, Klara. 2017. Sport, cinema and the national imaginary in Dream Team: 1935. *Studies in Eastern European Cinema* 8, no. 1: 49-61.

Byrne, Sebastian. 2017. Actors who can't play in the sports film: exploring the cinematic construction of sports performance. *Sport in Society* 20, no. 11: 1565-1579.

Cesbron, Mathilde. 2016. Habemus Jude Law. *Le Point*, June 15.

Chare, Nicholas. 2016. Sound coaching: tending to the heard in American football films. *Sports Coaching Review* 5, no. 1: 70-86.

Crosson, Seán. 2013. *Sport and Film*. London: Routledge.

Dinia, Vittorio. 1994. Maradona, héros napolitain. *Actes de la Recherche en Sciences Sociales*, no. 103: 75-78.

Free, Marcus. 2014. Diego Maradona and the psychodynamics of football fandom in international cinema. *Celebrity Studies* 5, no. 1-2: 197-212.

Jirásek, Ivo. 2015. Religion, Spirituality, and Sport: From *Religio Athletae* Toward *Spiritus Athletae*. *Quest* 67, no. 3: 290-299.

Lindner, Katharina. 2011. Bodies in Action. *Feminist Media Studies* 11, no. 3: 321-345.

Masson, Alain. 2007. D'où vient le geste? In *L'Acteur au cinéma: approches plurielles*, ed. Vincent Amiel, Jacqueline Nacache, Geneviève Sellier, and Christian Viviani, 83-93. Presses Universitaires de Rennes.

Mauron, Charles. 1963. *Des métaphores obsédantes aux mythes personnels*. Paris: Librairie José Corti.

Moscato, Italo. 2017. *The young Sorrentino: Il ragazzo vissuto su una panchina*. Roma: edito da Castelvecchi.

Rayner, Hervé. 2005. *Les Scandales politiques. L'opération « Mains propres » en Italie*. Paris: Michel Houdiard Editeur.

Schultz, Brad, and Sheffer, Mary Lou, eds. 2016. *Sport and Religion in the Twenty-First Century*. Lanham: Lexington Books.

Simor, Eszter, and Sorfa, David. 2017. Irony, sexism and magic in Paolo Sorrentino's films. *Studies in European Cinema* 14, no. 3: 200-215.

Stadel, Luke. 2013. Wrestling and cinema, 1892–1911. *Early Popular Visual Culture* 11, no. 4: 342-364.

Vaccaro, Rossana. 2009. *Il Divo* ou les 'mystères d'Italie'. *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 104, no. 4: 181-194.

Vanoye, Francis. 2011. *L'Adaptation littéraire au cinéma*. Paris: Armand Colin.

Watson, Nick J., and Parker, Andrew. 2014. *Sport and the Christian Religion: A Systematic Review of Literature*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Form'UL : un projet favorisant l'interdisciplinarité

Form'UL: a project promoting interdisciplinarity

Céline Benos

Université de Limoges
Conseillère pédagogique
celine.benos@unilim.fr

Anne-Sophie Macharinow

Université de Limoges
Cheffe de projet Form'UL
anne-sophie.macharinow@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/200>

DOI : 10.25965/lji.200

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Form'UL est un projet dont l'objectif est d'améliorer la réussite pour les étudiants de premier cycle à l'Université de Limoges. Parmi les axes principaux du projet figure la transformation des maquettes de formation des licences générales en Approche Programme et Démarche par Compétences (APDC). L'interdisciplinarité est présente tout au long du projet Form'UL, de la création même du projet à la constitution de l'équipe d'accompagnement pédagogique pour l'APDC en passant par la méthodologie employée pour travailler à cette transformation des formations.

Mots clés : Université de Limoges, projet NCU, PIA3, pédagogie, démarche compétences

Abstract: Form'UL is a project aimed at improving the success of undergraduate students at the University of Limoges. Among the main axes of the project is the transformation of training models of general licenses into the Program Approach and Competency-Based Approach (APDC). Interdisciplinarity is present throughout the Form'UL project, from the very creation of the project to the constitution of the pedagogical support team for the APDC, including the methodology used to work on this transformation of training.

Keywords: Limoges University, NCU project, PIA3, pedagogy, skill approach

Introduction

L'Université de Limoges (UL) est une université pluridisciplinaire qui propose des formations en adéquation avec les besoins de qualifications des entreprises du territoire pour faciliter l'insertion professionnelle rapide de ses jeunes diplômés et participer au dynamisme économique de son territoire.

Des obligations légales et gouvernementales y invitent, notamment pour le niveau de licence. L'action « Nouveaux Coursus à l'Université », lancée par le gouvernement via les PIA, fait de la pluridisciplinarité un critère de sélection des projets de transformation des formations qui seront financés dans le cadre de cette action. La réussite des étudiants est ainsi corrélée à cet aspect parmi d'autres. Lorsqu'on parle de réussite étudiante, il s'agit donc de l'obtention d'un diplôme qui correspond au projet de l'étudiant et qui est en phase avec les besoins en compétences du territoire, ce qui implique un accompagnement constant tout au long de son cursus pour faciliter si besoin sa réorientation et son insertion professionnelle.

Le monde de la recherche comme celui de l'entreprise s'est transformé, le travail en équipe et l'interdisciplinarité sont désormais perçus comme des clés en matière d'innovation, de créativité et de gestion de la complexité. Pour répondre à ces orientations, l'Université a élaboré un projet : Form'UL, Formation en vue de l'Orientation et de la Réussite améliorée à l'Université de Limoges, lauréat du Programme d'Investissement d'Avenir vague 3 des Nouveaux Coursus Universitaires.

Pour atteindre ses ambitions en termes de réussite (**60 % des étudiants entrant en L1** diplômés en 3 ou 4 ans contre 42 % actuellement), l'UL propose donc de remodeler ses cursus universitaires en s'appuyant sur les **4 grands principes : accompagner, décroïsonner, innover pédagogiquement et renforcer les liens avec l'environnement socio-économique**. Le deuxième axe dédié à l'aménagement des formations a pour objectif de **déçroïsonner les cursus** grâce à une Approche Programme - Démarche Compétence (AP-DC), en rendant modulaires et flexibles les enseignements et les rythmes d'acquisition. Ce qui implique un **profond travail interdisciplinaire au sein de chaque mention afin de faire émerger les compétences** (savoir agir complexe) visées par l'étudiant en fin de formation.

Une interdisciplinarité qui ne peut être mise en place sans **impacter la pédagogie**. Il a été ainsi constitué une Cellule Conseil et Accompagnement à la Pédagogie (CCAP) portée de manière transversale car le projet s'adresse au niveau des licences générales de toutes les composantes de l'Université et donc de toutes les disciplines enseignées.

Le rôle de la CCAP du projet Form'UL est d'**accompagner les enseignants dans la traduction de ces formations** en une démarche d'apprentissage cohérente et équilibrée entre disciplinaire et transversal. Cet accompagnement doit favoriser la **construction d'un savoir intégré** en s'appuyant sur des objectifs pédagogiques cognitifs (pour l'acquisition et l'appropriation des connaissances) et non cognitifs (développer des compétences complexes ou transverses).

1. Un projet conçu dans l'interdisciplinarité.

FORM'UL est en soi un projet interdisciplinaire puisqu'il a été porté conjointement par la Faculté de Droit et sciences Economiques, la Faculté des Sciences et Techniques, l'IUT et la Faculté de Lettres et

Sciences Humaines. Toutes ces composantes avaient comme objectif : la réussite des étudiants. Des parcours aménagés nommés « Rythme Progressifs » ont alors été mis en place à la FDSE et à la FST permettant aux étudiants de réaliser une licence en 4 ans sans redoublement en étalant les deux premières années sur 3 ans.

Après deux années de mise en place de ces parcours, il est fait état de résultats assez proches pour les parcours à Rythme progressifs tandis que le dispositif Tremplin (lié aux Oui-si sur Parcoursup et dédié aux étudiants les plus en difficultés) donne des résultats dissemblables selon les composantes. Les « Journées Réussite » organisée par le Pôle Formation permettent des temps d'échanges interdisciplinaires avec l'ensemble des Directeurs d'études des mentions concernées par ces parcours aménagés et ainsi de travailler sur des leviers d'amélioration.

2. Le collectif de l'AP-DC

L'AP-DC est fondée sur la création d'un collectif. C'est une condition de la réussite de la démarche. Il est composé de l'équipe pédagogique de Licence mais également d'enseignants de masters, d'anciens étudiants et de professionnels. **Ce collectif est pluridisciplinaire au sein d'un même diplôme**, tant au niveau des enseignements qu'au niveau des métiers.

Il est chargé, dans un premier temps, de définir la vision du diplômé, autrement dit le profil de l'étudiant visé par la mention en sortie de licence. Chaque participant détermine les qualités qui lui paraissent essentielles pour un diplômé de la mention de licence concernée puis partage avec le reste de l'équipe sa vision. Au travers d'échanges, le collectif **co-construit cette vision du diplômé**, texte fondateur de la formation. Il ne s'agit pas seulement de l'agrégation de différents points de vue. Le profil du diplômé doit faire sens pour tous.

Une **concertation identique a lieu tout au long de la démarche** pour faire émerger les compétences et les acquis d'apprentissage liés à la formation. Les collègues qui se sont engagés dans la démarche voient clairement la richesse liée au collectif pluridisciplinaire en termes d'échanges, de transparence au sein de la formation et d'amélioration continue de cette même formation dans le but de définir un objectif commun ou partagé via l'interdisciplinarité. La **cohérence des enseignements** proposés repose sur ce partage. Ainsi, le lien qui se crée entre les enseignants ou avec les professionnels permet de faire des ponts entre les matières qui peuvent amener jusqu'à la création d'évaluations réfléchies en commun ou tout bonnement communes.

3. L'interdisciplinarité, une richesse de la cellule.

Pour répondre à cette transversalité, l'interdisciplinarité se retrouve dans la composition de l'équipe de la CCAP elle-même, qui regroupe **des collègues aux parcours et aux champs disciplinaires divers** : enseignement, droit, sciences physiques, sciences de l'éducation, pédagogie numérique... Le partage de ces compétences permet de répondre plus efficacement aux demandes et aux missions confiées et également d'imaginer des supports et des outils efficaces et ergonomiques, quelle que soit la discipline du ou des sollicités.

L'équipe est alors **vectrice de pluridisciplinarité au regard des collaborations** qu'elle met en place, avec d'autres ingénieurs pédagogiques de l'Université par exemple. Elle est ainsi amenée à orienter les demandes qui lui parviennent, par exemple en travaillant en amont sur la scénarisation pédagogique avec l'enseignant demandeur puis en l'orientant vers les personnes ressources pour répondre aux aspects plus opérationnels de son besoin d'accompagnement.

4. L'interdisciplinarité dans la composition des groupes lors des formations proposées par la cellule

La CCAP propose également des formations, qu'elles concernent la démarche d'AP-DC ou des thématiques liées à la transformation des pratiques pédagogiques. Lors de ces formations, la méthodologie du travail de groupe utilisée permet aux enseignants formés de se nourrir de cette pratique pour ensuite l'appliquer de manière récursive dans ses cours. Les groupes de stagiaires sont volontairement composés d'enseignants venant de toutes les composantes d'une université pluridisciplinaire et cette "mixité" est **propice aux échanges entre enseignants de disciplines diverses**, aux modalités d'enseignement a priori très différentes. Par exemple, la cellule a organisé, en juillet 2020, des ateliers sur les thématiques de **la scénarisation pédagogique et de l'interaction avec les étudiants**, dans le contexte de la crise sanitaire qui rendait incertaine toute projection sur les modalités de la rentrée. Ces ateliers ont été très appréciés, notamment les échanges qu'ils ont permis.

Le contexte du confinement et du distanciel qui avaient précédé a, certes, mis en valeur la nécessité de ces échanges mais les retours des enseignants soulignent la plus-value qu'apporte cet aspect. **La transposition d'une discipline à une autre des solutions trouvées par les enseignants permet de faire évoluer les pratiques pédagogiques** de manière plus profonde. Elles s'adaptent plus facilement aux changements, y compris les plus contraints comme ceux imposés par cette crise sanitaire. Ces rencontres entre enseignants permettent aussi de faire émerger des projets de collaborations et de nouvelles formes de SAÉ, plus proches de ce que l'étudiant aura à mettre en œuvre dans son milieu professionnel.

5. L'interdisciplinarité dans les Situations d'Apprentissage et d'Évaluation (SAÉ)

La cohérence pédagogique d'un enseignement est garantie par la **liaison logique entre les objectifs de la formation, les méthodes d'enseignement et d'apprentissage et les méthodes d'évaluation** de ses apprentissages.

Les compétences dégagées pour une formation doivent être évaluées. Or il s'agit, selon la définition de la notion de compétence de Jacques Tardiff, d'un **savoir agir complexe**. Évaluer ce savoir agir acquis par l'étudiant suppose une mise en action dans une situation complexe. L'étudiant sera amené à **combinaison de manière efficace des ressources diverses**. La construction de ces situations d'apprentissage et d'évaluation suppose là encore un collectif enseignant.

Cette interdisciplinarité dans la SAÉ permet à l'étudiant de **trouver du sens** à la « juxtaposition » des disciplines qui composent sa formation. Il combine les différentes ressources à sa disposition pour se

mettre en action dans des situations complexes. Ainsi, il peut comprendre les liens à établir entre les différents savoirs acquis, au cours d'une même année de licence, mais également tout au long de son parcours. Ce parcours est construit comme un cheminement lui permettant d'acquérir les éléments essentiels (acquis d'apprentissage) au développement des compétences liées à sa formation. L'intelligence de ce cheminement est révélée par la SAÉ. L'étudiant peut mieux comprendre l'intérêt de cette interdisciplinarité.

Les exemples de SAÉ que l'on peut trouver dans la littérature sont souvent des travaux de groupe (projets, simulation, ...). Le collectif est ainsi enseigné aux étudiants, ils **apprennent à travailler en équipe**, formées de personnalités différentes qui ont des savoir-faire, des savoir-être et parfois même des connaissances différentes (les ressources internes qui ne sont pas transmises lors de la formation mais que l'étudiant possédait déjà).

6. Le partage d'expérience entre enseignants

Le **partage d'expérience** entre enseignants est systématiquement encouragé dans ces ateliers mais pas seulement. La CCAP encourage et soutient toutes les initiatives en ce sens, comme par exemple, les cafés pédagogiques organisés à la Faculté des Sciences et Techniques. Ils constituent des moments d'échange entre enseignants sur leur pratique concernant une thématique donnée. Ceux qui ont trouvé des solutions les présentent et ceux qui en cherchent viennent en discuter pour éventuellement adapter cette solution à leur problématique.

Afin de multiplier ces occasions d'échange, un espace virtuel sera mis à la disposition des enseignants de toutes les composantes. Il comportera un espace d'information, mais également **un espace de valorisation et de partage d'expérience** entre enseignants concernant les transformations pédagogiques. Il pourrait ainsi devenir un espace d'échange interdisciplinaire sur la thématique de la pédagogie. Une des caractéristiques de l'Université de Limoges est l'éclatement géographique de ses composantes et cet espace virtuel pourrait pallier cette problématique, partiellement.

Une **communauté de pratique pédagogique** a également été initiée en lien avec le dispositif « Fenêtre sur cours » issu du projet Hype13. Elle a pour mission de permettre le partage et l'échange autour des pratiques pédagogiques à l'UL et rassemble déjà une quinzaine d'enseignants toutes composantes confondues.

Conclusion

Projet à la fois **transverse et favorisant l'interdisciplinarité**, Form'UL permet au travers des différentes missions et actions de la CCAP de repenser les formations du premier cycle sous un angle plus large, mêlant disciplinaire et transversal. La formation est alors co-construite par les parties prenantes en fonction des objectifs d'apprentissage et de continuité d'études ou d'insertion professionnelle. Que ce soit dans les groupes animant la démarche ou dans ceux qui y participent, l'interdisciplinarité est au cœur du dispositif d'accompagnement pédagogique du projet.

Références

TARDIF, Jacques, « Des repères conceptuels à propos de la notion de compétence, de son développement et de son évaluation » (chapitre 1), dans Pournay, Marianne, Tardif, Jacques, Georges, François (dir.), Organiser la formation à partir des compétences. Un pari gagnant pour l'apprentissage dans le supérieur, Louvain-la-Neuve, Belgique, De Boeck, 2017, p. 15-37.

PIAJET, J. (1967). Le système et la classification des sciences, in BOURGUIGNON, A. De la pluridisciplinarité à la transdisciplinarité, Congrès de Locarno, 30 avril - 2 mai 1997, Annexes au document de synthèse CIRET-UNESCO

KAVALOSKI, V. C. (1979). Interdisciplinary education and humanistic aspiration: A critical reflection. Dans J. J. Kockelmans (dir.), Interdisciplinarity and higher education (p. 224–243). Philadelphie : Pennsylvania State University Press.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

L'eau et les Eaux

Water and Waters

Jamie Linton

Geolab

james.linton@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/188>

DOI : 10.25965/lji.188

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Ces dernières années, les chercheurs ont attiré l'attention sur l'hétérogénéité des eaux et sur la pluralité des cultures de l'eau. Leurs recherches contrastent avec la science et le discours de « l'eau » au singulier, qui sous-tend les stratégies modernes de gestion de l'eau. L'objectif du présent article est d'identifier exactement ce que nous entendons par « eaux » au pluriel, d'identifier la signification historique de ce concept et de discuter des avantages qu'il pourrait apporter en ce qui concerne la nécessité de traiter les problèmes et les défis de l'eau, actuels et émergents.

Mots clés : eau, eaux, gestion de l'eau, histoire de l'eau, ontologie

Abstract: In recent years, researchers have drawn attention to the heterogeneity of multiple waters and to the plurality of water cultures. This research contrasts with the science and the discourse of "water" in the singular, which underpins modern water management strategies. The aim of the present paper is to identify exactly what we mean when we proclaim multiple waters, to identify the historical significance of this claim, and to discuss what benefits the claim might bring with respect to the need to deal with current and emerging water issues and problems.

Keywords: water, waters, water management, history of water, ontology

Introduction

Comme contribution à nos réflexions sur la pluridisciplinarité, je souhaite montrer que l'eau n'est pas la même chose d'une discipline à l'autre.¹

Bien sûr, l'eau est abordée différemment selon les domaines de recherche ; les hydrologues et les linguistes n'envisagent certainement pas l'eau sous le même angle. Mais au-delà, je veux montrer que différentes méthodes génèrent, ou produisent, des eaux différentes. Cela représente un renversement de l'ordre habituel par lequel une méthode est appliquée à un objet pour rendre une seule interprétation de la réalité sous-jacente sur laquelle elle opère.

Cet argument reflète une affirmation plus large : que nous pouvons penser aux eaux, au pluriel, comme des phénomènes différents qui se produisent dans différents contextes, à la suite de différents types d'engagements et de pratiques. Il s'inscrit dans une approche, parfois qualifiée de « relationnelle » (West, 2020), « dialectique » (Levins et Lewontin, 1985 ; Harvey, 1996) ou « processuelle » (Whitehead, 1960) par laquelle toutes les choses - et pas seulement l'eau - sont plutôt comprises comme des événements momentanés qui se produisent au confluent de processus qui constituent la réalité sous-jacente. Comme chacun le sait depuis Héraclite, on ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve. En outre, je veux faire valoir que considérer l'eau au pluriel, en termes de différentes eaux se produisant dans différentes circonstances, a des implications/avantages pratiques pour traiter les problèmes liés à l'eau.

Dans la première partie, nous commencerons par nous pencher sur l'histoire de l'idée de l'eau, sur la manière dont elle a été comprise comme une substance singulière à partir du XVIII^e siècle, bouleversant la longue tradition de la pensée et de la pratique occidentales qui consistait à considérer et à traiter les eaux au pluriel. L'idée moderne de l'eau en tant que substance singulière est née d'un ensemble de pratiques qui ont apporté de nombreux avantages aux gens. Cependant, ces pratiques ont également eu un coût, pour l'intégrité des écosystèmes aquatiques, ainsi que pour les nombreux peuples qui ont été marginalisés ou lésés par la gestion moderne de l'eau. La prise de conscience croissante de ces coûts a contribué à susciter une vague de réflexion critique parmi les chercheurs en sciences sociales et humaines. Dans la deuxième partie, nous examinerons comment cette critique s'exprime comme une nécessité de reconnaître la pluralité des eaux. Nous montrerons brièvement deux façons de considérer les eaux au pluriel : premièrement, comme des interprétations ou des représentations différentes de l'eau, et deuxièmement, comme des eaux ontologiquement différentes. La conclusion propose quelques réflexions sur la manière dont la reconnaissance de la pluralité des eaux peut contribuer à apporter des avantages pratiques aux personnes et à l'environnement.

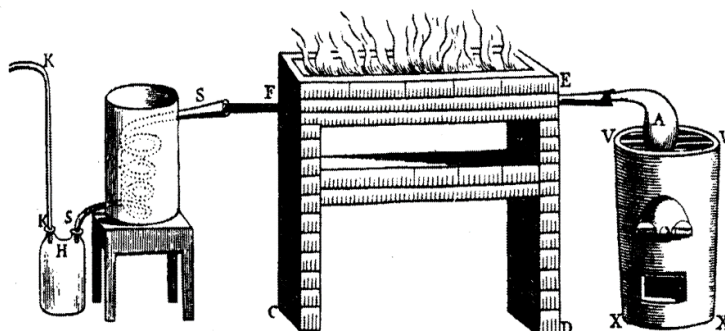
1. Comprendre et traiter de l'eau au singulier est une invention moderne

Un moment clé de l'histoire de l'eau s'est produit au milieu du XVIII^e siècle, lorsque Lavoisier a identifié l'eau comme un composé de deux éléments qu'il a nommés ensuite « hydrogène » et « oxygène ».

¹ Cet article s'appuie sur des recherches précédemment publiées (Linton 2010, 2014, 2017, 2019 ; Linton et Budds 2014). Une version étendue de cet article est en préparation pour publication dans le journal *Geocarrefour*. Je tiens à remercier Christiane Peyron pour son aide dans la traduction.

L'appareil que Lavoisier a utilisé pour séparer l'eau liquide en ses deux éléments constitutifs est illustré à la Figure 1. Selon notre mode de pensée habituel, en appliquant cette méthode (appelée plus tard "scientifique"), Lavoisier, dans son laboratoire parisien, a révélé/mis en évidence la véritable nature de l'eau (une nature qui préexistait à son analyse). Cependant, nous pouvons aussi voir sur cette même figure comment l'eau est devenue/a été produite comme H₂O en étant soumise à des actions, à des appareils, puis à des publications et des représentations répétés qui ont eu pour effet de dépouiller les eaux des différentes essences qui les rendaient fondamentalement différentes les unes des autres et de réduire toutes les eaux du monde à une entité unique/singulière et universelle.

Figure 1 : L'appareil utilisé par Lavoisier pour séparer l'eau en hydrogène et en oxygène.



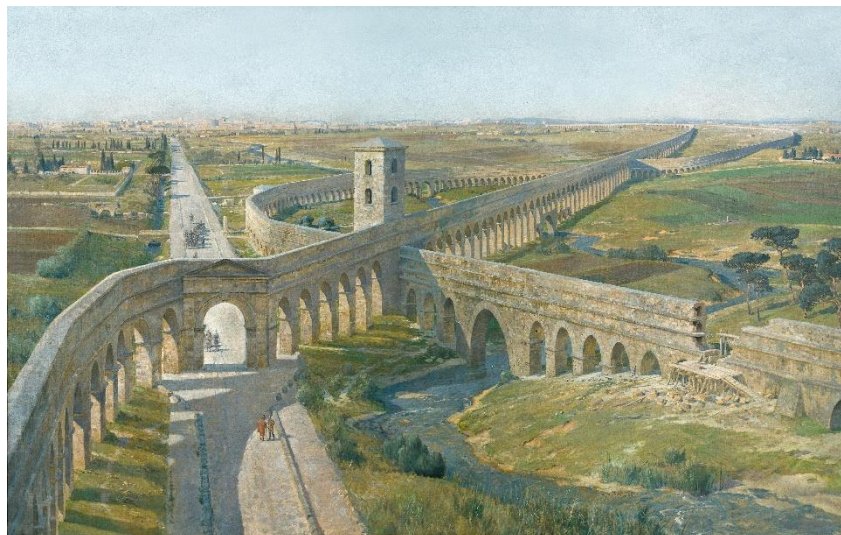
LAVOISER, Antoine. 1789. *Traité élémentaire*

La pratique de Lavoisier contredisait une identification beaucoup plus ancienne de l'eau comme l'un des quatre éléments de base - la terre, l'eau, l'air et le feu - décrits pour la première fois par Empédocle au Ve siècle avant J.-C. et repris ensuite par Aristote. Ces "éléments" classiques différaient radicalement du concept moderne en ce qu'ils étaient "anti-essentialistes", se manifestant comme des phénomènes ontologiquement différents dans des circonstances différentes. (Hamlin, 2000, p. 321) Ainsi, l'eau, en tant que catégorie générale de substances liquides, a été largement comprise comme se présentant sous des formes innombrables tout au long de l'Antiquité et jusque dans l'ère moderne.

Pour Hippocrate (ca. 460-377 BC), le célèbre fondateur de la science médicale, il était par exemple très important de faire la distinction entre les différentes eaux et leurs divers effets sur le corps humain, comme en témoigne son œuvre classique, « Airs, eaux, lieux ». (Glacken, 1967, pp. 82-88) Il existe des preuves d'une hostilité générale aux eaux mélangées dans la littérature classique depuis l'époque d'Hippocrate. Cette hostilité a trouvé une expression matérielle dans la structure même des aqueducs romains (Figure 2) : "La pitié envers les divinités des sources individuelles et les restrictions médicales contre les eaux mélangées auraient obligé les ingénieurs romains à acheminer les approvisionnements vers la ville par des canaux séparés, dans la mesure du possible." (Tanner, 1987, pp. 30-31) Dans son étude de l'histoire naturelle du monde connu de l'époque, Pliny l'Ancien (23-79 ap. J.-C.) a catalogué une étonnante variété d'eaux en différents endroits, se distinguant par leurs diverses actions sur le corps humain. (Pliny, 1938) En effet, c'est au point de jonction de divers processus - hydrologiques, géomorphologiques, biologiques, sociaux, politiques, culturels et physiologiques - que les eaux spécifiques étaient considérées comme des phénomènes ontologiquement différents dans des

circonstances et des contextes différents. Comme l'a noté l'historien Christopher Hamlin, "les eaux étaient des aspects de l'histoire des lieux". (Hamlin, 2000, p. 315)

Figure 2 : Peinture des aqueducs romains par Zeno Diemer, vers 1920. (Notez la séparation des canaux.)



Deutches Museum

Le sens dans lequel les différentes eaux existent en tant qu'aspects de l'histoire des lieux n'a jamais complètement disparu, et nous reviendrons sur cette question dans la section suivante. Pour l'instant, nous souhaitons examiner l'importance de la réalisation de Lavoisier et la façon dont elle s'est combinée avec des pratiques complémentaires pour produire à nouveau une sorte d'eau - dépouillée de toutes ses particularités locales, géographiques, culturelles et spirituelles - qui a fini par fonctionner à l'échelle mondiale. Ce phénomène a été décrit en termes d'« eau moderne » (Linton, 2010, 2014, 2017). Il comporte des représentations et instanciations de l'eau marquées par l'abstraction des circonstances et des relations sociales, historiques, écologiques et locales et sa réduction à une identité abstraite universelle susceptible d'être mesurée et convertie en une « ressource ». L'eau moderne peut être considérée comme un accomplissement intellectuel autant qu'un fait matériel, dont la principale caractéristique a été d'abstraire toutes les eaux du monde de leurs contextes locaux, sociaux, culturels, religieux et écologiques, pour les réduire à une même substance, et donc les rendre commensurables dans une optique de rationalité instrumentale au bénéfice des usages humains de l'eau. Cette réalisation est conforme à ce que R. G. Collingwood décrit : d'un monde de différences qualitatives, la méthode scientifique a effectué « la restriction de la réalité naturelle à un complexe de quantités » dans lequel « rien n'est scientifiquement connaissable, sauf ce qui est mesurable. » (Collingwood, 1945, p. 103)

La connaissance (et la mesure) de l'eau envisagée de cette manière a été intimement liée au développement et à la pratique de la science et de l'ingénierie hydrologiques (Linton, 2008). Ces pratiques ont reproduit l'eau moderne dans le monde entier, comme en témoignent des phénomènes tels que les quelque 60 000 grands barrages (d'au moins 15 mètres de hauteur) construits dans le monde (Commission internationale des grands barrages, 2020), qui contrôlent une énorme partie (au moins 80 % dans l'hémisphère nord) du débit total des cours d'eau de la planète. (Tvedt et Jakobsson, 2006,

xiv). Cette maîtrise de l'eau dans le monde a profité à la plupart des gens, en permettant à des milliards de personnes d'accéder à des réserves d'eau et en fournissant de l'eau pour les activités agricoles et industrielles qui soutiennent les économies modernes, tout en limitant les dommages causés par les inondations.

Cependant, au fil des ans, on a pris conscience des coûts humains et écologiques de ces pratiques. Les révélations relatives aux effets des grands barrages sur les hommes, notamment en ce qui concerne le déplacement et la perturbation des autochtones et des populations locales marginalisées, ont suscité des doutes sur la gestion moderne de l'eau. Et les impacts écologiques néfastes du contrôle et de la manipulation de l'eau à l'échelle mondiale sont devenus de plus en plus évidents, avec « des preuves claires de pressions croissantes sur les systèmes d'eau à travers la planète, résultant de pratiques non durables d'ingénierie de l'eau, de la pollution et des facteurs de stress biotiques. » (Vörösmarty et al., 2013, p. 540).

2. De l'eau moderne aux eaux plurielles

La description ci-dessus d'un passage historique général d'un monde d'eaux multiples à un monde dans lequel l'« eau moderne » prédomine doit être nuancée : la présence d'eaux alternatives, soutenues par différents types de pratiques, a perduré, même au cœur de l'Europe moderne. L'essor de l'eau moderne « n'a pas éradiqué les "eaux" variées et spécifiques qui existent dans un endroit ou un autre et qui sont utilisées, expérimentées et conceptualisées de manière particulière » (Vogt et Walsh, 2021, p. 3). Il suffit de penser à la grotte de Lourdes, où des millions de pèlerins se sont rendus au fil des ans, contribuant ainsi à une pratique plus large d'observance religieuse et de rituels qui entretient une eau très particulière se trouvant au point de jonction des processus hydrologiques et culturels dans ce lieu particulier. Plus près de nous, ici en Limousin, les pratiques des « recommanduses » et des générations de dévots ont entretenu les eaux des « bonnes fontaines » dans la culture populaire jusqu'à aujourd'hui (Cavaillé, 2020). (Figure 3) Parler d'un retour aux eaux plurielles est donc lié à l'intérêt grandissant des chercheurs qui appliquent des méthodes qualitatives pour étudier la multiplicité des eaux, leurs causes et leurs effets. La prise de conscience croissante des coûts environnementaux et sociaux de l'eau moderne a contribué à inspirer ce retour.

Figure 3 : Une « bonne fontaine » dans le Limousin



Photo : Jean-Pierre Cavaillé

Dans un effort délibérément destiné à revitaliser l'abstraction morte de l'eau moderne, nous avons introduit le concept de « cycle hydrosocial » comme « un processus socio-naturel par lequel l'eau et la société se font et se refont mutuellement dans l'espace et le temps. » (Linton et Budds, 2014, p. 170) L'eau circule dans le cycle hydrosocial, mais il en va de même pour les facteurs politiques, culturels et sociaux qui font de l'eau ce qu'elle est dans n'importe quel ensemble de circonstances (par exemple, une marchandise, un bien public, une substance sacrée, un objet de révérence, etc.). Le concept du cycle hydrosocial contribue, au sein des sciences sociales, à un mouvement qui s'intéresse à ce que certains décrivent comme « l'hétérogénéité florissante des eaux et des cultures de l'eau » (Vogt et Walsh, 2021, p. 1). En effet, les méthodes qualitatives des sciences sociales étant de plus en plus appliquées à l'eau et aux questions liées à l'eau, il devient impossible d'ignorer l'existence d'eaux multiples. Comme le conclut Andrea Ballestero en résumant des recherches anthropologiques récentes : « Au XXI^e siècle, la réflexion anthropologique sur l'eau prendra le concept de multiplicité comme point de départ analytique plutôt que comme une révélation. » (Ballestero, 2019, p. 406)

Cette attention croissante portée aux eaux multiples peut être comprise de deux manières. Premièrement, elle reflète l'intérêt des chercheurs pour la particularité culturelle de l'eau. Par-là, il s'agit d'étudier la grande variété de significations, d'interprétations ou de visions du monde attachées à l'eau par différentes personnes dans différents lieux ou circonstances historiques. Il s'agit de l'approche la plus familière à la plupart des chercheurs, car elle conserve la notion d'une seule réalité sous-jacente, ou essentielle, qui est simplement interprétée de différentes manières par différentes personnes, la différence étant souvent comprise en termes de variabilité ou de relativisme culturel (Ingold, 2013, pp. 19-25). Ainsi, l'eau est principalement comprise comme une « ressource » par la plupart des descendants des colonisateurs européens du Canada, tandis que la plupart des peuples des Premières

Nations de ce pays reconnaissent l'eau comme une force vivante, qu'ils décrivent comme « lifeblood », ou le sang de la vie (Linton, 2019). Pour nous, chercheurs, l'eau en tant que ressource et l'eau en tant que « lifeblood » sont toutes deux valables dans le sens où elles peuvent simplement être considérées comme des interprétations différentes de la réalité sous-jacente de l'eau, que nous identifions comme H₂O. Le fait que toutes les significations et interprétations possibles de l'eau puissent être réduites à H₂O est la marque de fabrique de cette approche du relativisme culturel. C'est une approche qui offre un grand potentiel car, après tout, les significations, interprétations, représentations, discours, etc. constituent de nombreux sujets d'étude et ont des conséquences politiques importantes.

Une deuxième façon dont les chercheurs peuvent envisager des eaux multiples peut être décrite en termes de différence ontologique ou de pluralisme ontologique (Linton, 2019). L'ontologie est la branche de la philosophie qui considère les questions fondamentales de l'être et du devenir. L'attention portée au pluralisme ontologique par les chercheurs critiques de l'eau relève d'un mouvement intellectuel connu sous le nom de « tournant ontologique » (the ontological turn), qui est en cours depuis vingt ans. Issus de l'anthropologie, de la sociologie des sciences et de la philosophie, les partisans du pluralisme ontologique évitent les explications de la différence qui reposent sur des interprétations d'une réalité sous-jacente et parlent plutôt de réalités différentes qui émergent de différents types de pratiques et de processus. Comme le décrivent Vogt et Walsh, « Cette approche est plus qu'une reconnaissance des multiples compréhensions culturelles d'un monde naturel unique, car elle soutient qu'il existe des natures multiples et distinctes qui sont culturellement produites et entremêlées. » (Vogt et Walsh, 2021, p. 4)

Parler d'eaux multiples dans ce sens peut être plus difficile à saisir, mais c'est ce que je laissais entendre dans l'introduction de cet article lorsque je suggérais que différentes méthodes produisent des eaux différentes. Cette approche implique, entre autres, de prendre au sérieux les revendications de personnes qui peuvent avoir des conceptions radicalement différentes de la nature de l'eau, ou de tout autre aspect de la réalité. Les peuples des Premières Nations du Canada, par exemple, ne se contentent pas de jouer sur les mots lorsqu'ils appellent l'eau « lifeblood », et ils ne plaisantent pas non plus lorsqu'ils affirment que l'eau est un être vivant. Comme j'ai tenté de le montrer dans d'autres publications, l'eau devient un être vivant pour eux (et en fait pour n'importe qui) lorsqu'ils s'engagent avec l'eau dans des pratiques réciproques qui engendrent un respect mutuel et des relations saines (Linton, 2019). De même, l'eau devient une autre substance avec une autre vie lorsqu'elle est soumise à une analyse chimique. Les deux peuvent être considérées comme des méthodes qui non seulement révèlent des eaux différentes, mais ont pour effet de reproduire des eaux ontologiquement différentes.

Conclusion

Je voudrais conclure par quelques réflexions sur certains des avantages pratiques de considérer les eaux au pluriel. Comme indiqué ci-dessus, l'idée moderne et abstraite de l'eau peut être associée à la fourniture d'eau à grande échelle à des milliards de personnes, ainsi qu'à la protection contre les risques liés à l'eau. Cependant, d'un point de vue pratique, la notion par défaut d'« eau » au singulier masque le fait que des eaux différentes peuvent servir à des fins différentes et qu'une approche plus efficace de la gestion de l'eau pourrait consister à affecter des eaux spécifiques à des utilisations finales spécifiques.

L'ancien respect pour les eaux ontologiquement différentes et l'insistance à exprimer ce respect dans la pratique médicale antique ainsi que l'architecture des aqueducs romains servaient l'objectif pratique de faire correspondre les différentes eaux à leurs utilisations appropriées. Ainsi l'eau qui était destinée à la consommation humaine n'était pas mélangée à l'eau qui servait à abreuver les animaux, à fixer les teintures ou à produire du ciment. Vu sous cet angle, il est absurde que nous devions utiliser de l'eau traitée de qualité potable pour tirer la chasse d'eau de nos toilettes, laver nos voitures et arroser nos plantes (voir Brooks et al., 2009), et pourtant c'est le résultat logique d'une vision qui réduit toutes les eaux à une seule entité. De plus, contraint par les pratiques façonnées par l'infrastructure de l'eau de la ville moderne, l'acte de tirer la chasse d'eau, de laver les voitures et d'arroser les plantes a pour effet de renforcer l'emprise de l'eau moderne en tant qu'idée aussi bien qu'en tant que fait matériel.

Un problème similaire est que ce qui est souvent considéré comme de l'eau, et la recherche sur l'eau, est limité au paradigme établi par la vision singulière de l'eau moderne. Dans un éditorial récent (août 2021) de la revue *Nature Sustainability*, les rédacteurs déclarent que « la recherche sur l'eau est devenue... stagnante », notant « la répétitivité thématique des études » et soulignant « l'inquiétude que les études sur l'eau en tant que domaine puissent avoir largement abandonné le contexte historique et le changement institutionnel, suggérant qu'à mesure que les études sur l'eau sont devenues plus quantifiées et plus techniques, elles sont aussi devenues moins fondées » (Nature Sustainability, 2021). Au-delà de la critique selon laquelle cette revue a elle-même tendance à se limiter à publier des recherches basées sur des méthodes positivistes (Venot et al., en cours d'impression), le véritable problème pourrait être que nous avons largement épuisé les possibilités de l'eau moderne en tant que paradigme pour la recherche sur l'eau et la gestion de l'eau. La raison pour laquelle si peu de recherches nouvelles et intéressantes sont menées dans ce « domaine » est que celui-ci est défini de manière très limitée, ayant uniquement recours aux méthodes positivistes, et donc qui répètent et reproduisent les mêmes modèles et relations de base qui ont produit les problèmes relatifs à l'eau. Bien sûr, les chercheurs appliquant des méthodes positivistes ont et continueront d'avoir une pertinence dans un monde où les questions et les problèmes liés à l'eau semblent gagner en importance de jour en jour. Mais l'élargissement du paradigme à un champ épistémologique plus large, notamment pour prendre en compte les eaux multiples et les multiples méthodes, pratiques et engagements qui les soutiennent, offre un énorme potentiel pour comprendre et répondre à ces questions et problèmes de manière novatrice.

Un autre avantage pratique de la prise en compte des eaux plurielles et alternatives est suggéré par la récente reconnaissance juridique en Nouvelle-Zélande de la rivière Whanganui en tant que « personne ». Cet évènement fait suite à un siècle ou plus d'efforts de la part du peuple maori qui vit dans le bassin du Whanganui pour la faire reconnaître comme telle (Salmond et al. 2019). Ce changement du statut ontologique de la rivière en tant que « personne » s'est concrétisé par la création d'un organisme composé de représentants du gouvernement et des Maoris pour agir au nom de ce cours d'eau dans le décaissement des fonds publics destinés à sa protection. Le temps nous dira comment cette reconnaissance affecte la santé de la Whanganui et la qualité de la relation entre cette rivière et ses habitants, mais elle a certainement le potentiel d'améliorer les deux.

Enfin, la référence ci-dessus à la façon dont les peuples des Premières Nations du Canada considèrent l'eau - comme un être vivant - et les Maoris de Nouvelle-Zélande considèrent la rivière - comme une

personne - suggère un autre avantage pratique des eaux multiples. La résolution des conflits et des différends entre les sociétés colonisatrices et les peuples autochtones sur des questions concernant l'eau et d'autres aspects de ce que nous, penseurs modernes, appelons la « nature », implique nécessairement que nous soyons capables de nous rencontrer sur un plan de compréhension qui ne dénigre aucune des deux perspectives/ontologies. Tant que nous nous en tiendrons à l'idée d'une seule réalité sous-jacente, nous serons toujours tentés de faire valoir que notre interprétation est supérieure, plus précise, plus solide, plus fiable ou autre. La seule garantie d'entamer des discussions sur un pied d'égalité est d'accepter d'emblée la possibilité d'ontologies multiples. En outre, à mesure que nous nous éveillons aux effets réels et matériels du monde que nous avons créé, du moins en partie, grâce à notre ontologie moderne qui sépare l'homme de la nature et traite celle-ci comme une ressource quantifiable et calculable, les avantages de la prise en compte de ces ontologies alternatives pourraient peut-être devenir plus évidents.

Références

- BALLESTERO, Andrea. 2019. The Anthropology of Water. *Annual Review of Anthropology*, 48, 405-421.
- BROOKS, David. B., BRANDES, Oliver. M. & GURMAN, Stephen. (eds.) 2009. *Making the Most of the Water We Have: The Soft Path Approach to Water Management*, London: Earthscan.
- CAVAILLÉ, Jean-Pierre. 2020. Ceci n'est pas un ex-voto *Le Carnet de Techniques et Culture* [Online]. Available from: <https://tc.hypotheses.org/3638> [Accessed 21/01/2020 2021].
- COLLINGWOOD, R. G. 1945. *The Idea of Nature*, Oxford, Oxford University Press.
- GLACKEN, Clarence J. 1967. *Traces on the Rhodian Shore: Nature and Culture in Western Thought from Ancient Times to the End of the Eighteenth Century*, Berkeley, Los Angeles, London, University of California Press.
- HAMLIN, Christopher. 2000. 'Waters: or "Water"?' Master narratives in water history and their implications for contemporary water policy. *Water Policy*, 2, 313-325.
- HARVEY, David. 1996. *Justice, Nature and the Geography of Difference*, Oxford, Blackwell.
- INGOLD, Tim. 2013. *Marcher avec les Dragons*, Paris, Zones sensibles.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. 2020. *General Synthesis of the present edition of the register* [Online]. <https://www.icold->
- LEVINS, Richard. & LEWONTIN, Richard. 1985. *The Dialectical Biologist*, Cambridge, Massachusetts and London, England, Harvard University Press.
- LINTON, Jamie & BUDDS, Jessica. 2014. The Hydrosocial Cycle: Defining and Mobilizing a Relational-Dialectical Approach to Water. *Geoforum*, 57, 170-180.
- LINTON, Jamie. 2008. Is the Hydrologic Cycle Sustainable? A historical-geographical critique of a modern concept. *Annals of the Association of American Geographers*, 98, 630-649.

LINTON, Jamie. 2010. *What is Water? The History of a Modern Abstraction*, Vancouver, British Columbia, UBC Press.

LINTON, Jamie. 2014. Modern Water and its Discontents: a history of hydrosocial renewal. *WIRES Water*, 1, 100-111.

LINTON, Jamie. 2017. De l'eau moderne aux eaux plurielles. In : PIERRON, J.-P. (ed.) *Écologie politique de l'eau, Rationalités, usages et imaginaires*. Paris : Hermann Éditeurs.

LINTON, Jamie. 2019. The right to bring waters in to being. In: SULTANA, F. & LOFTUS, A. (eds.) *Water Politics Governance, Justice and the Right to Water*. London: Routledge.

NATURE SUSTAINABILITY 2021. Too much and not enough: Rain and drought have seized the world's attention, showing the importance of water studies for society. But what if the field is not pursuing the most critical research? *Nature Sustainability*, 4, 659.

PLINY 1938. *Natural History*, Cambridge and London, Harvard University Press and William Heinemann Ltd.

SALMOND, A., HIKUROA, D. C. H. & BRIERLEY, G. 2019. Let the Rivers Speak. *Policy Quarterly*, 15, 45-54.

TANNER, R. G. 1987. Philosophical and cultural concepts underlying water supply in antiquity. In: RODDA, J. C. & MATALAS, N. C. (eds.) *Water for the Future: Hydrology in Perspective (Proceedings of the Rome Symposium, April 1987)*. International Association of Hydrological Sciences.

TVEDT, T. & JAKOBSSON, E. (eds.) 2006. *Water Control and River Biographies*, London and New York: I.B. Tauris.

VENOT, Jean-Philippe., VOS, J., MOLLE, F., ZWARTEVEEN, M., VELDWISCH, G. J., KUPER, M., MDEE, A., ERTSEN, M., BOELENS, R., CLEAVER, F., LANKFORD, B., MOLLINGA, P., SWATUK, L. & LINTON, J. in print. There is more out there: A Response to the Nature Sustainability editorial 'Too Much and Not Enough' (August 2021). *Nature Sustainability*.

VOGT, Lindsay. & WALSH, Casey. 2021. Parsing the Politics of Singular and Multiple Waters. *Water Alternatives*, 14, 1-11.

VÖRÖSMARTY, Charles. J., PAHL-WOSTL, Claudia., BUNN, S. E. & LAWFORDE, R. 2013. Global water, the anthropocene and the transformation of a science. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 539-550.

WEST, Simon, HAIDER, L. Jamila, STALHAMMAR, Sanna. & WORONIECKI, Stephen. 2020. A relational turn for sustainability science? Relational thinking, leverage points and transformations. *Ecosystems and People*, 16, 304-325.

WHITEHEAD, Alfred. North. 1960 [1929]. *Process and Reality: An Essay in Cosmology*, New York, Macmillan Company.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Les usages des tests non rédactionnels dans l'évaluation des connaissances à distance des étudiants de Pharmacie : impact du déploiement du e-learning lors de la crise sanitaire du COVID-19

The uses of non-editorial tests in the distance assessment of Pharmacy students: impact of the deployment of e-learning during the COVID-19 crisis

Claire NIKITPOULOS

Département DUENES – Université de Limoges

Nicolas PICARD

Département DUENES – Université de Limoges

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/99>

DOI : 10.25965/lji.99

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : L'implémentation de tests non rédactionnels entraîne de nouveaux usages dans l'évaluation des connaissances des étudiants. Cette recherche s'intéresse à l'évolution des tests non-rédactionnels et à l'impact du niveau de maîtrise des enseignants sur Moodle dans le choix du format et du niveau de complexité des questions. Il ressort de notre étude que les formats de questions plus traditionnels restent les plus utilisés dans les évaluations formatives à distance. Cependant, la question cloze, plus récente et plus complexe dans sa mise en œuvre, a été fortement employée dans les évaluations de fin d'année afin d'obtenir un système de notation homogène entre les différentes disciplines. L'étude montre également que le choix des formats de questions employés dans les tests non rédactionnels est lié à d'autres facteurs que l'objectif pédagogique à atteindre.

Mots clés : tests non rédactionnels, évaluations, exercices interactifs, QCM, e-learning

Abstract: The implementation of non-editorial testing is leading to new uses in the assessment of student knowledge. This research is interested in the evolution of non-editorial tests and the impact of the level of mastery of teachers on Moodle in the choice of format and level of complexity of questions. Our study shows that the more traditional question formats are still the most used in distance formative assessments. However, the cloze question, newer and more complex in its implementation, has been widely used in end-of-year assessments in order to achieve a scoring system similar among the different disciplines. The study also shows that the choice of question formats used in non-editorial tests is linked to factors other than the educational objective to be achieved.

Keywords: non-editorial tests, evaluations, interactive exercises, MCQ, e-learning

Introduction

Depuis 1915, le recours aux tests non rédactionnels (QCM, QCU, vrai-faux, etc.) s'est généralisé dans le milieu de l'enseignement. Leur évolution est marquée par l'apparition progressive au XX^{ème} siècle de tests de standardisation de l'évaluation, de l'ordinateur puis du e-learning vers la fin de ce siècle. Ce dernier amène avec lui de nouvelles formes de questions (textes à trous, phrases à relier, éléments à glisser-déposer sur une image, etc.) qui enrichissent les formations. Mais c'est en 2020, pour faire face à la crise sanitaire liée à la COVID-19, que l'évaluation des connaissances à distance dans les formations universitaires s'est généralisée brutalement.

1. Revue de littérature

1.1. L'origine des QCM

En 1914, Frederick J. Kelly (1880-1959) soutient une thèse intitulée « Teachers' Marks : Their Variability and Standardization » à l'Université de Columbia. Ses travaux de recherche portent sur la notation des élèves qui lui semble trop subjective et le temps de correction des évaluations jugé excessif. Il propose alors une standardisation de l'évaluation. Devenu professeur à l'Université du Kansas, Kelly réalise en 1915 le « Kansas Silent Reading Test » pour évaluer rapidement les élèves de 8 à 18 ans. Les tests contiennent des QROC (Questions à Réponse Ouverte Courte), des QCU (Questions à Choix Unique) ainsi que des questions à choix numériques. Les élèves doivent ainsi écrire ou entourer les bonnes réponses ou barrer les mauvaises sur leurs copies.

On retrouve ensuite ce format d'évaluation dans le test « Army Alpha » de l'armée américaine pour mesurer rapidement les capacités des recrues pour la Première Guerre Mondiale. Plus d'un million et demi d'hommes ont réalisé cette épreuve mesurant les capacités intellectuelles et émotionnelles des soldats. L'Army Alpha comportait 8 tests verbaux : directions orales, problèmes arithmétiques, jugement pratique, synonymes-antonymes, phrases en désordre, séries de nombres à compléter, analogies, informations générales. Chaque test employait un format particulier : vrai-faux à souligner, réponse numérique, QCU à souligner, même/opposé à souligner, QCU à cocher, nombre à souligner. Les résultats déterminaient la capacité de service du soldat, sa classification d'emploi et son potentiel pour un poste de leadership. Les soldats analphabètes ou non anglophones, devaient passer le test « Army Beta », l'équivalent de l'examen en non verbal. Le succès des tests standardisés les mène à leur généralisation aux USA. En 1921, 2 millions de soldats passent leurs tests d'entrée à l'armée (Army Alpha ou Army Beta) et 3 millions d'élèves réalisent leurs épreuves sous ce format.

Vers le début des années 20, Benjamin Wood (1894-1986) psychologue à l'Université de Columbia, développe la question à choix multiples. Ce format contient une racine (question, problème à résoudre, déclaration incomplète à compléter, etc.) et des réponses possibles. L'apprenant peut choisir une ou plusieurs réponses. En 1926, le Stanford Achievement Test (SAT) ajoute aux autres formats de questions, les items à choix multiples pour évaluer les connaissances des élèves de l'*Elementary School* (équivalent du primaire) au *High School* (équivalent du lycée) aux USA. E.F Lindquist (1901-1978), Professeur d'Éducation à l'Université de l'Iowa, introduit dès 1959 l'ACT (American College Testing), un test standardisé utilisé pour évaluer les connaissances des élèves avant l'admission au collège.

Les facultés de Médecine et de Pharmacie Françaises voient l'arrivée du lecteur optique de marques en 1960. Ce dernier facilite la correction des copies des étudiants en les corrigeant automatiquement et rapidement. L'apparition des ordinateurs en 1970 entraîne une augmentation des usages en matière de tests non rédactionnels. Différentes expérimentations sont réalisées pour générer des examens à partir d'un ordinateur (Dudley, 1973 ; Cartwright et Derevensky, 1975, etc.). Dudley (1973) étudie l'impact de l'ordinateur sur la stimulation des élèves et sur l'aide que ce dernier peut apporter pour tester les progrès des élèves. L'ordinateur devint alors une solution pour fournir des procédures efficaces, peu coûteuses et de qualité pour des évaluations répétitives (Cartwright, 1975).

L'arrivée du e-learning dans le milieu des années 90 et des plateformes d'enseignement à distance (Moodle, Claroline, Blackboard, etc.) permet aux tests non rédactionnels de s'enrichir en nouveaux formats de questions (textes à trous, mots croisés, phrases à relier, éléments à glisser-déposer, etc.) et en nouvelles fonctionnalités (correction automatique, rétroaction automatisée, paramétrage manuel du système de notation, etc.).

1.2. Niveau de complexité et de difficulté de la question

Dans la construction du test, rédactionnel ou non rédactionnel, l'enseignant doit gérer le niveau de complexité et la difficulté de chaque question en fonction des objectifs pédagogiques. Pour cela, l'emploi de la taxonomie de B. Bloom (1956) est préconisé pour élever le niveau de réflexion chez l'apprenant. Ce modèle d'habiletés intellectuelles permet de définir le niveau d'apprentissage souhaitée et d'élaborer une séquence pédagogique appropriée aidant l'apprenant à atteindre l'objectif pédagogique. Bloom définit six niveaux de comportements intellectuels importants dans l'apprentissage, allant du plus simple au plus complexe :

- Le niveau « Connaissance » est défini comme le simple rappel d'un sujet appris précédemment. Cependant, il n'y a aucune certitude que l'apprenant ait compris le sujet.
- Le niveau « Compréhension » se réfère à la capacité de donner du sens au sujet appris, en la rendant disponible pour une utilisation future.
- Le niveau « Application » est la capacité à mettre en pratique ses acquis, à appliquer une méthode ou une théorie.
- Le niveau « Analyse » relève de la capacité à analyser, à distinguer, à déduire ou encore à comparer des informations.
- Le niveau « Synthèse » correspond à la capacité à produire une réflexion personnelle, à composer, à inférer ou encore à raisonner sur des informations.
- Le niveau « Evaluation » est la capacité à juger, à évaluer, à comparer, à discriminer et à argumenter sur un sujet.

Cependant, D.A. Sousa (2002), révèle une confusion limitant l'utilisation de la taxonomie de Bloom et l'augmentation du niveau de réflexion des apprenants :

« La complexité et la difficulté relèvent d'opérations mentales radicalement différentes, mais elles sont souvent interprétées comme étant synonymes. On les traite comme si l'on s'agissait d'une seule et même chose, comme si l'une se substituait à l'autre. » (D.A. Sousa, 2002, p. 280).

Selon lui, « la *complexité* décrit le processus de réflexion que le cerveau utilise pour traiter l'information » alors que la difficulté correspond « à l'intensité de l'effort que l'apprenant doit fournir à un niveau de complexité donné afin d'atteindre l'objectif d'apprentissage ». Ainsi, il est possible de monter le niveau de difficulté de la question sans pour autant modifier son niveau de complexité.

Figure 1. Niveaux de complexité et de difficulté



Les différents niveaux de complexité et de difficulté peuvent être employés en adaptant les questions et les propositions de réponses des tests non rédactionnels. En fonction de la question et de la ou des réponses attendues, les enseignants vont choisir le format de questions adapté. Les tests non rédactionnels peuvent mesurer les hauts niveaux de complexité (analyse, synthèse et évaluation) si les questions conduisent à considérer les connaissances de façon plus profonde (Baillifard et Thurre-Millius, 2020). Il est possible d'interroger des relations (temporelles, logiques, etc.) entre les concepts, de proposer des analogies pour forcer l'étudiant à comparer des notions ou encore des questions qui nécessitent plusieurs étapes de raisonnement pour y répondre (Baillifard et Thurre-Millius, 2020).

2. Une mise en place brutale des évaluations à distance

La crise sanitaire de 2020 est à l'origine d'une généralisation brutale de l'enseignement et de l'évaluation à distance dans les formations universitaires françaises. Ainsi, de mars à fin août 2020, les étudiants de Pharmacie de l'Université de Limoges ont terminé leur parcours de formation à distance et réalisé leurs examens de fin d'année en ligne.

Les enseignants devaient assurer la continuité pédagogique en ligne en employant la plateforme d'enseignement à distance et les outils numériques mis à leur disposition. Pour cela, le département DUENES, composé d'enseignants, d'ingénieurs pédagogiques et de techniciens multimédia les a accompagnés dans la mise en place de leurs cours et des évaluations à distance. Pour chaque parcours de formation, un espace examen a été mis en place par la cellule interdisciplinaire. Les épreuves « Travaux à rendre », « Tests non rédactionnels » et « Évaluations orales » étaient paramétrées en

amont par l'équipe afin que les enseignants se concentrent uniquement sur la création de leurs questions.

Certaines formations (1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} cycles) de Pharmacie suivent un système de notation spécifique. Leurs épreuves de type « tests non rédactionnels » en ligne devaient se rapprocher du système de notation en présentiel. Pour cela, les enseignants avaient pour consigne d'employer les questions de type « Cloze » sur Moodle et d'exclure les questions de type « QCM » et « vrai-faux » dans leurs évaluations. Chaque question devait comporter cinq items. Chaque item contenait trois propositions (vrai, faux, je ne sais pas), une notation spécifique (+ 0.2 point pour une réponse juste à un item, - 0.1 point pour une réponse fautive à un item, 0 point pour le choix « je ne sais pas »). L'ensemble de la question était évalué sur un point. Cependant, la réalisation d'une question « Cloze » est complexe. L'enseignant doit intégrer des lignes de syntaxes (lignes de codes) permettant à la plateforme de déterminer le type de question à générer (QCM, réponse courte, réponse numérique, etc.), les réponses, le nombre de points pour les bonnes et mauvaises réponses ainsi que le feedback. Une formation et une aide technique ont été proposées aux enseignants de Pharmacie pour la création de leurs questions « Cloze ». Un modèle de question Cloze, paramétré et spécifique pour les épreuves de Pharmacie, était à leur disposition pour créer leurs questions, simplifier la tâche et gagner du temps.

Dans ce contexte particulier, il nous semble important d'analyser le niveau de maîtrise des enseignants dans la création de tests numériques pour comprendre s'il peut être un frein dans le choix du format et du niveau de complexité des questions. Pour cela, notre travail s'appuie sur une enquête réalisée en ligne entre le 23 octobre et le 12 novembre 2020 auprès des enseignants de la Faculté de Pharmacie de l'Université de Limoges. Cette enquête avait pour objectifs de mieux connaître :

- Le profil et les connaissances des enseignants de pharmacie en matière d'enseignement à distance ;
- Leurs usages en tests non rédactionnels avant la crise sanitaire du COVID-19, pendant le confinement et lors de la mise en place des examens de fin d'années 2019-2020 à distance.

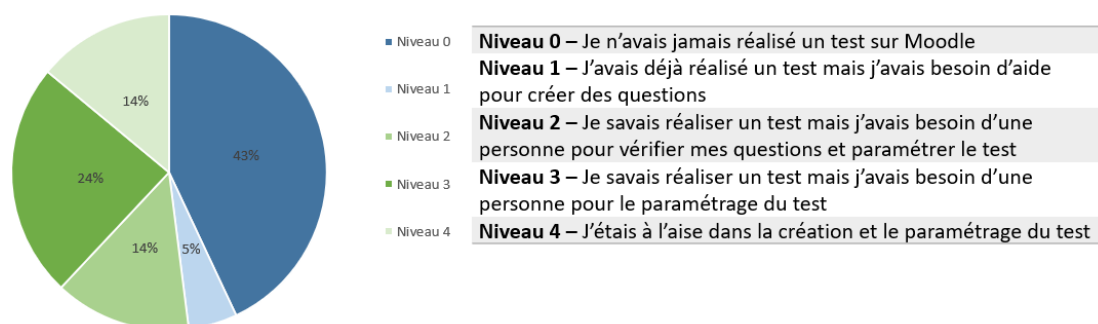
L'enquête a été adressée aux 50 enseignants de Pharmacie (tous statuts confondus) ayant donné des cours dans les parcours de formation de Pharmacie et/ou ayant participé aux examens de fin d'étude pendant l'année 2019-2020. L'étude s'appuie sur les données des 21 enseignants de Pharmacie ayant participé à l'étude.

3. Résultats

3.1. Profil des enseignants

Les résultats de l'enquête mettent en évidence une hétérogénéité du niveau de connaissances des enseignants en matière de tests non rédactionnels sur Moodle. Avant le confinement lié à la COVID-19, 43 % des participants à l'étude n'avaient jamais mis en place de test sur Moodle (niveau 0). Les résultats révèlent que 5 % avaient un niveau 1 concernant Moodle, 14 % un niveau 2, 24 % un niveau 3 et 14 % un niveau 4.

Figure 2 - Niveau des enseignants sur Moodle avant le confinement

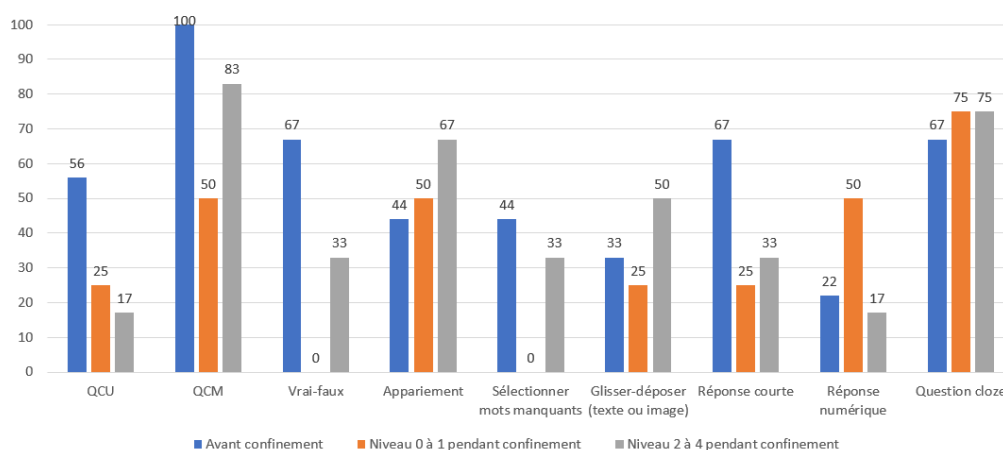


Nous notons également une proportion équitable entre les enseignants ayant un faible niveau (niveaux 0 et 1) dans la création de tests non rédactionnels sur Moodle et les enseignants ayant un niveau avancé (niveau 2 à 4).

3.2. Formats employés dans les tests

Avant le confinement de mars 2020, 43 % des enseignants ayant participé à l'étude utilisaient la plateforme Moodle pour réaliser des tests formatifs. Aucun enseignant de niveau 0 à 1, n'avaient réalisé de tests formatifs sur Moodle ou sur d'autres outils (Socrative, Wooclap, SIDES, ou autre). Tous les enseignants de niveau 2 à 4 employaient avant le confinement, les questions de type QCM. Ils utilisaient également les questions de type vrai-faux (67 %), les questions à réponse courte (67 %), les questions cloze (67 %) et les QCU (56 %).

Figure 3 - Evaluations formatives avant et pendant le confinement



Pendant le confinement (mars à mi-mai 2020), les étudiants terminaient leurs cours à distance et entraient en phase de révision pour leurs examens de fin d'années (de mai à début juillet). Lors de cette période, les enseignants de niveau 0 à 1 utilisaient principalement les questions cloze (75 %), les QCM (50 %), les questions appariement (50 %) et numériques (50 %). Les formats vrai-faux et sélectionner les mots manquants n'ont pas été utilisés.

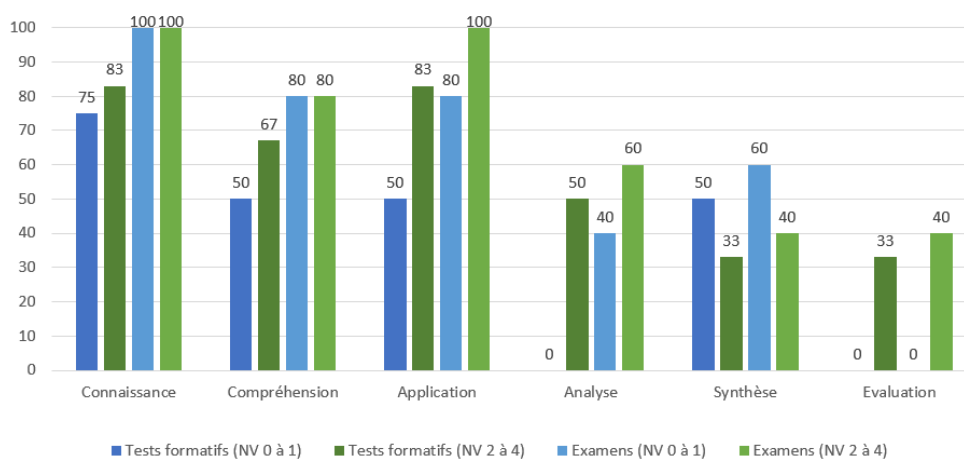
Les enseignants de niveau 2 à 4 proposaient une plus grande variété de questions à leurs étudiants allant des plus simples aux plus complexes (Glisser-déposer, cloze, numérique, etc.). Les questions de type

QCM (83 %), d'appariement (67 %), cloze (67 %) et les glisser-déposer sur un texte ou sur une image (50 %) sont les plus utilisés.

3.3. Niveaux de complexité

Pendant le confinement, les enseignants ayant un niveau 0 à 2 dans la création de tests sur Moodle employaient principalement des questions de niveau de complexité connaissance (75 %), puis dans une moindre mesure, des questions de niveaux compréhension (50 %), application (50 %) et synthèse (50 %). Aucun enseignant de ce groupe n'employait de question de niveaux analyse et évaluation. Les enseignants de niveau 2 à 4 proposaient des questions de tous niveaux de complexité. Ces derniers employaient principalement des questions de niveaux connaissance (83 %), application (83 %), compréhension (67 %) et analyse (50 %).

Figure 5 - Niveaux de complexité dans les tests formatifs pendant le confinement



Les résultats concernant les examens de fin d'année montrent une légère différence par rapport à ceux des évaluations formatives pendant le confinement. Les enseignants de niveau 0 à 1 employaient principalement des questions de niveaux connaissance (100 %), compréhension (80 %), application (80 %) et synthèse (60 %) comme lors des tests formatifs pendant le confinement. Aucun enseignant de ce niveau réalisait de questions de niveau évaluation. Les enseignants de niveau 2 à 4 employaient des questions de tous niveaux de complexité. Nous remarquons une légère augmentation de leurs usages dans les différents niveaux de complexité.

4. Discussion

L'objectif de cette recherche était d'étudier le niveau de maîtrise des enseignants dans la création de tests non rédactionnels sur Moodle et découvrir l'impact de celui-ci dans le choix du format et du niveau de complexité des questions. Notre recherche exploratoire s'est donc portée sur un échantillon réduit d'enseignants de l'Université de Limoges. De ce fait, nous ne prétendons pas à la représentativité de notre échantillon à l'échelle nationale mais présentons la stratégie pédagogique mise en place par notre faculté pour assurer l'évaluation des connaissances à distance et son impact sur le choix des formats de questions employés par les enseignants de Pharmacie lors des différentes évaluations à distance.

L'étude montre que les formats de questions traditionnels (QCM, QCU, vrai-faux, réponse courte) restent les plus utilisés dans les évaluations formatives sur Moodle. Les résultats révèlent également une forte utilisabilité du format Cloze permettant d'intégrer sur la même page différents formats traditionnels (QCM, QCU, appariement et réponse courte) et de se rapprocher au plus près du système de notation des épreuves en présentiel. En appliquant le modèle de question Cloze et son système de notation spécifique, la Faculté de Pharmacie veut également tenir compte de l'effet du hasard dans la note. La littérature scientifique montre une réflexion internationale de la notation dans les évaluations en ligne (Burton, 2001 ; Lesage, Valcke et Sabbe, 2013, etc.) et ses effets sur le facteur chance. Lesage et ses collaborateurs (2013) révèlent que de nombreux tests de type QCM ont été conçus en utilisant la méthode du « Number right scoring ». Les réponses correctes sont notées positivement mais les réponses incorrectes ou absentes ont une valeur à zéro. Ainsi, la somme des notes positives aux questions correspond à la note de l'évaluation. Cependant, en cochant au hasard ou en devinant, les étudiants peuvent répondre positivement. Pour corriger les suppositions et l'effet de hasard, Kurz (1999) propose le modèle « rights minus wrongs » qui pénalise l'étudiant pour toute réponse incorrecte. L'objectif de ce système de notation est de faire comprendre aux apprenants qu'ils perdront des points en répondant incorrectement. Ceci permettrait d'augmenter la fiabilité et la validité du test tout en reflétant la capacité de l'apprenant (Kurz, 1999). D'autres chercheurs soulignent le fait que le marquage négatif ne résout pas le problème de hasard ou de devinette mais introduit un problème de stratégie comportementale des apprenants, non observé dans le modèle du « Number right scoring ». Ainsi, le modèle de question Cloze de la Faculté de Pharmacie de Limoges permet de se rapprocher du système de notation appliqué en présentiel mais également de réduire l'effet de hasard et les stratégies comportementales lors des évaluations.

Par ailleurs, nous souhaitons découvrir l'impact du niveau de maîtrise des enseignants dans la création de tests sur Moodle sur le choix des formats des questions et des niveaux de complexité dans les évaluations. Si notre étude ne nous permet pas de valider ou d'infirmer nos deux dernières hypothèses en raison de la taille réduite de notre échantillon, elle nous donne cependant des informations intéressantes sur les facteurs impliqués dans le choix du format des questions. Nous pouvons en effet remarquer une évolution des usages des enseignants de niveau de maîtrise 2 à 4 dans la création de tests sur Moodle pendant les périodes formatives (avant et pendant le confinement). Les résultats mettent en évidence une forte diminution de l'emploi de questions QCU, vrai-faux et réponse courte pendant la période de confinement (fin des cours et approche des examens). Nous en déduisons que ce changement d'usage est lié à la préparation des examens de fin d'année et à la stratégie d'évaluation sélectionnée par l'équipe pédagogique de la Faculté de Pharmacie de Limoges. Ainsi, il nous apparaît que le choix des formats de questions employés dans les tests non rédactionnels est lié à plusieurs facteurs : (1) l'objectif de l'évaluation (diagnostic, formatif, sommatif), (2) l'objectif pédagogique (niveau de complexité et de difficulté), (3) le niveau technique de l'enseignant sur Moodle, (4) les contraintes pédagogiques (public, lieu de passation, système de notation, moyens techniques à disposition, stratégie pédagogique, etc.). Cependant, le niveau de connaissances techniques des enseignants en matière de numérique peut être compensé par une aide humaine et un support pédagogique. Les formations au numérique et la mise à disposition d'un modèle de question Cloze permettent à tout enseignant de créer plus facilement leurs

épreuves et d'employer un format de question complexe demandant l'intégration de syntaxes pour générer les questions et la notation.

Conclusion

En conclusion, les formats de questions plus traditionnels restent les plus utilisés dans les évaluations formatives à distance. Lors des évaluations sommatives, les enseignants de Pharmacie de l'Université de Limoges emploient principalement le format de question Cloze, plus complexe dans sa mise en œuvre, afin d'obtenir un système de notation uniforme et connu des étudiants. Cependant, il nous semble important de former davantage les enseignants aux outils et à la création de ressources et d'activités numériques.

Références

- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals*. New York: Longmans, Green.
- Burton, R. F. (2001). Quantifying the Effects of Chance in Multiple Choice and True/False Tests: Question Selection and Guessing of Answers. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 26(1), 41–50.
- Cartwright, G.F. (1975). A promising innovation: computer assisted test construction. *Learning and Development*, 6, (4), 1-3.
- Cartwright, G.F., Derevensky, J. (1975). An attitudinal Study of Computer Assisted Testing as a learning Method.
- Dudley, T.J. (1973). How the computer assists in pacing and testing students progress. *Educational Technology*, 13, 21-23.
- Kelly, F. J. (1916). The Kansas Silent Reading Tests. *Journal of Educational Psychology*, 7(2), 63–80.
- Kurz, T.B. (1999). *A review of scoring algorithms for multiple-choice tests*. Paper Presented at the Annual Meeting of the Southwest Educational Research Association, San Antonio, TX
- Lesage, E., Valcke, M. and Sabbe, E. (2013). Scoring Methods for Multiple Choice Assessment in Higher Education: Is it Still a Matter of Number Right Scoring or Negative Marking? *Studies in Educational Evaluation*, 39(3), 188–193.
- Sousa, D.A. (2002). *Un cerveau pour apprendre : Comment rendre le processus enseignement-apprentissage plus efficace*. Montréal : Chenelière Education.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Les heptazines, de (relativement) nouvelles venues prometteuses en chimie moléculaire

Pierre Audebert

PPSM, ENS Paris-Saclay et XLIM, Université de Limoges

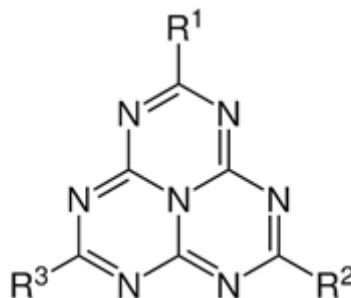
URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/136>

DOI : 10.25965/lji.136

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Introduction

Fig. 1 : Formule générique des heptazines



La chimie des heptazines moléculaires est depuis peu l'objet d'un renouveau spectaculaire (Audebert et al., 2021). Les heptazines (un terme introduit dans les années 60 seulement, malgré des recherches bien plus anciennes), répondent à la structure générique ci-dessus (Fig. 1). La première synthèse d'une molécule attribuée à cette famille, longtemps rattachée à celle des nitrures de carbone, remonte à 1830 ; c'est par grillage du thiocyanate de mercure (les conditions de sécurité n'étaient pas alors ce qu'elles sont devenues de nos jours !), que le chimiste allemand Justus von Liebig obtient un solide jaune pâle qu'il nomme « melon ». Dans ce matériau, le cycle heptazine préexiste, et chacun des trois sommets substituables (R₁, R₂, R₃ sur la Fig. 1) du cycle heptazinique porte une amine, mais les cycles sont oligomérisés (ce que forcément Liebig ignorait, le seul moyen de caractérisation à l'époque étant l'analyse élémentaire). D'autres synthèses analogues ont suivi et ont fourni par exemple le melem, une triaminoheptazine presque pure. Toutefois, pendant plus de 150 ans (!) seuls de rares dérivés d'heptazine ont été publiés, et la seule molécule à permettre l'extension à de nouveaux composés de cette famille de composés a été la trichloroheptazine (Kroke et al., 2002).

Toutefois, préparer la trichloro-s-heptazine reste très délicat. Il faut en effet chauffer à 140 °C du cyamelurate de potassium (sel de potassium de la trihydroxyheptazine, encore appelé acide cyamélurique) dans du pentachlorure de phosphore (PCl₅), ou encore dans un mélange de PCl₅ et de trichlorure de phosphore (PCl₃). Ce sont des réactifs extrêmement agressifs et toxiques. La réaction produit également un peu d'acide chlorhydrique (HCl) gazeux et un peu de chlore. Pour effectuer cette réaction en sécurité, il faut donc disposer d'un équipement dédié, plutôt coûteux et que peu de laboratoires de recherche en chimie organique sont en capacité d'avoir. Résultat : Seulement très peu de laboratoires dans le monde produisent ou ont produit de la trichloro-s-heptazine. C'est un point qui a ralenti les recherches. Qui plus est, cette molécule est très réactive, s'hydrolyse rapidement avec l'eau atmosphérique, et pour finir n'est pas tellement soluble.

1. Propriétés des heptazines et état de l'art en synthèse

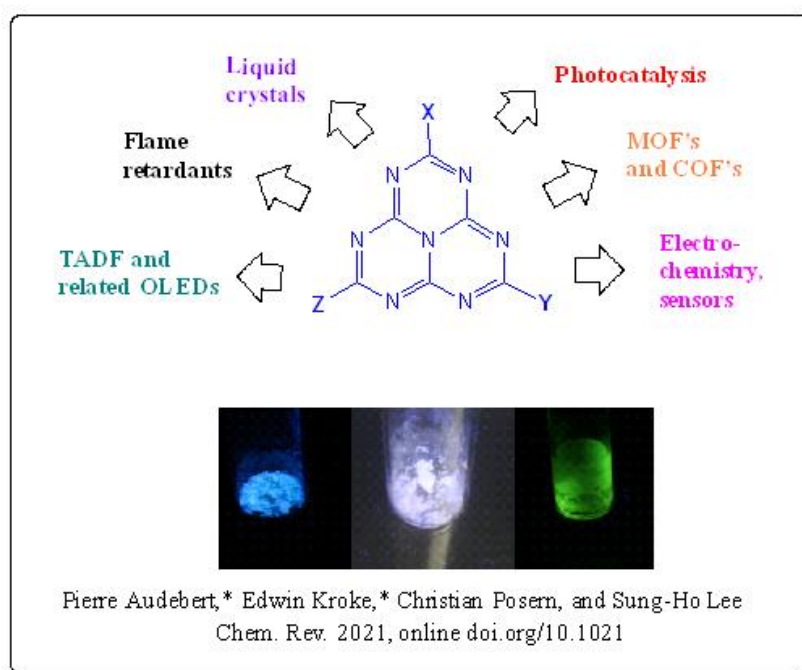
Les propriétés thermiques et chimiques de ces composés aromatiques affichant un squelette à trois hétérocycles azotés fusionnés ouvrent cependant la voie vers de nouvelles applications prometteuses, en particulier en optoélectronique et en photocatalyse, mais aussi celle de la préparation de COFs (Covalent Organic Frameworks) ou de MOFs (Metal-Organic Frameworks). Des travaux récents en chimie théorique du Pr W. Domcke montrent également que certaines de ces molécules, qui présentent toutes

la particularité d'avoir une HOMO et une LUMO spatialement d'un recouvrement quasi-nul, sont susceptible de ce fait de violer occasionnellement la règle de Hund et ont dans certains cas un premier état excité triplet d'une énergie supérieure à celle du singulet !

Les heptazines sont souvent faiblement solubles voire insolubles. Toutefois le cycle heptazinique est cependant doté d'une haute stabilité thermique et chimique, se décomposant à des températures supérieures à 500 °C. Assez curieusement, cependant, les liaisons avec les substituants sont plus fragiles, et donc plus labiles que dans des cas proches comme les tétrazines ! Par exemple, en opposition avec les phosphotétrazines, les phosphoheptazines ne sont pas du tout stables (Schwarzer et al., 2013) : la liaison carbone-phosphore se casse spontanément en solution, pour on ne sait quelle raison. Les heptazines sont, malgré ces différences, toutefois assez similaires aux tétrazines en termes de réactivité et leur chimie fait majoritairement appel à des substitutions nucléophiles aromatiques.

Si les tétrazines fluorescent dans l'orange, les heptazines, elles, fluorescent dans le bleu-violet en général, mais leur couleur de fluorescence est plus dépendante des substituants et peut aller jusqu'au jaune-vert, car il s'agit d'une fluorescence traditionnelle basée sur une transition de type $\pi-\pi^*$ (contrairement aux tétrazines qui utilisent une transition de type $n-\pi^*$) (Clavier et al., 2010). Cette fluorescence possède une longue durée de vie, car elle fait appel au mécanisme de type « fluorescence retardée thermiquement activée » (acronyme anglais TADF) à cause de la proximité des états singulet et triplet comme déjà mentionné. Cette caractéristique est très utile en photocatalyse car le substrat a le temps de diffuser vers le photocatalyseur. Elles sont également réduites quasi-réversiblement à un potentiel rédox relativement élevé. La présence d'un nombre important d'atomes d'azote dans les cycles aromatiques rend ces molécules très électro-déficientes. Quand elles sont photo-activées, leur état excité est un oxydant fort.

Fig. 2 : Rappel des applications potentielles des heptazines avec des images de fluorescence de quelques-unes d'entre elles (d'après la ref. 1).



Ces molécules présentent donc un comportement en spectroscopie et une affinité électronique élevée qui laissent entrevoir des applications prometteuses en optoélectronique et en photocatalyse. Alors que les photocatalyseurs actuellement utilisés sont majoritairement organométalliques, de ce fait occasionnellement toxiques et presque toujours coûteux, les heptazines pourraient fournir de nouvelles plateformes de catalyse photorédox efficaces et sans métaux. Nous venons tout juste d'avoir eu la chance de bénéficier d'un financement ANR accepté (Heptacat) en consortium avec le Dr G. Masson (ICSN, Gif s. Yvette) et le Dr F. Rossignol, à Limoges (IRCER) dont l'objectif principal est le développement de nouvelles familles de photocatalyseurs.

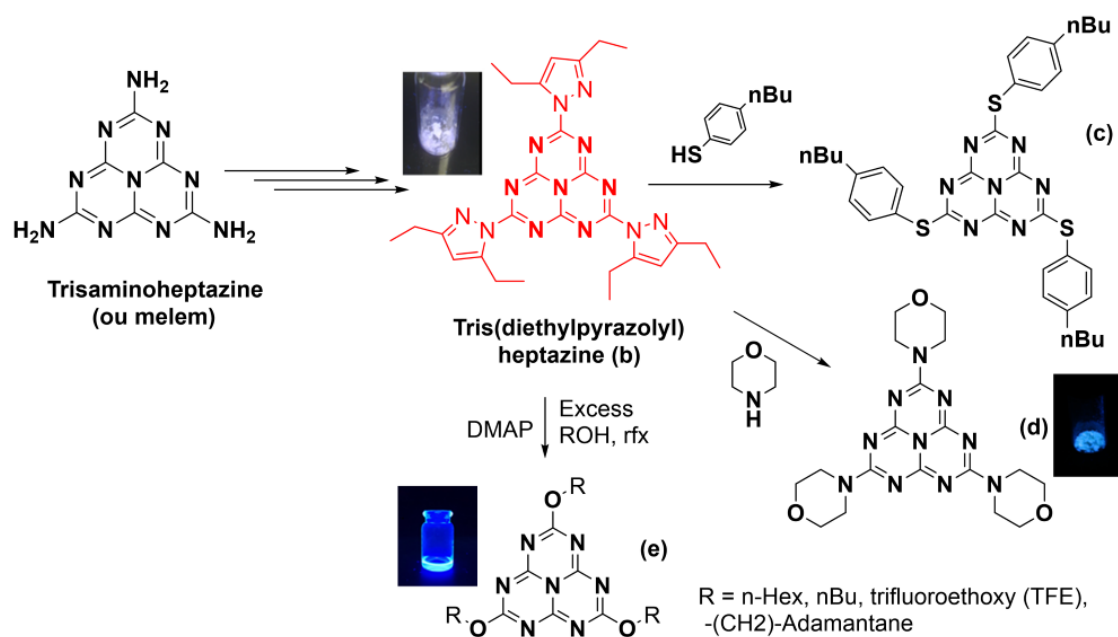
Egalement utilisées dans des applications industrielles en tant que retardateurs de flamme ou comme additif dans certains matériaux, les heptazines moléculaires ont longtemps fait un peu l'objet de recherches fondamentales, car le principal point névralgique pour leur production reste la synthèse, cela associé au fait que seule, jusqu'à il y a trois ans, la trichloroheptazine avait permis la synthèse d'un nombre important de molécules dérivées. Même si le melem a permis la synthèse de quelques dérivés d'heptazines isolés en suivant d'autres routes, toutes les autres voies de synthèse sont demeurées sans issue et n'ont permis la préparation que d'un ou deux composés isolés. Telle était la situation dans la chimie des heptazines avant notre découverte de la tris-(diéthylpyrazolyl)-s-heptazine.

2. La tris-(diéthylpyrazolyl)-s-heptazine ou TDPH, un acteur clé dans le renouveau de la synthèse des heptazines.

Notre nouveau précurseur - la tris-(diéthylpyrazolyl)-s-heptazine ou TDPH – (Galmiche et al., 2019), a permis pour la première fois d'éviter le passage quasi-obligé par la trichloro-s-heptazine et ainsi de

contourner les inconvénients liés à sa synthèse. La TDPH présente plusieurs avantages : elle est bien soluble du fait des six groupes diéthylpyrazole., on la produit simplement par mécanochemie (ou plus récemment par chimie au réacteur microondes) et mis à part un broyeur rotatoire à billes ou un réacteur à microondes, elle ne nécessite pas d'équipement spécial. On part de la mélamine pour obtenir, par pyrolyse, le melem, qui ensuite, par chauffage en présence d'hydrazine, donne la tris-(hydrazino)-s-heptazine, un solide quasiment insoluble à part dans l'eau acide (du fait des innombrables liaisons hydrogène présentes). Toutes ces étapes ne nécessitent aucune purification (qui serait d'ailleurs très difficile, ces molécules étant insolubles). Ce composé est en suite broyé en présence de la dicétone appropriée (la 3,5-heptanedione) et d'un catalyseur acide classique (APTS) pendant 15 minutes et obtient la TDPH avec un rendement de l'ordre de 30 %.

Fig. 3 : La TDPH et quelques exemples de sa flexibilité pour la synthèse de nouvelles heptazines.



La TDPH est un vraiment un synthon privilégié pour l'accès à de nouvelles heptazines. Quelques exemples de réactions très faciles à effectuer sont données sur la Figure 3 ci-dessus. La quasi-totalité des nucléophiles pas trop réducteurs (les réactifs de Grignard sont hélas une exception de nucléophile inadapté car trop réducteur) sont à même de substituer les pyrazoles qui font ainsi office de groupes partants facilement substituables.

Il est probable que les molécules issues de la TDPH permettent dans les années qui viennent de renouveler très positivement la chimie des heptazines, en permettant d'exploiter leur potentiel prometteur dans les directions précitées.

Conclusion

Sur la voie de sa maturité, la chimie des heptazines se montre désormais capable de se placer en bien meilleure position dans les recherches sur les molécules aromatiques hétérocycliques organiques actives. Il est loisible d'espérer une petite révolution dans le domaine de la photocatalyse, car aucun photocatalyseur purement organique ne possédant à ce jour l'ensemble des propriétés remarquables

(haut potentiel rédox à l'état excité associé à un long temps de vie) de ces dernières. Dans les autres domaines où les heptazines peuvent se révéler d'excellents candidats (typiquement l'électronique moléculaire et les fluorophores à fluorescence retardée), des plate-formes moléculaires existent (eg les phthalimides, ou les dicyanobenzènes) mais il n'est pas interdit d'espérer que là aussi, elles puissent permettre de dépasser les systèmes concurrents, bénéficiant en particulier de leur synthèse nécessitant moins d'étapes.

Références

Audebert, P.; Kroke, E.; Posern, C.; Lee, S.-H., State of the Art in the Preparation and Properties of Molecular Monomeric s-Heptazines: Syntheses, Characteristics, and Functional Applications. *Chemical Reviews* **2021**, *121* (4), 2515-2544.

Kroke, E.; Schwarz, M.; Horath-Bordon, E.; Kroll, P.; Noll, B.; Norman, A. D., Tri-s-triazine derivatives. Part I. From trichloro-tri-s-triazine to graphitic C₃N₄ structures. *New Journal of Chemistry* **2002**, *26* (5), 508-512.

Schwarzer, A.; Saplinova, T.; Kroke, E., Tri-s-triazines (s-heptazines)—From a “mystery molecule” to industrially relevant carbon nitride materials. *Coordination Chemistry Reviews* **2013**, *257* (13-14), 2032-2062.

Clavier, G.; Audebert, P., s-Tetrazines as Building Blocks for New Functional Molecules and Molecular Materials. *Chemical Reviews* **2010**, *110* (6), 3299-3314.

Galmiche, L.; Allain, C.; Le, T.; Guillot, R.; Audebert, P., Renewing accessible heptazine chemistry: 2,5,8-tris(3,5-diethyl-pyrazolyl)-heptazine, a new highly soluble heptazine derivative with exchangeable groups, and examples of newly derived heptazines and their physical chemistry. *Chemical Science* **2019**, *10* (21), 5513-5518.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Projet ALOHA : Interféromètre fibré à conversion de fréquence dans le moyen et lointain infrarouge

ALOHA project: Fibred up-conversion interferometer in mid and far infrared

Julie Magri

Axe Photonique, laboratoire XLIM, Limoges
julie.magri@xlim.fr

Ludovic Grossard

Axe Photonique, laboratoire XLIM, Limoges

Laurent Delage

Axe Photonique, laboratoire XLIM, Limoges

François Reynaud

Axe Photonique, laboratoire XLIM, Limoges

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/83>

DOI : 10.25965/lji.83

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Les moyens d'observation en astronomie n'ont cessé d'évoluer au fil des siècles. L'utilisation de réseaux de télescopes permet aujourd'hui d'avoir des détails de plus en plus fins dans les images obtenues (grande résolution). Dans ce contexte, le projet ALOHA propose une approche totalement originale consistant à changer la couleur de la lumière de l'objet observé au niveau de chaque télescope du réseau avant de la détecter. Cela permet d'éviter d'utiliser des systèmes de cryogénie très coûteux et complexes nécessaires lors de la collecte de lumière moyen et lointain infrarouge. Ce document présente quelques éléments sur nos activités de recherche sur le projet ALOHA.

Mots clés : photonique, astronomie, interférométrie, haute résolution angulaire, optique non linéaire

Abstract: The means of observation in Astronomy have continued to evolve over the centuries. The use of telescope arrays allows astronomers to have finer and finer details in the images obtained (high resolution). In this context, the ALOHA project proposes a completely original approach consisting in changing the color of the light of the object observed at the level of each telescope of the array before the detection. This avoids the use of the very expensive and complex cryogenic systems required when collecting medium and far infrared light. This document presents some elements of our research activities on the ALOHA project.

Keywords: photonics, astronomy, interferometry, high angular resolution, nonlinear optic

Introduction

Les moyens d'observations en astronomie n'ont cessé d'évoluer au fil du temps depuis la lunette de Galilée au XVI^e siècle, jusqu'à la création de grands télescopes comme, par exemple, le Canada-France-Hawaii Telescope (Mauna Kea, Hawaii, USA) de 3,58 mètres de diamètre au XX^e siècle ou l'installation au XXI^e siècle au Chili de plusieurs VLT (Very Large Telescope) de 8 mètres de diamètre chacun.

Les observations en astronomie nécessitent des télescopes toujours plus grands, d'une part pour collecter un maximum de lumière et ainsi imager des objets toujours moins lumineux, mais également pour obtenir davantage de détails fins dans les images enregistrées. On parle alors de résolution angulaire. Les dimensions des miroirs primaires des télescopes sont toutefois limitées à une dizaine de mètres actuellement pour les télescopes monolithiques existants, et jusqu'à 39 mètres pour le futur télescope géant européen EELT, qui devrait voir sa première lumière en 2027, et dont la construction débute tout juste.

Ce document présente quelques éléments sur nos activités de recherche sur le projet ALOHA : l'interféromètre à conversion de fréquence dans le moyen et lointain infrarouge.

1. Intérêt de l'imagerie par un réseau de télescopes

La synthèse d'ouverture est une technique d'imagerie haute résolution qui permet de dépasser les limites de performance des grands télescopes monolithiques (Figure 1) en terme de résolution angulaire. La méthode consiste à utiliser plusieurs télescopes de « petit diamètre », mais fonctionnant en réseau (Figure 2). Le réseau de télescopes se comporte alors comme un interféromètre optique.

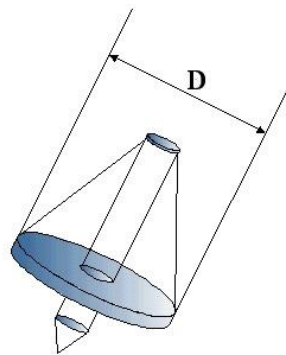


Figure 1 : Résolution angulaire limitée avec des télescopes classiques monolithiques avec des diamètres allant de 1 à 10 mètres.

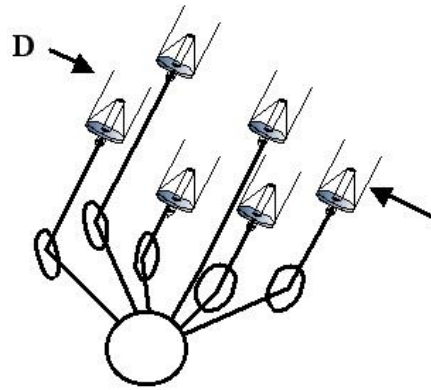


Figure 2 : Grande résolution angulaire mesurée avec l'utilisation d'un réseau de télescopes et de l'interférométrie. Les distances entre les télescopes peuvent atteindre jusqu'à 300 mètres.

L'utilisation de l'interférométrie permet donc d'avoir une grande résolution angulaire. Ainsi, plus la résolution angulaire est grande et plus les détails que l'on peut observer sont fins. Pour avoir des ordres de grandeurs, dans le visible pour une longueur d'onde de 500 nm : la résolution d'un œil humain (diamètre de pupille de 2mm) permet de voir une balle de ping pong (2,5 cm) à 100 m, la résolution d'un télescope de 2 mètres de diamètre permet de voir cette même balle de ping pong à 100 km et la résolution d'un réseau de télescopes de 200 mètres de diamètre permet de voir la balle de ping pong à 10 000 km. On comprend alors l'intérêt d'avoir une grande résolution angulaire.

Avec un interféromètre, on ne réalise pas directement une image mais on combine les faisceaux issus de chacun des télescopes afin de créer des interférences entre les ondes lumineuses. On mesure alors la ressemblance entre les deux ondes collectées par les télescopes. Plus les ondes se ressemblent, plus les franges d'interférences sont contrastées (zones brillantes très brillantes et zones sombres très sombres) (Figure 3). On ne peut obtenir des interférences que si les distances parcourues par chacune des ondes lumineuses sont identiques. Pour égaliser toutes ces distances, on va utiliser des « Lignes à retard » afin de retarder certaines ondes par rapport à d'autres.

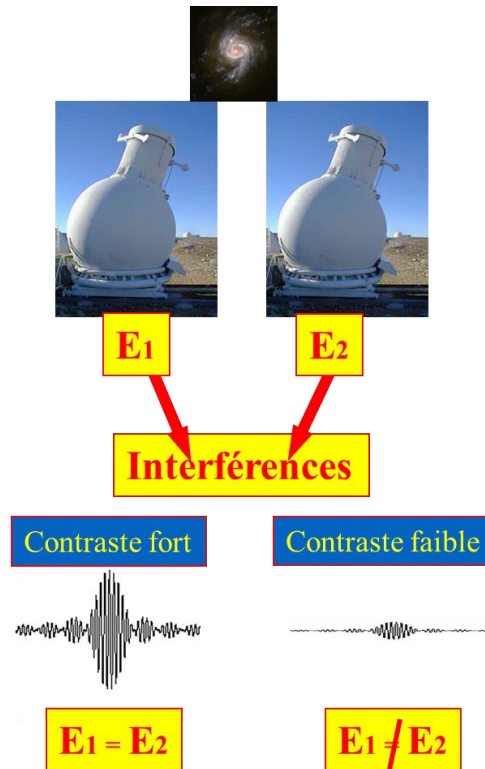


Figure 3 : Mesure d'interférences à l'aide de deux télescopes, c'est-à-dire la mesure de la ressemblance entre les deux ondes lumineuses collectées par les télescopes.

Ce signal obtenu permet d'obtenir des informations sur le spectre spatial de la source observée pour, ensuite, reconstruire une image de l'objet observé par des algorithmes de calcul adaptés.

Il existe à ce jour plusieurs grands instruments fonctionnant sur ce principe, comme le VLTI (Very Large Telescope Interferometer), situé au sommet du Mont Paranal au Chili, ou encore le réseau de télescopes CHARA (Center for High Angular Resolution Astronomy) à l'observatoire du Mont Wilson en Californie (Figure 4). Ces réseaux de télescopes permettent d'obtenir la même résolution angulaire qu'un télescope unique de plusieurs centaines de mètres de diamètre !

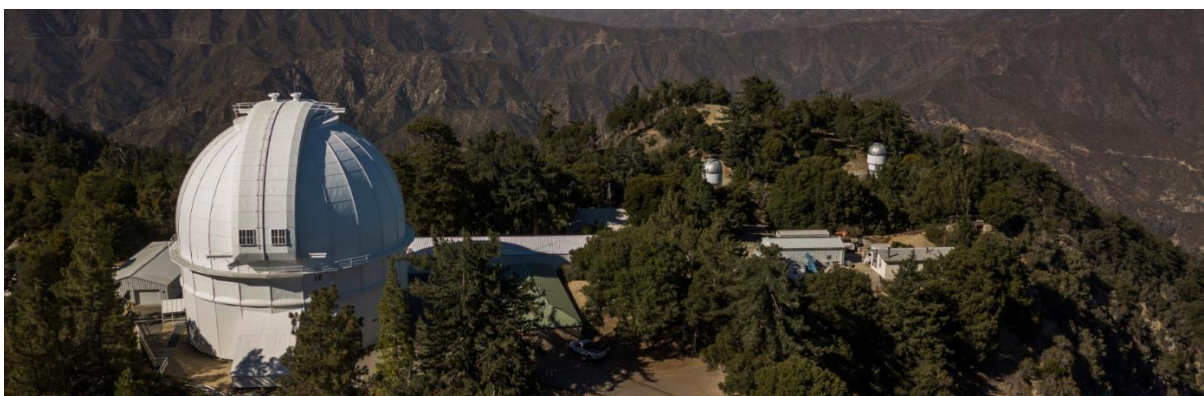


Figure 4 : Observatoire du Mont Wilson, Californie. ©CHARA

2. Projet ALOHA : Le mariage de l'astronomie haute résolution et de l'optique non linéaire

Les réseaux de télescopes tels que le VLTI ou CHARA sont très performants dans le domaine du visible et du proche infrarouge (entre 400 nm et 1800 nm), grâce à la disponibilité de composants et de capteurs efficaces et peu bruités dans ces domaines spectraux. En revanche, la transposition de ces techniques dans le domaine du moyen infrarouge ou de l'infrarouge lointain (pour l'observation d'exoplanètes, de naines brunes ou plus généralement d'objets plutôt froids) est à l'heure actuelle très difficile, voire impossible, du fait de l'absence de composants adaptés et de la nécessité d'utiliser des systèmes de cryogénie coûteux et complexes.

2.1. Intérêt et présentation du projet ALOHA

Depuis bientôt 15 ans, notre équipe de recherche propose, par le biais du projet ALOHA (Astronomical Light Optical Hybrid Analysis) [1], une approche totalement originale consistant à changer la couleur de la lumière de l'objet observé au niveau de chaque télescope du réseau. La lumière est transposée du domaine de l'infrarouge moyen et lointain vers le domaine de l'infrarouge proche, sans toutefois détériorer les précieuses informations sur l'objet observé portées par les photons (grains de lumière) collectés. Nous utilisons pour cela des cristaux dits « non linéaires », qui permettent d'effectuer ce changement de couleur. Ce phénomène est appelé conversion de fréquence : les photons venant de l'espace sont mélangés dans les cristaux non linéaires avec un faisceau laser, appelé laser de pompe, dont le rayonnement est d'une grande pureté spectrale. Ce changement de couleur évite l'utilisation de systèmes de cryogénie complexes et permet d'utiliser des composants très performants et peu bruités pour la détection. Il permet également l'utilisation de fibres optiques pour acheminer la lumière collectée par chacun des télescopes vers la station de recombinaison et rend ainsi possible le développement de réseaux de télescopes dont la distance entre les télescopes peut être kilométrique, donnant alors accès à des résolutions angulaires inatteignables actuellement !

2.2. Stratégie du projet ALOHA

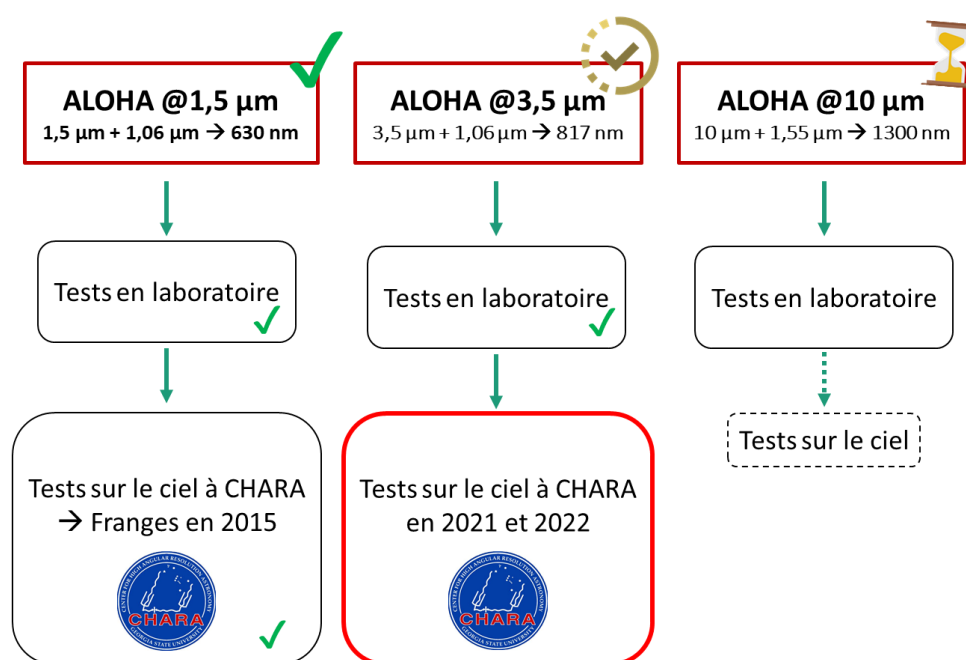


Figure 5 : Stratégie du projet ALOHA

La Figure 5 présente un schéma de notre stratégie pour le projet ALOHA. Afin de mettre en œuvre des instruments travaillant à des longueurs d'ondes élevées (moyen et lointain infrarouge), la première étape a consisté à démontrer que le principe fonctionne effectivement à des longueurs d'ondes plus petites. L'année 2015 a marqué un tournant dans notre projet de recherche, où nous avons réussi pour la première fois à obtenir des interférences sur le ciel avec notre système, où nous avons converti de la lumière proche infrarouge (1,5 μm) émis par des étoiles vers le domaine du visible. L'expérimentation a eu lieu avec l'instrument américain CHARA, au sommet du Mont Wilson, et a donné lieu à une publication dans la revue *Physical Review Letters* l'année suivante [2].

Ensuite, en 2020, un banc convertissant de la lumière à 3,5 μm vers 820 nm a été mis en œuvre en laboratoire (Figure 6 – gauche) et les résultats obtenus sont très encourageants pour la mise en œuvre sur le ciel [3]. Une adaptation et une miniaturisation de l'instrument est en cours pour s'adapter aux conditions réelles à CHARA (Figure 6 – droite).

Miniaturisation & adaptation pour CHARA

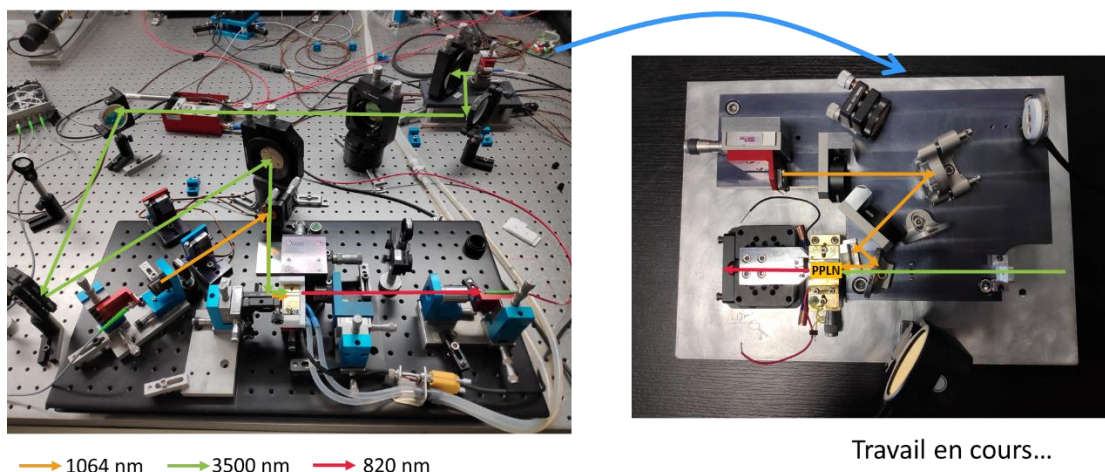


Figure 6 : Une partie du premier interféromètre à conversion de fréquence en laboratoire fonctionnant à 3,5 μm (gauche). Miniaturisation et adaptation pour CHARA de cette partie de l'interféromètre (droite).

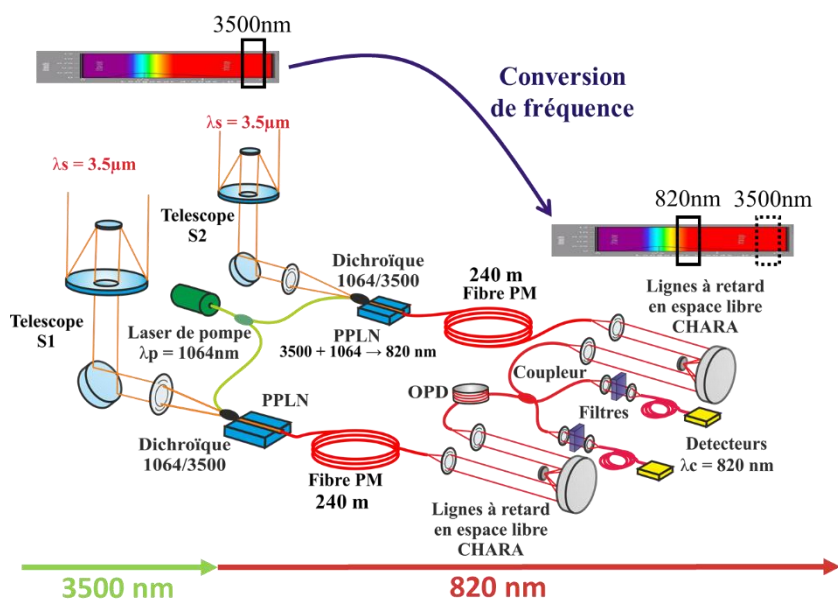


Figure 7 : Schéma du projet ALOHA avec une conversion 3,5 μm (moyen infrarouge) vers 820 nm (proche infrarouge).

La Figure 7 présente un schéma de la future mise en œuvre du projet à 3,5 μm à CHARA. La lumière à 3,5 μm est collectée via deux télescopes, puis convertie en un signal à 820 nm à l'aide de cristaux non linéaires (Figure 8). La lumière convertie passe alors dans des fibres optiques de 240 m de long puis dans les lignes à retard de CHARA (Figure 9). Les lignes à retard permettent d'égaliser la longueur du parcours de la lumière dans les deux parties de l'interféromètre avant la recombinaison des ondes lumineuses. Après avoir recombinaison des signaux, on mesure à l'aide de deux détecteurs des franges d'interférences à 820 nm.

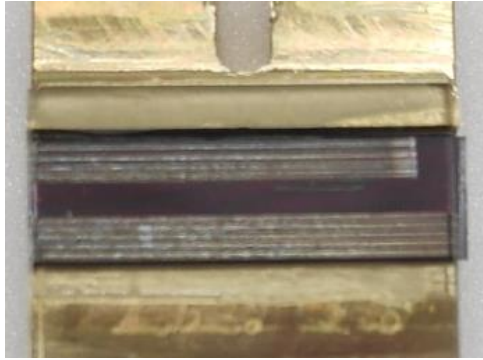


Figure 8 : Cristaux non linéaires réalisant le changement de couleur des photons.



Figure 9 : Lignes à retard du réseau de télescopes CHARA

Lorsque la mise en œuvre de l'instrument à $3,5 \mu\text{m}$ sera terminée et que des résultats seront obtenus sur le ciel, une étude à $10 \mu\text{m}$ (lointain infrarouge) en laboratoire puis sur le ciel sera réalisée. Un instrument fonctionnant à $10 \mu\text{m}$ permet de détecter des corps célestes émettant à température ambiante. Un tel instrument pourrait permettre de potentiellement détecter des exoplanètes pouvant abriter la vie.

Conclusion

Le projet ALOHA est une belle aventure scientifique avec un principe innovateur, mais aussi humaine que ce soit au laboratoire XLIM à Limoges, mais aussi dans le cadre de collaborations fructueuses avec d'autres équipes de recherche comme la Georgia State University aux États-Unis, et toute l'équipe du réseau de télescopes CHARA au Mont Wilson, le laboratoire FEMTO-ST et le centre d'ingénierie FEMTO Engineering à Besançon avec qui nous travaillons pour la mise au point des cristaux non-linéaires ou encore l'équipe de l'observatoire de la Côte d'Azur (OCA), qui nous a permis notamment de réaliser des tests sur l'instrument C2PU (Caussols, France).

La concrétisation de ce projet pourrait révolutionner le domaine de l'astronomie en apportant de nouvelles possibilités d'observations stellaires.

Références

[1] Lucien Lehmann, Pascaline Darré, Ludovic Szemendera, Jean-Thomas Gomes, Romain Baudoin, et al.. ALOHA—Astronomical Light Optical Hybrid Analysis. *Experimental Astronomy*, Springer Link, 2018, 46 (3), pp. 447-456. [10.1007/s10686-018-9585-2](https://doi.org/10.1007/s10686-018-9585-2)

[2] P. Darré, R. Baudoin, J.-T. Gomes, N. J. Scott, L. Delage, L. Grossard, J. Sturmman, C. Farrington, F. Reynaud, and T. A. Ten Brummelaar, Nov 2016, *First On-Sky Fringes with an Up-Conversion Interferometer Tested on a Telescope Array*, *Phys. Rev. Lett.* 117, doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.233902

[3] J. Magri, L. Lehmann, L. Grossard, L. Delage, F. Reynaud, M. Chauvet, F. Bassignot, R. Krawczyk, J.-M. Le Duigou, Feb 2021, *Influence of the input-stage architecture on the in-laboratory test of a mid-infrared interferometer : application to the ALOHA up-conversion interferometer in the L band*, *MNRAS*, Vol 501, pp 531–540, doi.org/10.1093/mnras/staa3283



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

« Tous pour un et tous pour vingt ! »
Usages des unités préfabriquées du récit à l'écrit
(11-12 ans)

"All for one and all for twenty!"
Usages of prefabricated units of narrative in writing
(ages 11-12)

Anne SARDIER

CeReS EA 3648

anne.sardier@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/250>

DOI : 10.25965/lji.250

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La préfabrication en langue est omniprésente et la maîtrise d'une langue passe par la capacité à la comprendre et la mobiliser. Les locuteurs français s'expriment à l'aide d'un grand nombre d'unités préfabriquées telles *peur bleue*, *soleil de plomb*, etc. Adoptant le postulat que les élèves de classe de 6^e (11-12 ans) utilisent des unités préfabriquées dans leurs productions écrites, nous avons cherché à savoir lesquelles ils privilégiaient et lesquelles devaient, en conséquence, faire l'objet d'un enseignement. Les résultats de nos investigations des usages des élèves nous amènent à proposer une typologie des unités préfabriquées du récit utilisées à 11-12 ans et à montrer l'attention que les jeunes auteurs portent à leur potentiel lecteur.

Mots clés : unités préfabriquées, productions d'élèves, récit, lexique, phraséologie

Abstract: The prefabrication of language is omnipresent and the mastery of a language depends on the ability to understand and mobilize it. French speakers express themselves using a large number of prefabricated units such as *peur bleue*, *soleil de plomb*, etc. Assuming that young students (11-12 year olds) use prefabricated units in their production, we investigated which ones they prefer and which ones should, therefore, be taught. The results of our investigations of the students' uses lead us to propose a typology of the prefabricated units of the narrative used at 11-12 years old and to show the attention that young authors pay to their potential readers.

Keywords: prefabricated units, student productions, narrative, lexicon, phraseology

Introduction

La langue comporte des unités qui apparaissent dans les énoncés en présentant un certain degré de figement : les unités préfabriquées. Ces unités, telles les collocations comme *peur bleue*, les locutions comme *blanquette de veau*, etc., sont nombreuses et souvent mobilisées dans les énoncés. La préfabrication en langue est omniprésente et, en conséquence, maîtriser une langue « ne passe pas seulement par l'application des règles grammaticales et la création des phrases nouvelles et originales, mais également par la mémorisation et l'automatisation des bouts langagiers préconstruits (chunks) » (Perez-Bettan, 2015, p. 8).

L'utilisation de ces unités préfabriquées témoigne d'un certain degré de maîtrise d'une langue, y compris chez de jeunes apprenants. Nous nous demandons alors dans quelle mesure les élèves mobilisent ces unités dans leurs productions écrites et de quelle façon elles témoignent de leur compétence langagière. Nous revenons dans un premier temps sur le concept d'unités préfabriquées, nous présentons ensuite notre méthode d'investigation pour en présenter enfin les résultats.

1. Cadre conceptuel : la préfabrication en langue

La question de la préfabrication en langue est notamment abordée dans le domaine de la phraséologie (par exemple le numéro 104 des *Cahiers de lexicologie* sur la phrase préfabriquée en 2019, le numéro 180 de *Langages* sur l'extension du domaine de la phraséologie en 2013, ou encore un peu avant le numéro 82 des *Cahiers de lexicologie* sur le figement lexical).

Elle s'avère être incontournable pour tout chercheur s'intéressant au système de la langue. En effet, les unités polylexicales, quelles soient collocations, expressions figées, cooccurrences, sont nombreuses dans la langue. Elles apparaissent chacune « comme une séquence préfabriquée, mémorisée et restituée au moment de l'usage » (Benigno, Grossmann, Kraif, 2015, p. 86). L'usage est ainsi le témoin de la capacité à mobiliser ces unités préfabriquées à bon escient.

La production de ces unités préfabriquées implique en outre une co-sélection des termes entre eux. Ainsi dans une formule telle *peur bleue*, la sélection du terme *bleu* est liée au nom *peur*, *noire* n'est par exemple pas attendu pour produire *peur noire*, et ce terme *bleue* ne peut non plus entraîner la mobilisation d'un autre nom, *peine* par exemple ne serait pas non plus attendu pour produire *peine bleue*. Il arrive pourtant que cette co-sélection ne réponde pas, dans l'usage des locuteurs, aux attendus, c'est-à-dire à une « production régulière » (Legallois, 2013, p. 104). Ce procédé de déformation résulte d'une contamination entre plusieurs séries¹ phraséologiques, par exemple *soleil insoutenable* qui correspond à un mélange entre *soleil de plomb* et *chaleur insoutenable* (Legallois, 2013, p. 106). Ce type de mélange de deux unités préfabriquées implique d'avoir mémorisé les deux phrasèmes sources et peut témoigner d'une connaissance, encore non stabilisée, des deux expressions sources (Roubaud et Sardier, sous presse).

¹ Nous utilisons la terminologie ici rappelée Polguère (2007) rappelle que « C. Bally utilise le terme *locution phraséologique* pour désigner toute expression idiomatique ; il met cependant très explicitement l'accent sur la nécessité de distinguer les **séries** phraséologiques — nos collocations — des **unités** phraséologiques — nos locutions ».

2. Méthode d'analyse

Étant donné la fréquence des unités préfabriquées, nous partons du postulat que les copies d'élèves de 6^e en comportent. Nous cherchons alors à savoir quels types d'unités sont mobilisées par les élèves et quel témoignage elles apportent concernant la compétence langagière des jeunes scripteurs.

Cinquante-quatre copies d'élève de 6^e (11-12 ans) ont été analysées. Les élèves devaient répondre à une consigne d'écriture qui leur demandait de rédiger un dialogue entre deux collégiens lors de leur première rentrée au collège.

L'objectif étant d'avoir un aperçu de l'usage que font les jeunes apprenants des unités préfabriquées, aucune autre consigne particulière ne leur avait été donnée afin d'assurer une analyse de leur capacité à utiliser ou non ces unités, sans aucune intervention relative à la maîtrise de la langue dans leur production.

Nous avons recensé toute séquence préfabriquée dans les copies afin de pouvoir ensuite les étudier en nous demandant, d'une part, si des constructions étaient préférentiellement mobilisées et, d'autre part, quelles connaissances antérieures, même non encore stabilisées, elles permettaient de mettre au jour. Nous rendons compte succinctement ci-dessous de quelques-uns des résultats obtenus.

3. Résultats : la phrase préfabriquée témoin de la compétence langagière des élèves

3.1. Exemples de phrases préfabriquées du récit à 11-12 ans

Sur cinquante-quatre élèves, seuls neuf n'utilisent pas d'unité préfabriquée dans leur production écrite. Le nombre important d'élèves recourant à la préfabrication montre la productivité de ce type de tournure.

Si nous nous référons aux approches de Tutin (2019), nous pouvons distinguer les unités propres à l'oral et mobilisées dans les dialogues entre les protagonistes, des unités propres au récit et mobilisées hors de ces dialogues. Nous nous intéressons ici seulement aux unités préfabriquées du récit dont nous donnons ci-dessous quelques exemples :

Tableau 1 Exemples d'unités préfabriquées du récit (11-12 ans)

	Unités préfabriquées du récit
Exemples	Dit Pierre en la remerciant (Cass.) Il était une fois (Ben.) C'est alors qu'ils rentrent au collège (Jess.) Et c'est depuis ce jour que (Marg.) La sonnerie retentit (Mae.) Un peu plus tard... (Marg.)

	<p>Quelques jours plus tard (Cél.)</p> <p>Ils vécurent quatre superbes années au collège (Marg.)</p> <p>Quelques jours plus tard (Cél.)</p> <p>Quelques mois plus tard (Cél.)</p> <p>Ma peur s'est envolée dirent-ils d'une même voix (Loll.)</p> <p>Tous pour un et tous pour vingt (Léo.)</p>
--	---

Le tableau 1 révèle la capacité des élèves à utiliser des unités préfabriquées variées selon la situation et le déroulement de leur récit. Il confirme qu'ils en utilisent effectivement pour, semble-t-il, guider leur lecteur dans le fil du texte comme nous allons le voir ci-dessous.

Les unités préfabriquées sont ainsi le témoignage de l'attention que les élèves accordent à la cohérence de leur texte, elles font partie des indices de cohérence textuelle.

3.2. Essais de typologie des unités préfabriquées du récit à 11-12 ans

Les unités préfabriquées du récit regroupent quelques grandes catégories relatives à la structuration du texte. Nous avons extrait du corpus quatre catégories différentes de recours à la préfabrication :

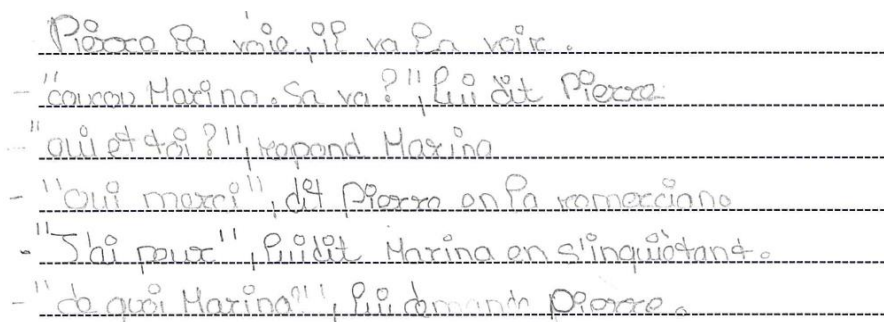
Tableau 2 Typologies des unités préfabriquées du récit (11-12 ans)

Types d'unités préfabriquées	Exemples
Indices logiques	<p>C'est alors qu'ils rentrent au collège (Jess.)</p> <p>Et c'est depuis ce jour que (Marg.)</p>
Incises	<p>Dit Pierre en la remerciant (Cass.)</p> <p>Ma peur s'est envolée dirent-ils d'une même voix (Loll.)</p>
Indices temporels	<p>Un peu plus tard... (Marg.)</p> <p>Quelques jours plus tard (Cél.)</p> <p>Quelques mois plus tard (Cél.)</p>
Indices du genre de récit	<p>Il était une fois (Ben.)</p> <p>Ils vécurent quatre superbes années au collège (Marg.)</p>
Indice intertextuel	Tous pour un et tous pour vingt (Léo.)

Une catégorie d'unités préfabriquées du récit se réfère précisément à la progression du texte : *c'est alors que, et c'est depuis ce jour que*. Ces unités établissent les liens logiques dans le récit puisque le présentatif *c'est* a pour rôle d'accentuer la relation de cause à conséquence dans le déroulement des textes des élèves en mobilisant la modalité emphatique grâce au clivage par *c'est... que*. Là, la construction, autour du clivage en *c'est... que*, peut être le témoin de la préfabrication avec dans la suite du présentatif *c'est*, les termes temporels *alors* et *depuis ce jour*. Il semble que les élèves se saisissent ici judicieusement des formules rencontrées dans les textes narratifs, formules qu'ils connaissent bien puisqu'ils sont capables de les réemployer.

Les incises comme *dit Pierre en la remerciant* comportent une préfabrication de construction : V + N + Pron. + Gérondif qu'il est possible de retrouver dans des tournures telles *dit Pierre en la regardant / suppliant / etc*. L'élève révèle ici sa capacité à se saisir d'une construction pour rendre compte de l'état d'esprit du protagoniste ; la connaissance de cette construction entraîne d'ailleurs sa mobilisation à bon escient comme le montre l'extrait de production ci-dessous :

Figure 1 Extrait de copie d'élève (Cass.)



Pierre va voir, il va la voir.
- "courrou Marina, sa va ?" lui dit Pierre.
- "oui et toi ?" répond Marina.
- "oui merci" dit Pierre en la remerciant.
- "Shi peux" lui dit Marina en s'inquiétant.
- "de qui Marina" lui demande Pierre.

Dans cette production Cass. mobilise la construction à deux reprises successives afin d'exprimer l'état d'esprit des protagonistes de son récit. Elle duplique d'ailleurs cette construction dans l'incise suivant *en la remerciant* et propose en incise *en s'inquiétant*. Un autre exemple de préfabrication apparaît en incise avec l'utilisation de la collocation *d'une même voix*. Ici, la préfabrication n'est pas construite comme précédemment à partir du verbe, mais en prenant comme base le nom *voix*, et pour rendre compte également des états mentaux des personnages qui agissent ensemble et sont solidaires.

L'unité *un peu plus tard*, pilotée par le terme *tard*, rend compte de la progression temporelle, nous retrouvons cette structure avec d'autres exemples, comme *quelques jours / quelques mois plus tard*. Ces indices mettent au jour le souci des élèves de guider leur lecteur en reproduisant des formules types lues dans divers récits.

La tournure *il était une fois* ne procède pas de la même stratégie narrative. Elle inscrit directement le texte dans le genre du conte dont elle est en quelque sorte l'emblème. La formule de clôture *ils vécurent quatre superbes années au collège* paraît relever de la même stratégie. En effet, cette formule reprend, en l'adaptant à la situation, la phrase conclusive de bien des contes : *ils vécurent heureux depuis ce jour*, ou *ils vécurent de nombreuses années*, etc.

Enfin, un exemple accentue la capacité des élèves à se saisir des tournures rencontrées dans les récits connus : *tous pour un et tous pour vingt* qui réfère à la devise des *Trois mousquetaires* d'Alexandre

Dumas : *un pour tous, tous pour un*. La déformation opérée par l'élève révèle ici un haut degré de maîtrise de l'expression qu'il est capable de mobiliser dans un autre contexte et avec des éléments lexicaux adaptés. Il semble avoir une bonne appréhension de l'enjeu pragmatique de la production écrite : le jeune auteur compte sans doute sur les connaissances de son lecteur pour que celui-ci apprécie la référence littéraire et qu'il comprenne bien l'engagement du protagoniste de son récit.

Nous voyons ainsi que, guidés par le souci de cohérence de leur texte, les élèves mobilisent différents types d'unités préfabriquées qui occupent cinq grandes fonctions de leur récit.

Conclusion

Ce rapide tour d'horizon de l'utilisation des unités préfabriquées du récit par des élèves de 11-12 ans permet de mieux cerner les usages de ces tournures et d'en proposer un possible classement en lien avec la cohérence textuelle et la visée pragmatique du texte produit par les élèves.

L'étude des unités préfabriquées permet en outre de mieux cerner la compétence des élèves et il serait intéressant de leur proposer d'étudier les unités les moins employées, comme la phrase clivée, afin d'en étendre la connaissance et l'emploi dans différents genres textuels.

Referencias

BENIGNO, V., GROSSMANN, F., KRAIF, O. (2015). Les collocations fondamentales : une piste pour l'apprentissage lexical. *Revue française de linguistique appliquée*, XX, 81-96.

LEGALLOIS, D. (2013). Les greffes phraséologiques – ou quand la syntaxe se compromet. *Langages* 189, 103-120.

PEREZ-BETTAN, A. (2015). Apprentissage et utilisation du langage préfabriqué chez des apprenants de français langue étrangère (Volume 1). *Sciences cognitives*. Université Vincennes Saint-Denis (Paris 8).

POLGUÈRE, A. (2007). Soleil insoutenable et chaleur de plomb : le statut linguistique des greffes collocationnelles. <http://olst.ling.umontreal.ca/pdf/Greffescolloc2007.pdf>

ROUBAUD, M.-N., et SARDIER A. (sous presse). Les prêts-à-écrire au service de la compétence scripturale des élèves du projet ÉCRICOL. Dans M. Niwese, (dir.), *Compétences et difficultés des élèves à l'entrée au collège. Résultats de la recherche ÉCRICOL*. Peter Lang.

TUTIN, A. (2019). Phrases préfabriquées des interactions : quelques observations sur le corpus CLAPI. *Cahiers de lexicologie*, 114, 63-91.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Les décorations décernées aux personnes morales : une extension peu banale de la personnalité juridique

Matthias MARTIN

Maître de conférences en droit privé

Université de Limoges – OMIJ

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/465>

DOI : 10.25965/lji.465

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Il pourrait sembler étonnant d'aborder la personnalité juridique, notion des plus classiques en droit civil, au travers du prisme méconnu des décorations, tant ces deux domaines de recherche semblent différents. Par décorations, il convient d'entendre les distinctions honorifiques données par l'État en reconnaissance de mérites éminents ; elles se scindent entre les ordres et les médailles. Une science auxiliaire de l'Histoire regroupe l'étude des ordres, décorations et médailles : il s'agit de la phaléristique¹. Un code de lois existe en France : le Code de la Légion d'honneur, de la médaille militaire et de l'ordre national du mérite².

Ainsi, la compréhension de la personnalité juridique peut être éclairée d'un jour nouveau par le biais de la phaléristique.

Traditionnellement, les décorations sont accordées aux seuls êtres humains vivants. La lecture combinée de l'article premier de la Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen³ et des articles R.1, R.6 et R.16 du Code de la Légion d'honneur renvoient aux personnes physiques. C'est l'objectif même d'une décoration : honorer des mérites, c'est-à-dire les « qualités remarquables d'une personne »⁴ qui la rende « digne de récompense »⁵. Si certaines dérogations ont été faites à la suite du drame de la Première Guerre mondiale, et existent toujours actuellement, pour honorer un défunt trop tôt disparu⁶, la règle d'un être vivant s'impose dans le domaine de la phaléristique.

Les recherches phaléristes montrent toutefois qu'une troisième catégorie de récipiendaires existe : les personnes morales dont un certain nombre a été récemment décoré. On peut ainsi citer, parmi les exemples d'actualité, l'octroi de la médaille d'or de la défense nationale avec palmes de bronze et une troisième médaille d'honneur pour acte de courage et de dévouement, échelon or, le 1^{er} juillet 2019 à la Brigade des Sapeurs-pompiers de Paris à la suite de l'incendie de Notre-Dame de Paris, la remise de la croix de chevalier de l'ordre de la Légion d'honneur à la ville de Londres par décret du 18 juin 2020, ou encore les diverses propositions faites pendant le premier confinement dû à la Covid-19 pour honorer le personnel hospitalier⁷. Des exemples existent également à l'étranger⁸.

Ces remises de décorations à des personnes morales, qui trouvent ses origines sous le Premier Empire (cf. infra) témoignent-elles d'une évolution profonde de la notion de décoration, qu'il conviendrait de

1 Cf. MARTIN (Matthias) « La médaille de Sainte-Hélène, une médaille pour la postérité », *Bull. spécial de la SAMNLHOC - Bicentenaire de la mort de Napoléon I^{er}*, 2021, p. 120 - 134 ; « Le port féminin des ordres nationaux français », *Bulletin de la Société suisse de phaléristique*, mars 2020, n° 129 bis, p. 32 à 50.

2 Décret modifié n° 62-1472 du 28 novembre 1962 (*JO* 7 décembre 1962, p. 11988).

3 Art. 1^{er} DDHC : « Les hommes naissent et demeurent libres et égaux en droits. Les distinctions sociales ne peuvent être fondées que sur l'utilité commune ».

4 *Trésor de la Langue française informatisé*, entrée « mérite ».

5 Cf. *Larousse de poche*, 1979, p. 261, entrée « mérite ».

6 Cf. MARTIN (Matthias), « L'attribution posthume de décorations, ou la personnalité outre-tombe », *Revue générale du droit* on line, 2020, n° 53479 ; « Décorer les morts : les décorations données à titre posthume en France », *Bulletin de la Société suisse de phaléristique*, mars 2021, n° 132, p. 27 à 30.

7 L'avocat Eric Morain a proposé en mars 2020 une récompense collective pour l'ensemble du personnel soignant ; cf. <https://www.lejdd.fr/Societe/tribune-la-legion-dhonneur-pour-le-personnel-hospitalier-3956923> (consulté le 28 août 2021).

8 Voir la remise de la médaille de mérite de première classe de la République de Saint-Marin aux drapeaux de la police ou de la Croix-Rouge de cet État (https://www.tribunapoliticaweb.sm/politica/2020/08/25/53376_ieri-la-cerimonia-di-conferimento-delle-medaglie-al-merito-di-prima-classe-emergenza-covid-19/ consulté le 28 août 2021).

déconnecter de la notion de personne humaine, ou bien d'une extension des caractéristiques de la personnalité juridique ? Ainsi, au même titre que l'identité, l'adresse ou la date de naissance, les décorations seraient-elles des éléments propres et caractéristiques de la personnalité juridique ?

1. Les décorations ou la récompense d'un mérite personnel par essence

Pendant des siècles, l'attribution des décorations n'a guère soulevé de problème juridique. Sous l'Empire romain, où les premiers balbutiements de décorations apparaissent avec les phalères, le principe même d'une décoration est posée : récompenser des mérites éminents et un comportement exemplaire nécessairement individuel. En honorant un centurion, on honore une carrière ou une action d'éclat. Ce principe d'individualité des décorations se maintient dans les siècles suivants, même si l'objectif de la décoration va varier : davantage fondé sur une appartenance spirituelle avec les ordres religieux et militaires qui apparaissent lors des croisades⁹, reposant sur un lien étroit de communion entre un souverain et son sujet avec les ordres de chevalerie créés à la fin du Moyen-Âge¹⁰.

Une évolution sensible apparaît au XVII^e et au XVIII^e siècles avec l'accroissement continu de la population (et par conséquent du nombre de personnes qu'il convient d'honorer) et une meilleure prise en considération des mérites individuels. En effet, au nombre restreint de chevaliers du Moyen-Âge se substituent des armées de plus en plus nombreuses : comment récompenser massivement sans que la distinction ne perde corollairement de son éclat ?

Cette problématique s'était déjà posée du temps de la Rome Antique qui avait donné pour solution les triomphes où les chefs victorieux étaient accompagnés de leurs armées. La chute de l'Empire romain entraîna avec elle la fin de ces honneurs.

L'Ancien Régime cherche de nouveau à récompenser massivement. La solution va consister à multiplier les différentes décorations tout en levant le *numerus clausus* des membres admis en son sein : c'est l'apparition des ordres de mérite. L'ordre de Saint-Louis est ainsi créé le 5 avril 1693¹¹ sans condition de nombre ni de naissance, mais restreint aux officiers catholiques¹², et l'Institution du Mérite militaire voit le jour le 10 mars 1759 pour récompenser les officiers protestants.

Toutefois, ceci ne suffit pas à honorer l'ensemble des citoyens méritants. Si la Révolution met temporairement un terme à cette question en supprimant l'ensemble des marques de reconnaissance

⁹ Cf. GALIMARD FLAVIGNY (Bertrand), *Histoire de l'Ordre de Malte*, éd. Perrin, 2006 ; GENNES (Jean-Pierre de), *Les chevaliers du Saint-Sépulcre de Jérusalem, essai critique*, vol. 1^{er} : Origines et histoire générale de l'ordre, éd. Hérault, 1995.

¹⁰ Cf. DAMIEN (André), *Les ordres de chevalerie et les décorations*, éd. Mémoire et Documents, 2002.

¹¹ Cf. GUIMARAES (Christophe), *L'Ordre royal et militaire de Saint-Louis 1693-1830*, éd. d'auteur, 2014 ; d'HOZIER (Jean-François-Louis), *Recueil de tous les membres de l'Ordre royal et militaire de Saint-Louis, depuis 1693*, rééd. 2012, éd. Hachette-BnF, en deux tomes.

¹² Bien que l'Ordre de Saint-Louis soit ouvert à tout officier, des débats existent sur les conditions de naissance requises pour être officier, revenant *de facto* à imposer une sélection pour l'Ordre de Saint-Louis. Voir : SIX (G.) « Fallait-il quatre quartiers de noblesse pour être officier à la fin de l'Ancien Régime », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, tome 4, n°19, 1929, pp. 47-56.

(décret du 30 juillet 1791¹³), les guerres napoléoniennes relancent la question : comment récompenser plus largement encore ?

2. La nécessité d'élargir le spectre des récompensés : honorer le collectif

Une première réponse est adoptée avec la création de l'ordre de la Légion d'honneur le 19 mai 1802, dont les conditions d'octroi sont -et c'est un fait nouveau- élargies sans aucune restriction : l'ensemble des citoyens méritants, peu importe leur religion, leur naissance ou encore leur appartenance à l'armée, est concerné. Ceci entraîna mécaniquement un nombre d'attributions sans commune mesure avec les anciens ordres de chevalerie, puisqu'en une quinzaine d'année, la croix des braves est accordée à près de 33 000 citoyens¹⁴ pour un pays qui compte alors environ 30 millions d'habitants¹⁵.

La seconde réponse, qui va émerger petit à petit tout au long du XIX^e siècle, est l'idée de la récompense collective. C'est un changement de paradigme complet dans l'histoire des décorations : pour la première fois, on ne souhaite plus honorer une individualité mais un collectif en mettant en valeur une action commune.

Comme souvent en termes de décorations modernes, c'est à Napoléon que l'on doit les premières tentatives de récompenses collectives : en 1797, encore Bonaparte, il permit aux drapeaux des brigades les plus valeureuses d'être ornés du nom de la bataille remportée. Cette initiative, qui ne rencontra pas l'adhésion du Directoire, fut pérennisée sous l'Empire par le décret du 26 décembre 1811¹⁶. Mais un nom brodé n'est pas une décoration accordée. Une étape décisive fut franchie en 1815 avec le privilège, pour trois villes¹⁷, de faire figurer l'étoile de la Légion d'honneur, en tant que meuble héraldique, dans leurs armoiries. Du dedans au dehors de l'écu, il n'y avait qu'un pas à franchir, mais un pas qui sembla longtemps trop hardi. C'est Napoléon III qui permit l'attribution d'une décoration à une unité par décision du 14 juin 1859 : tout régiment qui aurait pris un drapeau à l'ennemi aurait le droit de faire pendre la Légion d'honneur à son propre drapeau en signe de reconnaissance.

Depuis lors, la pratique s'est largement répandue, notamment suite aux deux conflits mondiaux : Verdun est ainsi honorée de pas moins de 26 décorations¹⁸, françaises ou étrangères.

13 Art. 1^{er} : « Tout ordre de chevalerie ou autre, toute corporation, toute décoration, tout signe extérieur qui suppose des distinctions de naissance, sont supprimés en France ; il ne pourra en être établi de semblables à l'avenir. »

14 Cf. LAISSUS (J.), « La Légion d'honneur », p. 189, in MUSEE MONETAIRE, *Ordres de chevalerie et récompenses nationales*, éd. Administration des monnaies et médailles, 1956 ; le chiffre de 40 000 est évoqué par CHABANIER, « La Légion d'honneur sous l'Empire », disponible à <https://www.napoleon.org/histoire-des-2-empires/articles/la-legion-dhonneur-sous-lempire/> (consulté le 28 août 2021).

15 Soit environ 0,11 % de la population. Une proportion relativement stable puisqu'elle est la même en 2021 : il y a 92 000 membres de la Légion d'honneur pour 66,73 millions d'habitants, soit 0,14 %.

16 Cf. p. 11, ARROUAS (Serge), *Villes, emblèmes et collectivités décorés de la Légion d'honneur*, éd. B.O.R.E., 1976.

17 Châlons-sur-Saône, Tournus et Saint-Jean-de-Losne.

18 Cf. notamment : p. 34, DEPLOIGE (Guy), « L'ordre de la Croix de la Liberté (Estonie), les croix de la Liberté dans les collections du War Heritage Institute à Bruxelles », *Bull. SAMNLHOC* n° 20, 2017.

3. Récompenser les personnes morales : une transposition imparfaite

D'un point de vue juridique, récompenser un groupe d'individus est plus complexe qu'il n'y paraît. Une conciliation doit être trouvée entre la prise en compte des actions individuelles, le maintien nécessaire du prestige d'une décoration qui ne doit pas être galvaudée et la récompense collective.

La solution à cette équation difficile est apportée par la fiction juridique que constituent les personnes morales. Une personne morale est une entité juridique, incorporelle et de création humaine, à qui est conférée la personnalité juridique, c'est-à-dire la capacité à être titulaire de droits et de devoirs et donc à être considérée comme sujet de droit, de manière amoindrie toutefois¹⁹. C'est bien entendu la nature humaine des membres des personnes morales qui ont permis à ces groupements de bénéficier d'une extension de la personnalité juridique.

En décorant une personne morale, la notion de décoration garde sa cohérence : récompenser une *personne*, peu importe au final que celle-ci soit physique ou morale (c'est-à-dire constituée d'un regroupement de personnes physiques). Cette transposition est toutefois imparfaite et plusieurs concessions doivent être faites.

En premier lieu, la durée de vie d'une personne morale est plus longue qu'une personne physique, puisqu'une personne morale peut presque vivre sans fin. Si l'octroi d'un ordre de mérite ou d'une médaille ne pose pas de problème, il n'en est pas de même pour un ordre de chevalerie dont le nombre de membres est restreint : la personne morale occuperait ainsi indéfiniment une place. La question se pose aussi pour les ordres dormants, dont l'ensemble des titulaires est décédé. C'est le cas de l'ordre de la Libération, qui comporte 18 unités militaires et cinq villes décorées, mais plus aucun membre vivant²⁰. Si certaines unités militaires ont disparu depuis, telles que le sous-marin Rubis désarmé le 4 octobre 1949 (ce qui pourrait être assimilé à une mort civile pour une personne morale²¹), d'autres personnes morales existent toujours, ce qui pose la question d'un ordre qui n'existe désormais plus que par les personnes morales distinguées : est-il encore possible de le considérer valablement comme une décoration ?

En deuxième lieu, la récompense d'une personne morale pose des problèmes de considération concernant la raison de l'octroi d'une décoration. Lorsque Napoléon III permit à un régiment d'accrocher la Légion d'honneur à sa hampe en récompense d'un drapeau pris à l'ennemi, c'est bien l'éclat d'une action individuelle qui rejaillit sur le groupe. Si l'évolution des conflits, désormais de masse, ne permet pas nécessairement d'individualiser les actions récompensées, la problématique reste la même : la personne morale, par sa nature même d'être incorporel, est incapable d'une action méritante. C'est donc toujours par l'action de ses membres, personnes physiques, qu'elle est récompensée. Le raisonnement reste identique même en prenant en considération l'idéal pour lequel on agit : un soldat

19 Cf. p. 7 ss. SIMONART (Valérie), *La personnalité morale en droit privé comparé*, éd. Bruylant (Bruxelles), 1995.

20 Le dernier compagnon physique, Hubert Germain, est décédé le 12 octobre 2021.

21 Sur ce thème, voir : TAIBI (Nadia), « Ne plus être né, l'effacement des êtres et la mort civile », *Sens-dessous*, 2018/2, p. 21 à 28 ; SALMON de LAUBOURGÈRE (Charles), *De la mort civile*, thèse de doctorat de l'Université de Rennes, 1853.

peut se battre pour son régiment (d'où la logique de récompenser le groupe), il n'en reste pas moins que l'action est menée par une personne physique.

L'inverse est cependant faux : si l'action d'un membre permet à tous de profiter d'un honneur collectif, un honneur collectif ne bénéficie pas à un membre en particulier. Si le prestige est commun et rejaillit sur l'ensemble des membres de ce groupe, c'est bien la représentation du corps social qui est honorée et non chacun de ses membres pris individuellement. En conséquence, aucun membre d'une personne morale ne peut se prévaloir individuellement de la décoration conférée.

En effet, l'honneur accordé n'efface pas une certaine disparité d'actions entre des membres qui ont beaucoup agi et d'autres qui se sont abstenus. C'est par exemple le cas de la croix de guerre 1914-1918 conférée à l'Université de Nancy : tous ses membres n'ont pas participé de la même manière à l'effort de guerre, ce qui n'a pas empêché que, dans son ensemble, le corps social soit reconnu comme ayant *« poursuivi ses travaux et son enseignement, malgré la proximité de la ligne de bataille et en dépit d'un bombardement continu et des plus violents, qui a causé la mort de nombreuses victimes et occasionné d'importants dégâts. S'est ainsi acquis les plus beaux titres à la reconnaissance du Pays par son héroïsme, qui symbolise l'effort des Universités de France pendant la grande guerre. »*²²

Malgré ces deux principales concessions, l'avantage de récompenser une personne morale est indéniable : un grand nombre de personnes peut être honoré sans avoir à multiplier les décorations. En outre, honorer un groupe permet de créer une cohésion sociale et ainsi de dépasser l'individualité humaine.

Paradoxalement, les textes législatifs sont le plus souvent muets sur la possibilité de conférer une décoration à une personne morale, préférant ainsi réserver les ordres et médailles à une élite vivante. Ainsi, aucune disposition spécifique n'existe au sein du Code de la Légion d'honneur ni au sein des décrets relatifs à la médaille de la Défense nationale²³, à la médaille de la sécurité intérieure²⁴ ou à la médaille d'honneur pour actes de courage et de dévouement²⁵, pour citer les principales médailles conférées à des personnes morales. Une exception doit être signalée avec l'ordre de la Libération qui prévoit expressément l'attribution à « des collectivités militaires et civiles » dès sa création²⁶. L'attribution d'une décoration à une personne morale relève d'un grand empirisme juridique²⁷.

22 Texte de la citation de la croix de guerre conférée à l'Université de Nancy (*JO* du 14-15 novembre 1927) et remise solennellement le 17 novembre 1927 par le maréchal Foch. Cf. p. 499, ARROUAS (Serge), *op. cit.*

23 Décret n° 2014-389 du 29 mars 2014 relatif à la médaille de la Défense nationale (*JO* 1^{er} avril 2014).

24 Décret n°2013-1113 du 4 décembre 2013 (*JO* 6 déc. 2013), instituant les art. D. 141-2 à D. 141-10 du Code de la sécurité intérieure.

25 Décret du 9 décembre 1924 modifiant le décret du 16 novembre 1901 relatif aux récompenses honorifiques pour actes de courage et de dévouement (*JO* 22 janv. 1925). Il est intéressant de constater que deux ans plus tard, « la médaille d'or est accordée pour actes de courage et de dévouement à la fédération nationale des sapeurs-pompiers français »... Voir art. 1^{er} décret du 4 avril 1926 (*JO* 10 avril 1926).

26 Art. 1^{er}, ord. n° 7 du 16 nov. 1940 créant l'ordre de la Libération (*JO France Libre*, 10 fév. 1941).

27 Cf. p. 16, DUTHEIL (Tom), « "Honneur et adversité", les villes décorées de la Légion d'honneur », in *"Honneur de la cité, cités à l'honneur", villes et villages décorés des deux guerres mondiales*, actes de la journée d'étude de Bar-le-Duc du 16 novembre 2018, éd. ANCGVM, 2020.

Conclusion

En conclusion de cette rapide étude, il est possible d'affirmer que les décorations sont un élément propre de la personnalité juridique. Elles figurent ainsi en marge des actes de l'état civil, et ce depuis fort longtemps²⁸. Elles permettent de mieux individualiser une personne.

Faut-il en déduire que l'attribution d'une décoration à une personne morale témoigne d'une évolution profonde de la notion de décoration, désormais séparée de la notion de personne humaine à laquelle elle était intimement liée depuis des siècles ? Nous ne le pensons pas car les actions qui ont valu à la personne morale d'être ainsi honorée par l'État sont toujours le fait de personnes physiques.

Au contraire, l'attribution d'une décoration à une personne morale montre un peu plus, s'il en était encore besoin, le caractère incomplet de la personnalité juridique conférée aux personnes morales. Si elles partagent bien des éléments communs avec les personnes physiques, tels que le nom ou une date de « naissance », l'absence d'un certain nombre d'autres éléments, tous liés à son caractère incorporel (comme le droit de manifester ou la liberté de pensée) conduit plutôt à s'interroger sur la place réelle des personnes morales au sein de la personnalité juridique. N'est-ce pas permettre une extension un peu trop importante de la personnalité juridique que de leur reconnaître d'appartenir au même corps -les personnes- que les êtres humains ?

²⁸ Cass. 1er juin 1863, S. 1863-1-447 ; annexe de l'instruction générale du 11 mai 1999 relative à l'état civil (*JO* 28 juillet 1999).



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Goethe et l'interdisciplinarité active : l'os intermaxillaire

Goethe and active interdisciplinarity: the intermaxillary bone

Géraldine PONSOLLE

EHIC, Université de Limoges

geraldine.ponsolle@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/454>

DOI : 10.25965/lji.454

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Johann Wolfgang von Goethe, poète, scientifique et homme politique allemand (1749-1832) traversa le tournant des siècles avec un souci constant d'harmonie et d'action. La nature profondément interdisciplinaire de son écriture dramatique comme de ses études scientifiques peut aider les chercheurs d'aujourd'hui à acquérir une vision différente de leurs pratiques interdisciplinaires. Quel est ce Goethe qui se passionne d'anatomie et recherche l'os intermaxillaire chez l'homme ? Quelles œuvres dramatiques reflètent ses analyses scientifiques ? Quelle méthode de recherche le mène à renverser un mythe des sciences du XVIIIème siècle et préfigure les avancées cruciales du XIXème siècle ? Entre personnages hybrides, morphogénèse et unité du vivant, Goethe semble bien proche des préoccupations de notre temps.

Mots clés : interdisciplinaire, morphologie, hybridité, animalité, méthodologie

Abstract: Johann Wolfgang von Goethe, German poet, scientist and politician (1749-1832), crossed the turn of the centuries with a constant concern for harmony and action. The profoundly interdisciplinary nature of his dramatic writing as well as of his scientific studies can help today's researchers to gain a different perspective on their interdisciplinary practices. Who is this Goethe who is passionate about anatomy and researches the intermaxillary bone in humans ? What dramatic works reflect his scientific analyses ? What research method led him to overturn a myth of 18th century science and prefigured the crucial advances of the 19th century ? Between hybrid characters, morphogenesis and unity of the living, Goethe seems to be very close to the concerns of our time.

Keywords: interdisciplinary, morphology, hybridity, animality, theater

Introduction

Fin XVIIIème siècle, début XIXème siècle, au cœur d'une époque foisonnante de nouveautés, au tournant des siècles des Lumières, des explorateurs et du romantisme, les créations disciplinaires et leurs différenciations caractérisent une révolution des idées qui mènera à une spécialisation scientifique et littéraire.

Alors que cette spécialisation se poursuit, le poète allemand Johann Wolfgang von Goethe n'a de cesse tout au long de sa vie, de questionner conjointement l'humain, la science, la nature, refusant tout matérialisme aveugle, critiquant les classifications, nomenclatures et connaissances purement encyclopédiques, les radicalisations des courants de pensée dépassés comme révolutionnaires, un engagement plus qu'actuel.

Il rétablit les expériences concrètes, l'observation sensible et la connaissance d'après nature.

Il maintient le lien entre les traditions dont il est issu et les évolutions qui lui sont contemporaines.

Il expérimente également le principe de la métamorphose, celle des plantes, des spectres optiques mais aussi celle des animaux et de l'homme. Par sa science comme par sa poésie, il crée une universalité de la pensée et des principes morphologiques. C'est d'ailleurs lui qui invente ces deux concepts : l'universalité avec la *Weltliteratur*¹ et le terme « Morphologie » dans une correspondance avec son ami Schiller.

1. Quel Goethe ?

À Strasbourg, le jeune étudiant en droit de 21 ans partage sa table et ses conversations quotidiennes avec de futurs médecins de son âge et se passionne pour les cours de la faculté de médecine. Il suit tout particulièrement les célèbres cours d'anatomie de Jean-Frédérique Lobstein. Ce qu'il qualifie de « distraction »² est aussi pour lui un « torrent »³ qui l'entraîne, « une pratique importante et dangereuse »⁴. La médecine est pour lui un objet d'étude « des plus sensibles », « des plus élevés »⁵, à la fois simple et complexe. Il lui plaît qu'« elle occupe l'homme tout entier, parce qu'elle s'occupe de l'homme tout entier »⁶. Cette entièresité de l'étude de la vie est essentielle pour Goethe.

Il trouve un écho à sa fougue au sein du mouvement préromantique du Sturm und Drang mené par Herder. Comme les « biologistes romantiques »⁷ issus de ce groupe, il considère les organismes vivants comme des formes dynamiques au sein desquels « la partie peut être l'image du tout »⁸ et promeut l'observation intuitive.

1 Joseph Jurt, « Du concept de *Weltliteratur* à la théorie d'un champ littéraire international », *Revue de sociologie de la littérature*, 2020, La littérature au-delà des nations. Hommage à Pascale Casanova, no 28.

2 Johann Wolfgang Goethe, *Poésie et vérité - souvenirs de ma vie*, Aubier., s.l., Aubier, 1941, 509 p.

3 *Ibid.*

4 *Ibid.*

5 *Ibid.*

6 *Ibid.*

7 Stéphane Schmitt, « Type et métamorphose dans la morphologie de Goethe, entre classicisme et romantisme », *Revue d'histoire des sciences*, 2001, no 54-4, p. 495-521.

8 Johann Peter Eckermann, *Conversations de Goethe avec Eckermann*, s.l., Gallimard, 1988, 641 p.

Très jeune, il critique une conception mécaniste et mathématique de la science du vivant qui ignorait « une partie principale des plus principales : la vie »⁹.

Lui, cherchait à appréhender « la nature intime des choses »¹⁰. Cette recherche était intrinsèquement interdisciplinaire et s'étendait sur tout le spectre de ses activités tant littéraires que scientifiques, s'incluant dans un débat incessant avec les idées et les pratiques de ses contemporains.

Le poète ne reste pas parfaitement fidèle à la Naturphilosophie des stürmer. Sa vision d'une unité harmonieuse du vivant le rapproche d'une conception classique et stable, inspirée des canons de l'Antiquité.

Il crée ainsi la notion goethéenne de type. Il s'agit, comme la définit l'épistémologiste Stéphane Schmitt, d'une « forme abstraite [...] dans laquelle se projette une multitude de formes particulières »¹¹, un modèle, une unité de plan, une affinité de forme.

Cette dualité Classicisme / Romantisme qui trouvera son plein épanouissement après son voyage en Italie pose des jalons dès ses premières études ostéologiques sur l'os intermaxillaire.

C'est un Goethe encore jeune qui, entre mai et juin 1784, égale les grands anatomistes de son époque et cherche à rendre compte de l'unité dans la diversité des organismes vivants : au terme d'une longue et méthodique recherche, tout en poursuivant son travail poétique, Goethe met en évidence l'os intermaxillaire chez l'homme. Ce travail succède à plusieurs années d'études et d'échanges et de réflexions sur l'ostéologie.

De nombreux griffonnages, schémas ou notes descriptives sont parvenues jusqu'à nous.

Sur les manuscrits suivants, nous observons d'abord un croquis anatomique d'une incisive animale de profil et de l'os qui la soutient, l'os intermaxillaire, accompagné de celui du foramen palatin avec une suture centrale de la mâchoire (Fig.1).

Sur le feuillet de droite, Goethe esquisse la structure osseuse sinusale, nasale et maxillaire supérieure (Fig. 2).

⁹ *Ibid.*

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ Stéphane Schmitt, « La répétition des parties et la notion de type chez Goethe » dans Histoire d'une question anatomique, Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, 2004, p. 700.

Figure 1 : Manuscript, Goethe und Schiller Archiv

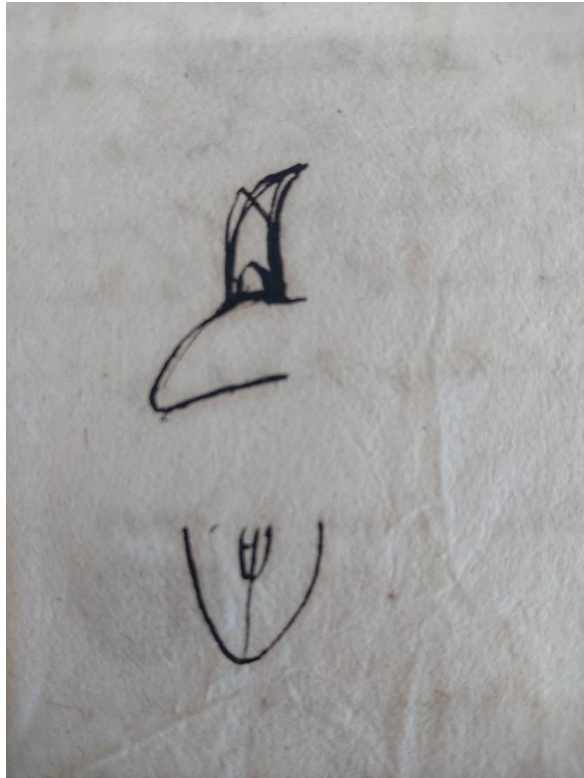


Figure 2 : Manuscript, Goethe und Schiller Archiv

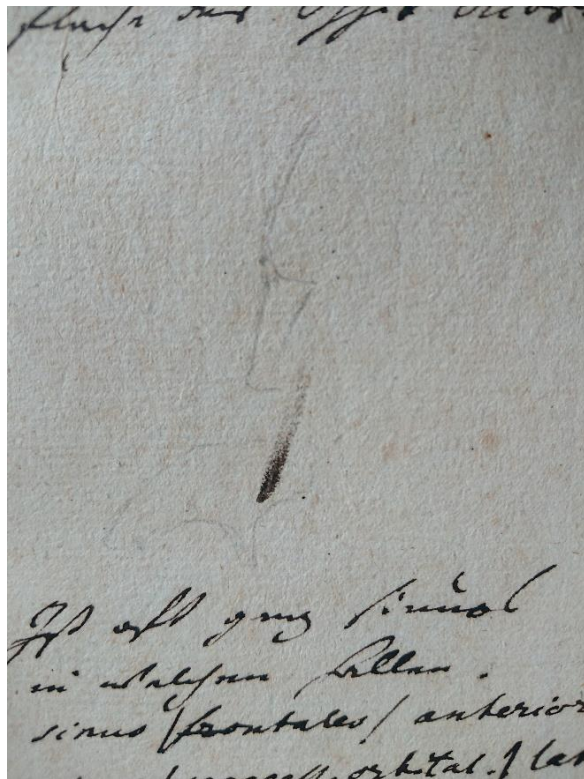


Figure 3 : Manuscript Goethe und Schiller Archiv



Le schéma de la figure 3 met en parallèle les structures crânielles de différents animaux, illustrant l'unité structurelle du vivant, chère au poète scientifique.

Il observe les différences entre les espèces animales puis observe attentivement chez l'humain une suture imperceptible en lieu et place du dit os intermaxillaire. C'est en comparant la mâchoire d'un éléphant mort-né et celle d'un fœtus humain qu'il trouve enfin la preuve qui confirme son intuition. Cet os est bien présent chez l'homme mais fondu dans les os maxillaires. Au stade fœtal cet os peut encore être observé, c'est donc l'évolution morphologique de l'humain qui est ici mise en évidence, un embryon d'embryologie.

Dès 1782, il fait part à son ami Merck de ses intuitions concernant cette unité structurelle¹². Pour lui cette découverte est plus précieuse que celle de l'or, elle lui procure « une joie indicible »¹³.

2. Quelles œuvres ?

Ce n'est pas un hasard si son œuvre dramatique la plus essentielle, son *Faust*, dont la première écriture date des années 1770, décrit en miroir, le parcours d'un savant, d'un homme en proie au doute et au découragement devant l'insaisissable nature qu'il cherche à comprendre. Sa conception active, cinématique du vivant se retrouve là, dans son *Faust* première partie, lors de la première apparition du héros, le

¹² Johann Wolfgang Goethe, *Werke Naturwissenschaftliche Schriften I*, Hamburger Ausgabe., München, Deutscher Taschenbuch Verlag, 1998, vol. 14/13, 671 p.

¹³ *Ibid.*

savant désabusé observe alors « Comme tout s'agrège pour former un tout, Comme chaque élément agit et vit dans l'autre ! »¹⁴.

Le héros goethéen plongé dans ses livres, admire et désespère de saisir jamais la nature créatrice dont il ne perçoit que le spectacle. Seul, il se consume jusqu'à vouloir se donner la mort lorsque semble se tarir le fleuve de la connaissance. Ce héros dépressif et passionné ressemble fort au jeune Goethe, il ressent finement les systèmes de la nature, se passionne pour l'ésotérisme et cherche l'universel. Seul l'aiguillon du diable, le remettra sur la voie de l'action.

Dès 1773, sa farce carnavalesque *Satyros oder der vergötterte Waldteufel* esquisse à travers son personnage principal, un rapprochement entre l'homme et l'animal. Il fait appel aux figures mythologiques ou traditionnelles du faune hybride et de l'homme des bois des fêtes villageoises pour questionner le rapport de l'humain à la nature. L'ambiguïté de ce personnage de théâtre, dont la forme reste à l'appréciation de l'interprète, aborde la question de l'animalité.

Cette œuvre est l'un des exemples les plus précoces et le plus évident du personnage hybride dans l'œuvre de Goethe.

Il s'agit du « Waldteufel » littéralement « diable des bois » nommé *Satyros*, satyre en ancien Grec. Le satyre est un être mythologique libidineux et hybride. Sa forme mélange de caractères humains et animaux : la partie supérieure du corps est humaine (à l'exception parfois d'une paire de cornes dissimulées dans une épaisse chevelure), la partie inférieure est celle d'un bouc (sabots, pilosité, queue).

Son hybridité physique n'est pourtant pas clairement décrite. À travers les répliques de ses personnage, Goethe évoque une animalité, elle indiscutable, qui pourrait aussi être celle d'un personnage de forme humaine. Cette animalité est mise en évidence à plusieurs reprises : lorsqu'un ermite entend des cris. Il suppose : « ce doit être quelque bête blessée »¹⁵. Le vieil homme a bien perçu sensoriellement et ressenti intuitivement l'animalité de *Satyros*.

Cet ermite préfigure la conception Goethéenne du savant intuitif mais isolé « qui met l'idée à la base de sa pensée »¹⁶. Pour Goethe « l'idée est supérieure au raisonnement et ne se transmet pas facilement aux autres chercheurs »¹⁷, ce savant ne parvient donc pas à communiquer, il est seul, le pendant du Faust désespéré du début du drame. C'est cet isolement, ce manque de transmission qui les conduit aux portes de la mort.

Satyros, *Götz von Berlichingen*, *Faust*, *Le Triomphe de la sensibilité* sont des exemples de convergences entre l'expérience scientifique, technologique et l'activité littéraire, le théâtre, l'expérimentation théâtrale goethéenne.

14 Johann Wolfgang Goethe, *Faust, eine Tragödie*, Paris, Montaigne, Fernand Aubier, 156 p.

15 Johann Wolfgang Goethe, *Drames de jeunesse* : Prométhée, *Satyros*, Mahomet, Les dieux, les héros et Wieland, Stella, s.l., Montaigne, Fernand Aubier, 1929, 110 p.

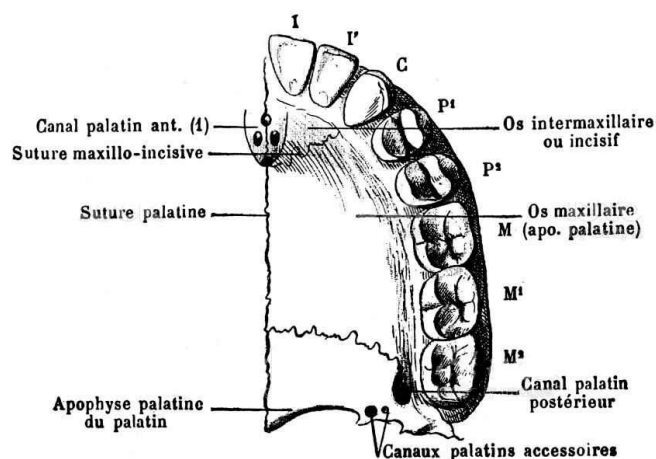
16 Ralph Häfner, « Mythe, image, science: Goethe et le discours de la méthode au début du XIX^{ème} siècle », s.l., Fabula, 2019.

17 *Ibid.*

3. Quelle méthode recherche ?

La mâchoire supérieure des vertébrés à crâne osseux est constituée de deux os maxillaires, gauche et droit, de chaque côté de la zone médiane. Chez les animaux cette zone médiane élargie est occupée par un os qui, dans sa partie antérieure, porte les incisives. À la fin du XVIII^{ème} siècle, alors que la science issue des Lumières n'avait de cesse de réduire les différences entre l'humain et l'animal, cet os restait « pour les anciens »¹⁸ le seul élément morphologique qui les distinguait.

Figure 4 : Os maxillaire avec dents – illustration libre de droits



Goethe met donc en évidence l'os intermaxillaire chez l'homme.

Cette mise en évidence est le résultat d'un travail d'observation systématique et de nombreux échanges avec des savants de son temps afin d'obtenir des éléments d'étude scientifiquement valables. Il s'agit pour cette étude ostéologique de crânes d'humains et d'animaux. Il choisit l'anatomie comparative qui lui permet d'observer la nature organique sous différents aspects¹⁹, il compare les mâchoires de différents animaux et d'humain à différents stades de leur développement.

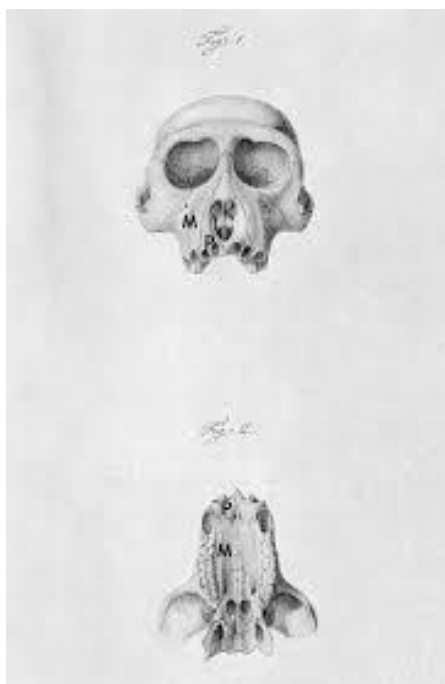
Il adopte la terminologie de l'anatomiste Julius Christian Loder, détaille les éléments de légende, répertorie les différents auteurs faisant figurer ou non les sutures palatines importantes pour sa démonstration : Ostéographie de Cheselden, histoire naturelle des dents humaines de John Hunters.

Sa documentation est riche et variée de l'Antiquité avec Claudius Galenus à ses contemporains comme Petrus Camper en passant par Andreas Vesalius et Felix Vicq-d'Azyr. Les figures illustrant son étude sont de Christian Wilhelm Waitz.

18 J.W. Goethe, Werke Naturwissenschaftliche Schriften I, op. cit.

19 *Ibid.*

Figure 5 : Dem Menschen wie den Tieren ist ein Zwischenknochen der obern Kinnlade zuzuschreiben.



Goethe explique à Herder que, ce qui est pour lui la pierre d'achoppement de l'homme, ne manque pas, quelle est bien présente.

Selon Jean-Michel Pouget « Considérer l'ossature animale, partie la plus rigide de l'animal, sous l'angle de la métamorphose était véritablement révolutionnaire à l'époque »²⁰ ouvrant, par son intuition de la vertèbre modifiée, la voie à l'évolutionnisme. C'est également la méthode qui permet à Goethe de démonter l'idée d'une unité du vivant.

Conclusion

Aujourd'hui, de nombreux chercheurs pratiquent une recherche dite « interdisciplinaire » associant des spécialistes d'horizons divers capables chacun d'apporter leur compétence et leur expertise. L'efficacité de ces équipes interdisciplinaires n'est plus une découverte. Elles permettent d'atteindre efficacement un objectif prédéfini et souvent modélisé et parviennent parfois à enrichir des démarches scientifiques pertinentes.

Le chercheur, en tant qu'individu débateur, humain dans l'altérité, penseur dans le débat, expérimentateur polémiquant, agissant au sein de la société reste quelque peu en retrait de cette équation. Le développement, au sein de ces équipes interdisciplinaires, d'interdisciplinarités individuelles enrichissant les réflexions de leurs pluralités.

L'écriture, la pensée et la vie de Johann Wolfgang von Goethe 1749 – 1832, « l'un des écrivains les plus emblématiques du patrimoine culturel allemand »²¹, embrassent de nombreux domaines de la

20 Jean-Michel Pouget, « Goethe et les animaux fossiles », *Recherches germaniques*, 2015, HS 10, p. 19-36.

21 Aline Le Berre, *Le Théâtre allemand. Société, mythes et démythification*, Paris, L'Harmattan, 2015.

connaissance. Elles composent un exemple et, au-delà, une expérience unique d'interdisciplinarité vraie, à la recherche d'une vision individuelle toujours en débat avec son temps et qui, encore aujourd'hui, peut enrichir une pratique plus que moderne, cette interdisciplinarité en question.

Goethe déroule ainsi sa vision d'une articulation entre la poésie et la science :

« La possibilité d'une métamorphose de l'homme en oiseau ou en animal sauvage, qui s'est manifestée dans l'imaginaire des poètes, a été rendue compréhensible par des naturalistes ingénieux, après l'observation des parties singulières »²²

L'œuvre dramatique de Goethe illustre, soutient voire initie cette affirmation. Nombre de personnages hybrides y participent et le plus souvent mènent l'action.

À l'intersection de la poésie et des sciences, Goethe est un initiateur si non un précurseur de la morphogénèse, de l'embryologie et de la pensée scientifique du XIX^{ème} siècle. La science d'aujourd'hui, construite sur des bases dix-neuviémistes, porte en elle ces évolutions, et s'égaré, et progresse.

Notre science d'aujourd'hui emprunte des chemins méthodologiques et théoriques rarement remis en question. Ce sont justement les liens entre ses travaux littéraires et ses recherches scientifiques qui ont permis à Goethe de questionner sans cesse les règles établies, de s'affranchir des jugements et des chapelles, de confronter et débattre, d'observer et rapprocher.

Il nous rappelle à une interdisciplinarité active entre deux domaines souvent opposés, trop rarement associés, jamais réconciliés. Goethe propose une mise en scène comme une mise en perspective des observations concrètes, donnant à l'imaginaire et à la fiction toute leurs places dans ses réflexions sur le monde, la nature, la vie. Il nous parle de notre science d'aujourd'hui, de ses avancées pressenties, de ses dérives possibles.

22 J.P. Eckermann, Conversations de Goethe avec Eckermann, op. cit.

Figure 6 : museau d'un nouveau né « de l'os intermaxillaire de Goethe » Goethe-Museum, Weimar



Références

ECKERMANN Johann Peter, *Conversations de Goethe avec Eckermann*, s.l., Gallimard (coll. « Du monde entier »), 1988, 641 p.

GOETHE Johann Wolfgang, *Werke Naturwissenschaftliche Schriften I*, Hamburger Ausgabe., München, Deutscher Taschenbuch Verlag, 1998, vol. 14/13, 671 p.

GOETHE Johann Wolfgang, *Poésie et vérité - souvenirs de ma vie*, Aubier., s.l., Aubier, 1941, 509 p.

GOETHE Johann Wolfgang, *Drames de jeunesse : Prométhée, Satyros, Mahomet, Les dieux, les héros et Wieland, Stella*, s.l., Montaigne, Fernand Aubier, 1929, 110 p.

GOETHE Johann Wolfgang, *Faust, eine Tragödie*, Paris, Montaigne, Fernand Aubier, 156 p.

HÄFNER Ralph, « Mythe, image, science : Goethe et le discours de la méthode au début du XIXème siècle », s.l., Fabula (coll. « Les colloques »), 2019.

JURT Joseph, « Du concept de Weltliteratur à la théorie d'un champ littéraire international », *Revue de sociologie de la littérature*, 2020, La littérature au-delà des nations. Hommage à Pascale Casanova, n° 28.

LE BERRE Aline, *Le Théâtre allemand. Société, mythes et démythification*, Paris, L'Harmattan, 2015.

POUGET Jean-Michel, « Goethe et les animaux fossiles », *Recherches germaniques*, 2015, HS 10, p. 19-36.

SCHMITT Stéphane, « La répétition des parties et la notion de type chez Goethe » dans *Histoire d'une question anatomique*, Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, 2004, p. 700.

SCHMITT Stéphane, « Type et métamorphose dans la morphologie de Goethe, entre classicisme et romantisme », *Revue d'histoire des sciences*, 2001, n° 54-4, p. 495-521.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

La VAE Collective

Cécile McLaughlin

CeReS

Jean-François Ragot

IUT du Limousin

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/235>

DOI : 10.25965/lji.235

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Depuis 10 ans, l'IUT du Limousin a développé la VAE collective à travers un partenariat avec l'entreprise Orange sur la licence professionnelle Management de la Relation Client. Depuis, le processus s'est enrichi et a atteint une maturité suffisante pour que d'autres partenariats soient lancés sur cette licence et sur d'autres formations, contribuant ainsi au développement de la Formation Tout au Long de la Vie à l'université de Limoges.

1. La VAE Collective, un processus enrichi

Pour définir la VAE Collective, ou tout au moins décrire et analyser le processus mis en place à l'IUT du Limousin, il convient de rappeler la définition initiale de la VAE :

La validation des acquis de l'expérience (VAE) est une mesure qui permet à toute personne, quels que soient son âge, son niveau d'études ou son statut, de faire valider les acquis de son expérience pour obtenir une certification professionnelle¹.

Il s'agit donc a priori d'une démarche individuelle au cours de laquelle le candidat doit répondre à un cahier des charges administratif et pédagogique (dossier de recevabilité, livret de compétences, entretien jury) sur une année universitaire. Pour le reste, libre à lui de préparer ses livrables comme il le souhaite, demander ou non un accompagnement méthodologique à une officine spécialisée ou à la structure portant la certification, etc.

La VAE Collective, si elle répond bien sûr à cet objectif affiché de la validation de la certification visée individuellement par chaque participant, apporte des enrichissements considérables tant du point de vue de la méthodologie de la démarche que des objectifs visés par les candidats et par leur entreprise².

L'équipe pédagogique responsable du projet va être en charge :

- De piloter le groupe vers un objectif : décrocher un diplôme d'état ;
- De créer et d'animer des modules de formation répondant aux enjeux des diplômes et aux problématiques-métiers des entreprises, formations interactives qui s'appuient sur l'expérience des candidats ;
- D'animer des ateliers d'accompagnement pour guider les salariés dans la rédaction du livret de compétences et préparer l'entretien-jury : ateliers méthodologique, temps de travail individuel encadré...

Elle va s'appuyer sur la force du collectif, par le recours aux outils de co-design pour accélérer les idées, structurer les cahiers des charges, construire la cohésion du groupe.

Pour l'entreprise, la VAE collective est un élément de la stratégie de gestion des ressources humaines : renforcer l'employabilité des salariés en valorisant les compétences ; renforcer la motivation et la cohésion des équipes ; valoriser les collaborateurs à travers l'obtention d'un diplôme d'état ; proposer un espace d'échanges sur les pratiques professionnelles.

Pour le candidat, il s'agit d'une démarche d'auto-valorisation apportée par une prise de recul, une analyse critique de son propre parcours, mise en perspective dans la stratégie de l'entreprise et enrichie de la comparaison de celui des autres candidats. Le processus est validé par un résultat « mesurable », l'obtention du diplôme, mais aussi par un résultat qualitatif : le candidat a pu percevoir du sens, comprendre et valoriser sa place au sein de son entreprise. « *Je comprends mieux la portée et la valeur*

1 travail-emploi.gouv.fr 12/02/18

2 Nous parlons ici du cas où les candidats appartiennent à une même entreprise.

de mon travail, comment il s'inscrit dans la stratégie et contribue à la réussite de mon entreprise ... ».
C'est l'un des retours les plus fréquents faits aux formateurs, accompagnateurs et membres du jury par les candidats.

2. Les enjeux de la VAE Collective pour l'Université

Accroître la visibilité de ses formations sur le territoire socio-économique ; renforcer ses liens avec les milieux socio-professionnels (possibilité d'alternances, de terrains de stage ou de projets de recherche) ; inscrire une dynamique d'équipe qui fasse sens pour les services administratifs et pédagogiques ; s'imposer comme un acteur majeur de la formation tout au long de la vie.

On le constate : l'Université n'a que des bénéfices à tirer du développement de la VAE collective.

Enfin, elle a par essence les compétences pour en gérer tous les aspects : techniques, méthodologiques, administratives.

Les équipes pédagogiques sont confrontés à des défis motivants : Changer de public et changer de pratiques ; développer des nouvelles postures professionnelles et de transmission de compétences ; construire des synergies entre problématiques-entreprises/transformation des métiers et étudiants.

Mais la contrepartie est particulièrement motivante ; que ce soit au cours des formations, de l'accompagnement ou même lors de l'entretien final, les intervenants récoltent de la part des candidats nombre d'informations susceptibles d'enrichir leurs recherches ou leurs contenus d'enseignements³. Ainsi, la VAE contribue à la veille technologique de la formation.

3. La VAE Orange, projet pilote de l'Université de Limoges

En 2010, La direction d'Orange a souhaité mettre en place un dispositif de valorisation des compétences de ses managers opérationnels sur toute la France sur le niveau L3. La stratégie du groupe pour la décennie à venir, orientée vers la satisfaction client, a amené les responsables du projet à viser des licences centrées sur la gestion de la relation client. La licence professionnelle Management de la Relation Client de l'IUT du Limousin a remporté l'appel d'offre et une première promotion de 20 candidats s'est engagée dans le processus en septembre 2011.

Le projet est renouvelé tous les ans et aujourd'hui, c'est plus de 120 responsables de projets, managers de plateaux, responsables de boutiques qui ont validé la licence.

La procédure se déroule sur une année universitaire, de début septembre à début juillet.

1. Sélection conjointe des candidats par la direction d'Orange et les experts de la formation ; constitution et évaluation du dossier de recevabilité.
2. Établissement du cahier des charges des formations à prodiguer ;
3. Établissement du calendrier des formations et des journées d'accompagnement ;

³ C'est au moins vrai des disciplines appliquées.

4. Établissement du budget ;
5. Constitution et planification du jury ;
6. Dépôt du mémoire (livret de compétences) et entretien jury ;
7. Diffusion officielle des résultats par les conseils de l'Université ;
8. Retour aux candidats par le président du jury.

Le processus s'enrichit et évolue régulièrement, suivant ainsi l'évolution des profils, des métiers, des technologies⁴.

Parallèlement, nous avons développé un partenariat identique avec le groupe Carrefour sur la licence Distribution et Management de Rayon.

D'autres VAE collectives ont été effectuées avec des prestataires externes pour l'accompagnement : Air France, Bouygues Telecom, Canal+ pour la licence MRC, Castorama, Fnac Darty pour la licence DMGR.

On le voit, l'Université de Limoges possède aujourd'hui le savoir-faire pour la mise en œuvre de ces VAE collectives ; une expertise qui renforce la valorisation de l'adéquation de ses diplômés aux attentes du monde professionnel.

⁴ Le développement des canaux digitaux a eu un impact considérable sur l'activité.



Les journées de l'interdisciplinarité

L'utilisation des animaux en sciences : pourquoi et comment ?

Use of animals in sciences: why and how?

Laetitia Magnol

Maitre de conférences, Responsable du bien-être animal
Animalerie de BISCEM, Plateforme université et CHU de Limoges US042
Inserm UMS2015 CNRS
contact.scbea@unilim.fr

Magali Sage

Ingénieure d'études, Responsable de l'animalerie
Animalerie de BISCEM, Plateforme université et CHU de Limoges US042
Inserm UMS2015 CNRS
contact.scbea@unilim.fr

Karine Vuillier

Ingénieure d'études, Responsable des compétences d'utilisation des animaux en sciences
Animalerie de BISCEM, Plateforme université et CHU de Limoges US042
Inserm UMS2015 CNRS
contact.scbea@unilim.fr

Anne Druilhe

Chargée de Recherche, Référente Inserm en communication sur les modèles animaux pour le site de Limoges
Animalerie de BISCEM, Plateforme université et CHU de Limoges US042
Inserm UMS2015 CNRS
contact.scbea@unilim.fr

Séverine NADAUD

Maitre de conférences, Responsable du DU de droit animalier, Université de Limoges
Faculté de droit et de sciences économiques et OMIJ EA3177
severine.nadaud@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/213>

DOI : 10.25965/lji.213

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Pour progresser, la recherche en biologie animale s'appuie sur des données obtenues à partir de prélèvements faits sur des êtres vivants et sur différents modèles complémentaires. Ces modèles miment tout ou partie de l'être vivant étudié et reposent sur la modélisation informatique (approche *in silico*), sur l'analyse de molécules en « tubes » et la culture de cellules ou de tissus (*in vitro*) et sur le recours aux animaux (*in vivo*). Les modèles *in silico* et *in vitro* sont très utilisés mais ne permettent pas, à l'heure actuelle, de reproduire la complexité d'un organisme vivant. L'utilisation des animaux en sciences reste d'actualité, et est menée dans un cadre juridique et éthique qui protège les animaux et exige le respect de leur bien-être. Dans les pages qui suivent, sont présentés le cadre européen actuellement en vigueur et les justifications de l'utilisation des animaux à des fins scientifiques au niveau international et au sein de l'établissement utilisateur d'animaux qu'est l'Université de Limoges.

Mots clés : Directive 2010/63/UE, règle des 3R, santé

Abstract: Despite the development of techniques *in silico* (computer modelling) and *in vitro* (in test tubes), the use of animals is still needed to make progress in life sciences and medicine. The present article gives the number of animals used and the objectives of the research programmes involving animals in Limoges University. It also informs on the european regulation on the use of animals for scientific purposes and on the ethical principle that every researcher must comply with.

Keywords: Directive 2010/63/EU, 3R principle, health

Happy animals make good science.

Trevor Poole

Cette présentation s'inscrit dans une démarche de transparence sur le recours aux animaux en sciences telle que voulue par la communauté scientifique nationale dans le respect de la directive européenne 2010/63/UE. Le texte de la charte est disponible sur le site <https://www.recherche-animale.org/charte-transparence>.

1. La nécessité du recours aux animaux en sciences

Comprendre le fonctionnement des êtres vivants pour les préserver, pour les soigner nécessite de les observer, de les étudier, de les utiliser. L'utilisation des bactéries, des champignons ou des végétaux pour la réalisation d'expériences est acceptée. L'utilisation des animaux, en particulier ceux doués de sensibilité, dans le but d'accroître les connaissances pose, au contraire, des questions morales. Suite aux atrocités commises sur des déportés par des médecins et des scientifiques lors de la Seconde Guerre mondiale, et suite au procès des criminels nazis, les magistrats ont jugé nécessaire de rédiger un code de droit international fixant la légitimité des expériences médicales tout en instaurant des limites protégeant les sujets qui y participent. Cet acte, le code de Nuremberg (1947) précise que les « fondements de l'expérience (sur l'homme) doivent résider dans les résultats d'expériences antérieures faites sur des animaux ». Ainsi, à partir du milieu du 20^{ième} siècle, l'utilisation des animaux à des fins scientifiques implique une nécessité morale.

C'est aussi au 20^{ième} siècle que se développent des techniques de culture de cellules, les éléments de base constituant les organismes vivants. Initialement ces techniques dites *in vitro* permettaient la multiplication de cellules mais celles-ci avaient perdu la spécificité qu'elles avaient dans le corps. Le perfectionnement des techniques de culture cellulaire a rendu possible la multiplication des cellules hors du corps et le maintien de certaines particularités voire la reconstitution de certains tissus. Pour exemple, les scientifiques sont capables de cultiver du tissu cardiaque qui bat *in vitro*. Actuellement, les systèmes *in vitro* miment certaines parties de l'organisme entier, mais ne permettent pas encore de reconstituer sa complexité dans son intégralité. Le développement de l'informatique ouvre de nouvelles perspectives, notamment celle de modéliser *in silico* les organismes entiers ; si la modélisation des molécules est devenue réalité, la modélisation *in silico* des cellules, des tissus, des organismes vivants en est à son balbutiement. Face à la complexité du vivant que techniques et technologies ne peuvent reproduire *in vitro* ou *in silico* en l'état actuel des connaissances, le recours aux animaux, appelé approche *in vivo*, reste une nécessité pour les progrès en biologie et en médecine. Les progrès qui reposent sur l'utilisation des animaux sont bien réels : les vaccins qui ont permis la diminution de la morbidité et de la mortalité et même l'éradication de maladies infectieuses en sont un exemple.

2. La réalité du recours aux animaux

Tous les ans, les scientifiques européens doivent déclarer le nombre d'animaux qu'ils utilisent et les raisons de leur utilisation. Les statistiques sont rendues publiques sur le site de la communauté européenne et, en France, sur celui du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). Les dernières statistiques rendues publiques sont celles de 2019. Elles montrent

que près de 1 900 000 animaux, reconnus comme doués de sensibilité et hors l'Homme, ont été utilisés dans des expériences cette année-là ; ce nombre est stable depuis quelques années. Environ autant d'animaux sont utilisés pour générer les animaux expérimentaux ou pour prélever, après mise à mort par une méthode sans souffrance, des tissus ou des organes pour des études ultérieures.

La vaste majorité des animaux utilisés sont des mammifères, 10 % sont des poissons, 2 % des oiseaux, 0,2 % des amphibiens, 0,1 % des reptiles ; environ 100 céphalopodes, des seiches, sont aussi utilisés. Près de 95 % des mammifères utilisés sont des rongeurs et ce sont essentiellement des souris. Les autres mammifères utilisés sont les lapins dans 4 % des cas, des porcs dans 0,5 %, des carnivores dans 0,1 %, et d'autres espèces dans 0,6 % des cas. En 2019, 416 primates non humains (marmousets, macaques rhesus, babouins, autres singes de l'ancien monde, prosimiens) ont été utilisés à des fins scientifiques ; aucun grand singe (gorille, bonobo, chimpanzé, orang-outan, gibbon et siamang) n'est utilisé. La plupart des animaux utilisés sont élevés en captivité et certaines expériences sont réalisées aussi sur des animaux de la faune sauvage.

Les statistiques ne prennent pas en compte les invertébrés (à l'exception des céphalopodes) alors même que certains comme la mouche drosophile ou le ver nématode *Caenorhabditis elegans* sont des modèles d'étude importants en recherche.

Toute utilisation d'un animal générant une douleur supérieure à l'introduction d'une aiguille est considérée comme une expérience. Les expériences réalisées bénéficient à l'homme mais également aux autres animaux. Dans plus de 40 % des cas, les expériences sont réalisées dans un but de recherche fondamentale, c'est-à-dire qu'elles visent à accroître les connaissances en biologie animale comme, par exemple, à comprendre le fonctionnement normal d'un organe. Un tiers des expériences est réalisé par obligation législative ou réglementaire européenne pour valider des médicaments à usage humain ou vétérinaire, ou des appareils médicaux comme des prothèses, et dans une très faible mesure pour contrôler la non dangerosité pour la santé de produits chimiques à usage courant. Presqu'un quart des expériences est réalisé pour de la recherche appliquée sur les maladies humaines ou animales. Les expériences en vue de conservation des espèces animales ou de protection de leur environnement naturel, et les travaux pratiques sur les animaux représentent chacun 2 % des utilisations. Moins de dix animaux sont utilisés dans le cadre d'enquêtes médico-légales.

Les animaux sont utilisés dans des structures agréées : établissements publics, universités ou grands organismes de recherche comme le CNRS, l'Inserm, l'INRAE, et dans des structures privées, telles que l'industrie pharmaceutique ou les entreprises de biotechnologies.

L'Université de Limoges est un établissement dit « utilisateur » d'animaux ; huit de ses laboratoires (CAPTuR, CRIBL, IPPRITT, MMNP, NET, PEIRENE, RESINFIT, XLIM) et trois de ses facultés (Médecine, Pharmacie, Sciences et Techniques) utilisent des animaux. Cinq mille animaux sont utilisés tous les ans au sein de l'Université ; 90 % sont des souris, 5 % des rats, 5 % des poussins mâles et 0,2 % sont des cochons d'Inde. Les deux tiers des animaux sont utilisés dans le cadre de recherches appliquées à des maladies visant à comprendre les mécanismes de développement de ces atteintes ou à étudier des traitements potentiels. Les maladies étudiées à l'Université sont le cancer (lymphome et divers cancers solides), les maladies à dépôt d'immunoglobuline comme l'amylose, les neuropathies des nerfs

périphériques, les maladies du foie, le rejet de greffe, et certaines maladies virales. Un tiers des expériences entre dans le domaine fondamental et concerne l'étude du développement du système immunitaire et celui des muscles. Enfin, 10 % des expériences sont faites dans le cadre de travaux pratiques pour la formation d'étudiants en 3^{ème} ou 4^{ème} année et d'internes en chirurgie. Les gestes pratiqués sur les animaux vont de la prise de sang à la chirurgie, réalisée sous anesthésie et antalgique.

3. Le cadre juridique de l'utilisation des animaux

Le recours des animaux en sciences est cadré, en France, par le décret n° 2013-118 et les cinq arrêtés du 1^{er} février 2013, qui sont une transposition de la directive européenne 2010/63/UE. Cette réglementation vise la protection des animaux spécifiquement utilisés à des fins scientifiques. La première loi de protection des animaux, la loi Grammont, apparaît en France en 1850 ; cette loi protège les animaux domestiques des mauvais traitements exercés en public et abusivement. La protection des animaux fait un bond en avant en 1976 avec la notion de sensibilité des animaux qui est reconnue par la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 (exigence intégrée depuis à l'article L2014-1 du Code Rural et de la Pêche Maritime ou CRPM). Cette loi fait état pour la première fois des animaux de laboratoires et indique qu'il « est interdit d'exercer des mauvais traitements envers les animaux » domestiques, sauvages, tenus en captivité et en laboratoire (article L214-5 du CRPM). En 1986, la Communauté Economique Européenne rédige la directive CEE 86/609 qui est transposée en France dans le décret n° 87/848 du 19 octobre 1987 et les trois arrêtés du 19 avril 1988 ; ces textes cadrent spécifiquement le recours des animaux à des fins scientifiques.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OIE) le bien-être des animaux terrestres, placés sous la responsabilité de l'Homme, se définit sur la base du respect des cinq libertés fondamentales suivantes : 1) absence de faim, de soif et de malnutrition, 2) absence de peur et de détresse, 3) absence de stress physique ou thermique, 4) absence de douleur, de lésions et de maladie, et 5) possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce. La notion de bien-être animal est consacrée en 1997 dans le traité de l'Union Européenne où il est précisé que « lorsqu'ils ... mettent en œuvre la politique de l'Union dans les domaines de l'agriculture...de la recherche... les états membres tiennent pleinement compte des exigences du bien-être animal en tant qu'êtres sensibles ». Le bien-être des animaux de laboratoire est dès lors davantage pris en compte dans la directive 2010/63/UE qui révisé le texte de 1986, ce qui renforce d'autant la protection des animaux de laboratoire. Le respect du bien-être doit guider tout acte sur l'animal utilisé à des fins scientifiques et ce tout au long de sa vie. Les actes sont de deux types : l'hébergement et les gestes réalisés sur l'animal lors du soin de base comme lors des expériences.

Concernant l'hébergement, chaque établissement utilisateur d'animaux doit disposer de locaux spécifiques pour héberger les animaux et de dispositifs d'hébergement, cages ou enclos, dont la taille est adaptée à chaque espèce. Une attention particulière doit être portée à l'environnement de l'animal : les odeurs, la lumière, le bruit la température, l'hygrométrie doivent être contrôlés voire régulés. La litière doit être renouvelée de telle façon à garder des odeurs familières pour les animaux. Les animaux, particulièrement les rongeurs qui sont grégaires, doivent être élevés puis maintenus dans un groupe social défini. Les soigneurs qui s'occupent des animaux doivent être, si possible, toujours les mêmes. Les

animaux doivent avoir un accès libre à l'eau et à de la nourriture adaptée à leur espèce. L'environnement doit être régulièrement enrichi avec des objets qui vont permettre à l'animal d'exprimer son comportement naturel : ronger pour les souris et les lapins, fouiner pour les porcs, ... se cacher, faire des nids, ... Les locaux d'hébergement doivent être distincts des laboratoires où les expériences sont réalisées. Tous ces locaux font partie de l'animalerie qui est sous la responsabilité d'un personnel de l'établissement. Le responsable de l'animalerie doit s'assurer que les animaux sont surveillés quotidiennement 365 j par an. Des prélèvements doivent être pratiqués régulièrement pour vérifier l'état sanitaire des animaux ; un vétérinaire référent conseille le responsable d'animalerie sur les mesures à prendre si nécessaire.

Pour que les animaux soient manipulés dans des conditions qui respectent leur bien-être, la réglementation met l'accent sur la formation des soigneurs et des expérimentateurs. Ces personnels doivent avoir suivi une formation qui les sensibilisent à la réglementation et à l'éthique animalières et leur donnent des connaissances de la biologie et de la santé des espèces qu'ils manipulent. Régulièrement ils doivent mettre à jour leurs connaissances dans ces domaines. Ils doivent également être formés aux gestes techniques par des personnels compétents ; l'apprentissage des gestes se fait sous forme de tutorat. Les compétences et les formations suivies sont enregistrées dans un livret sous la responsabilité d'un responsable des compétences pour l'établissement utilisateur.

Tout établissement utilisateur doit mettre en place un comité de conseil sur le bien-être animal. Ce comité appelé Structure du Bien-Être Animal (SBEA) est coordonné par le responsable bien-être. La SBEA doit déployer toutes les mesures collectives à l'échelle de l'animalerie pour améliorer le bien-être animal et doit suivre l'évolution de chaque projet expérimental.

Tout établissement utilisateur est soumis à des contrôles par un inspecteur vétérinaire du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Le rapport de l'inspecteur fait état de tous les points mentionnés ci-dessus et conditionne la délivrance par la préfecture d'un agrément ; l'agrément est donné pour six ans mais peut être interrompu à tout moment en cas de preuve de non-respect de la réglementation. Aucun animal ne peut être utilisé à des fins scientifiques dans un établissement sans agrément.

En plus du respect du bien-être animal, la directive 2010/63/EU a gravé dans le marbre l'obligation d'avoir une démarche éthique au préalable de toute utilisation d'animaux à des fins scientifiques. La démarche éthique est basée sur trois principes énoncés en 1959 par les scientifiques Russell et Burch et connus sous le nom de règle des 3R. Cette règle impose de REMPLACER l'approche *in vivo* par de *in vitro* ou de *in silico* chaque fois que c'est possible et, si c'est impossible, de REDUIRE le nombre d'animaux au strict minimum, et de RAFFINER les méthodes d'étude, c'est-à-dire de réduire, supprimer ou soulager l'inconfort, la douleur, la détresse ou l'angoisse subie par les animaux.

Tout responsable de projet utilisant des animaux se doit de soumettre son projet à l'avis d'un comité d'éthique. Le comité d'éthique dont la composition et le fonctionnement sont sous le contrôle du MESRI réalise une évaluation éthique basée sur le « bénéfice-risque » du projet et la mise en œuvre de la règle des 3R. L'avis éthique est favorable si les avancées scientifiques pour l'Homme ou les animaux sont considérées supérieures aux dommages causés sur les animaux. Le comité d'éthique rend son avis au MESRI qui autorise ou non la réalisation du projet. À noter que le responsable du projet, comme les

personnes qui manipulent les animaux, doit avoir aussi suivi une formation de sensibilisation à la réglementation et à l'éthique animalière et délivrant des connaissances de la biologie et de la santé des espèces concernées dans le projet. Ils doivent mettre à jour régulièrement leurs connaissances dans ces domaines.

La réglementation est strictement respectée au sein de l'Université de Limoges, grâce notamment à une réelle coordination entre de nombreux acteurs, de la conception d'un projet à sa réalisation. La présidente de l'Université est responsable *in fine* de l'utilisation des animaux au sein de son établissement. Elle partage cette responsabilité avec toutes les personnes ayant recours aux animaux : responsables de projet, expérimentateurs, soigneurs, responsable de l'animalerie, responsable des compétences, membres de la SBEA, responsable du bien-être, vétérinaire référent.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

HyPE13 – Hybridation et Partage des enseignements

HyPE13 – Blended learning and Shared education

Philippine HUSSON

Référente HyPE13

Pôle Formation et Vie Étudiante – Université de Limoges

philippine.husson@unilim.fr

Stéphanie LHEZ

Coordinatrice HyPE13

PEIRENE (EA 7500) - Université de Limoges

stephanie.lhez@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/125>

DOI : 10.25965/lji.125

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : HyPE13 (hybridation et partage des enseignements et ressources pédagogiques) fait partie des lauréats de l'appel à projet « Hybridation des formations de l'enseignement supérieur » dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir (PIA) de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) lancé au cœur d'un contexte sanitaire inédit. Rassemblant 12 universités françaises, le projet a pour objectif principal de lever les freins empêchant le partage et la réutilisation des ressources pédagogiques existantes mais également de construire une stratégie commune pour le développement de dispositifs d'hybridation avec l'appui des outils de Learning Analytics.

Mots clés : hybridation, partage, hype13, learning analytics

Abstract: HyPE13 (blended learning and shared education) is one of the winners of the call for projects “Blended learning of higher education training” within the framework of the National Agency's Future Investment Program (PIA) of Research (ANR) launched during the 2020 pandemic. Bringing together 12 French universities, the main objective of the project is to revolve the problems in sharing and using existing educational resources but also to build a common strategy for the development of blended learning devices with the Learning Analytics tools help.

Keywords: blended learning, shared education, hype13, learning analytics

Introduction

Face à une crise sanitaire sans précédent, les universités ont dû s'adapter rapidement et proposer des enseignements hybrides ou à distance, afin d'assurer la continuité pédagogique. Pour permettre la réussite toujours plus importante des étudiants et accompagner les enseignants dans ces transformations, il est essentiel que les universités coordonnent leurs efforts et facilitent le partage de leurs idées, outils et ressources.

Le projet HyPE13 (HYbrider et Partager les Enseignements) s'inscrit dans cette démarche.

Porté par un consortium de 12 universités françaises allié à Edtech¹ et Anstia², le projet HyPE13 fait partie des lauréats de l'appel à projet « Hybridation des formations de l'enseignement supérieur » dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir (PIA) de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Lancé le 1^{er} novembre 2020, sur une durée de 24 mois, avec un budget global de 3 562 500 € dont 3 millions € en part aidée, HyPE13 a pour objectifs de mettre fin aux freins empêchant le partage et la réutilisation des ressources existantes (au sein et en dehors du consortium) mais également de construire une stratégie commune pour le développement de dispositifs d'hybridation avec l'appui des outils de Learning Analytics.

1. Déploiement du projet sur Limoges

Afin de balayer les différents thèmes liés au projet HyPE13, il était essentiel d'expliquer sa structuration. Ce projet est divisé en quatre *workpackage* (WP), coordonnés par l'université de Lyon Lumière (WP1), l'université d'Angers (WP3), l'université de Pau et Pays de l'Adour (WP4) et enfin l'université de Limoges (WP2). Ce dernier WP a pour objectif d'accélérer la formation des acteurs de la relation éducative à l'hybridation, à savoir étudiants, enseignants mais aussi les personnels des scolarités, au travers de 6 livrables, 2 d'entre eux étant dédiés à la formation à l'hybridation, 2 autres centrés sur l'utilisation des *learning analytics*, les 2 derniers fournissant de nouveaux outils pédagogiques pour accompagner la transformation pédagogique.

1.1. Formation à l'hybridation

Cette accélération de formation à l'hybridation passe tout d'abord par deux livrables afin de sensibiliser puis de préparer. La partie sensibilisation à l'enseignement hybride est pilotée par l'université de Limoges. En produisant deux MOOC (un à destination des étudiants et un à destination des enseignants), le collectif HyPE13 espère toucher un public assez large.

La première version du parcours enseignant s'est déroulée du 25 novembre au 17 décembre 2021 et a rassemblé 563 inscrits, suivi de près par le parcours étudiant. Tous deux sont hébergés sur une plateforme Moodle qui leur est dédiée entièrement. Un travail sur l'accompagnement des MOOC est également en discussion avec les équipes.

¹ Association fédérant les entreprises intéressées par la transformation des apprentissages à l'ère du numérique.

² L'Association Nationale des Services TICE et Audiovisuels de l'enseignement supérieur et de la recherche

En complément à ce livrable vient celui piloté par l'université de Tours, « se préparer à suivre un enseignement hybride ». Prenant la forme de modules de formations clé en main, ce livrable a pour objectif de former les personnels de scolarité à l'hybridation. Une réelle coordination s'est formée entre ces deux livrables et un livrable faisant parti du WP1 qui consiste à créer une boîte à outils de l'hybridation à destination des ingénieurs pédagogiques.

Enfin, un ouvrage sur le vocabulaire de l'ingénierie pédagogique sera publié dans le cadre de ces livrables pour la rentrée 2022.

L'objectif final de cette sensibilisation à l'hybridation est de permettre une transformation pédagogique efficiente, efficace et choisie par les acteurs de la relation éducative.

1.2. Appui des Learning Analytics

HyPE13 tient à mettre l'accent sur les outils ou ressources permettant une meilleure appréhension d'un cours en hybride et/ou en distanciel et ainsi participer notamment à la réussite étudiante. Dès lors, l'usage des *Learning Analytics* (LA)³ paraît essentiel au bon fonctionnement de ces nouvelles formes de pédagogie.

C'est pourquoi, l'équipe HyPE13 a, dans un premier temps organisé un webinar d'introduction aux LA afin de démystifier ce terme et de susciter de l'intérêt pour cet outil auprès des enseignants, étudiants et personnels de scolarité. Le webinar a eu lieu fin mars 2021 et se divisait entre temps d'échange en commun et partage d'expériences en trois groupes distincts : LA pour enseignants, LA pour étudiants et LA pour personnel de scolarité.

Avec 235 inscrits, le webinar piloté par l'université Savoie Mont-Blanc était une véritable préparation pour le Speed MOOC (SPOC) sur les Learning Analytics qui a débuté en juin 2021⁴.

Le projet du SPOC, piloté par l'UPPA se divise en deux phases. Une première phase asynchrone de 4h + 2h synchrones où les personnes inscrites se forment aux LA puis une seconde phase d'accompagnement personnalisé dans le cadre d'un appel à manifestation d'intérêt « Conception d'un cours hybride avec intégration des LA en adoptant une méthodologie de design pédagogique » (septembre 2021).

1.3. Nouveaux outils pédagogiques

Dans l'objectif d'accélérer la formation à l'hybridation des acteurs de la relation éducative, le WP2 propose également de mettre en place de nouveaux outils pédagogiques, notamment pour aider les enseignants et/ou enseignants-chercheurs lors de cours hybrides, présentiel et/ou distanciel. C'est le cas par exemple du dispositif « fenêtre sur cours » (FSC) piloté par l'université d'Angers et co-piloté par Limoges. Un outil permettant à l'ensemble des acteurs HyPE13 d'assister aux cours des collègues et d'échanger sur les pratiques pédagogiques en présence et à distance et de pouvoir faire évoluer ses propres pratiques pédagogiques. Afin de porter le dispositif « fenêtre sur cours » et de le présenter, il était crucial de nommer des ambassadeurs dans chaque université du consortium. Un premier webinar

³ <https://www.solaresearch.org/about/what-is-learning-analytics/>

⁴ <https://spoc-la.hype13.fr/>

interne a eu lieu début juillet 2021. L'objectif de ce webinaire était de présenter le dispositif « FSC » et de former les futurs ambassadeurs à leurs missions. Un deuxième webinaire a lieu début septembre 2021 pour le déploiement stratégique du dispositif au sein des universités du consortium. Un guide de déploiement et une charte d'engagement afin d'assurer le bon fonctionnement seront créés dans le même temps.

La création de masques pédagogiques est tout aussi pertinent dans le projet. Ainsi, l'objectif de ce livrable piloté par l'université de Reims est de proposer des structures de cours adaptées à des modalités d'enseignements hybrides distanciels et/ou présentiels sous forme de *template*. Pour ce faire, l'équipe travaille à la création d'un cahier des charges et au développement d'algorithmes afin d'assurer la réalisation des masques pédagogiques.

Dernier livrable piloté par Limoges et coordonné par Lyon 2 dans le cadre du WP1 : « Identification des freins au passage à l'échelle (Droits auteurs, ...) ». Ici, l'équipe a commencé par déterminer quels étaient les freins pour un passage à l'hybridation et le partage des ressources pédagogiques pour ensuite définir au sein du consortium des règles communes permettant de lever ces freins. Le groupe de travail s'est penché sur les droits d'auteur et a par la suite élaboré un guide pratique sur la démarche de l'œuvre collective⁵ accompagné par une présentation destinée aux gouvernances des universités du consortium. Ce dispositif est une proposition qui permettrait de faciliter la conception, modification, ou encore la pérennisation de ressources. En parallèle, le groupe a mené, en collaboration avec le prestataire Simone&LesRobots⁶ une étude sur les dispositifs de soutien à l'hybridation hors et intra consortium. L'objectif final de cette étude est de pouvoir faire un état des lieux des dispositifs d'accompagnement et de valorisation mis en place par les établissements d'enseignement supérieur afin d'en dégager les principaux leviers. Un tel rapport serait innovant dans le paysage de l'enseignement supérieur et devra faire par la suite l'objet d'une publication et/ou de colloques sur le sujet.

2. Déploiement des autres axes

2.1. Identifier les freins du passage à l'hybridation & Cartographier l'existant

Coordonné par l'université de Lyon 2, le premier *workpackage* a pour rôle de faire des états des lieux des ressources existantes et d'identifier les problématiques liées au passage à l'hybridation.

Il convient tout d'abord de cartographier et utiliser les ressources externes existantes (EdTech, UNT, FUN, NCU, ...). Piloté par Paris Cergy, le premier livrable HyPE se charge de recenser avec les propriétaires de ces ressources interopérables ainsi que leurs caractéristiques pour *in fine* proposer un *Speed MOOC* présentant les ressources et modalités d'utilisation/appropriation par les partenaires.

La cartographie des ressources du consortium est un autre volet du recensement des ressources existantes. L'objectif premier de ce livrable piloté par Lyon 2 est de cartographier les ressources hybrides disponibles pour ensuite faciliter leur partage et diffusion au sein du consortium HyPE13.

5 <https://hype13.fr/2021/07/01/comment-maitriser-ses-droits-via-loeuvre-collective/>

6 <https://www.simoneetlesrobots.com/>

L'identification des freins du passage à l'hybridation vient dans un second temps et est divisé en plusieurs aspects. Nous avons vu dans la première partie l'identification des freins de passage à l'échelle piloté par l'université de Limoges, qui passe en revue les problèmes liés au partage des ressources pédagogiques notamment. Néanmoins, d'autres problématiques se posent : comment inscrire les étudiants empêchés (mobilité, handicap, ...) et comment suivre leur parcours ? Deux livrables piloté à la fois par l'université de Caen et l'université de Rouen répondent à ces questions. Tout d'abord vient la réflexion sur la mise en place d'un outil ou système innovant permettant l'inscription d'étudiants empêchés. Il convient de recenser dans un premier temps les offres de formation hybride et/ou distanciel du consortium pour ensuite réaliser un catalogue complet sous forme d'application où chaque étudiant pourrait s'inscrire. Une coordination particulière s'est créée entre ce livrable et un autre du WP3 proposant aux étudiants une offre de formation hybride et à distance riche et rénovée mais nous y reviendrons plus en détail par la suite.

La seconde problématique qui consiste à comment suivre le parcours des étudiants et donc de définir les indicateurs du suivi d'apprentissage des étudiants ainsi qu'une présentation optimale de ces indicateurs. L'objectif étant qu'un enseignant assure efficacement une direction des études qui favorise la réussite étudiante. Les premiers travaux consistaient à analyser le modèle de l'université de Laval au Québec pour rédiger un document martyr mais également de se servir des travaux réalisés dans HyPE13 grâce à l'appui des *Learning Analytics*.

2.2. API Moodle interU & ODF mutualisé

Piloté par l'université d'Angers, le troisième *workpackage* balaie la mise en place technique et informatique du projet. Le premier aspect à prendre en compte est l'interconnexion des 12 universités du consortium pour permettre aux usagers des établissements d'accéder à des contenus mutualisés par le consortium. Dès lors, une API d'interconnexion des Moodle des universités du consortium est développée par l'équipe.

Comme il a été explicité précédemment, il est crucial pour le consortium d'afficher une offre de formation (ODF) hybride et en distanciel riche et rénovée aux étudiants. Un groupe de travail chargé de cette problématique a recensé au sein du consortium la liste des formations correspondant aux critères pour, par la suite développer un ODF mutualisé où chaque étudiant et enseignants pourraient voir l'offre de formation de n'importe quelle université du consortium.

Pour aller plus loin dans l'analyse du parcours étudiant et la réussite étudiante, l'équipe HyPE13 développe des API avec les ed-tech et les labos de recherche pour un outil de *Learning Analytics* à déployer par les établissements.

Enfin, une étude de faisabilité a été conduit, piloté par l'université de Reims afin de réaliser une étude de marché et état de l'art « pratique » des disponibilités et comptabilités des API, des outils utilisés dans le consortium ainsi que les algorithmes utilisés au niveau international ; ce qui débouchera sur des propositions concrètes.

2.3. Analyse de la transformation pédagogique et des nouveaux usages, sécurité et conformité

Le quatrième *workpackage* coordonné par l'université de Pau et des Pays de l'Adour a pour objectif d'analyser notamment les services numériques dédiés à la formation et à l'évaluation afin de proposer une conformité RGPD adaptée, de sécuriser les données et également sécuriser les évaluations en ligne avec ou sans surveillance présentiel.

Le second objectif de cet axe est l'analyse de la transformation pédagogique engendrée par le projet HyPE13. Ainsi, un observatoire, des publications et participations à des colloques ont lieu afin d'apporter d'un regard réflexif sur le projet et aussi soutenir les activités de recherche, de communication et de dissémination des résultats obtenus.

Lancé en juin 2021, l'observatoire d'HyPE13⁷ recense tous les travaux, réflexions, événements qui ont eu lieu dans le projet que l'on peut retrouver sous différentes dimensions : temporelle, géographique et thématique. Permettant une réelle vue d'ensemble du projet et piloté par l'UPPA, l'observatoire est le fruit d'un effort collaboratif entre les équipes HyPE. Il permet d'identifier les indicateurs de réussite/impact du projet mais aussi mesurer le degré de partage au sein du consortium.

3. Organisation interne HyPE13

Né dans un contexte sanitaire particulier, le consortium HyPE13 a dû composer avec certaines problématiques non négligeables : réunir 12 universités françaises et travailler de manière collaborative en distanciel à 100 %. Il était primordial d'établir un plan de travail bien spécifique afin d'assurer la réussite du projet.

3.1. Organisation de travail

Un véritable travail en réseau a dû rapidement se mettre en place. L'aspect stratégique et de pilotage sont organisés par les instances des établissements (CA/CFVU/CR et leurs représentants). Ils décident, orientent et valident.

L'aspect opérationnel est géré par le porteur du projet, Frédéric Tesson ainsi que le chef de projet Dominique Laera, tous deux à l'UPPA. Viennent ensuite les différents coordinateurs des quatre *workpackage* énoncés plus haut. Ensemble, ils forment l'équipe de coordination du projet. De plus, chaque université du consortium bénéficie d'un ou plusieurs référents techniques dédiés au projet HyPE13, permettant de coordonner et faire le lien entre chaque établissement et chaque groupe de travail et de nombreuses personnes investies dans le déploiement et le relais d'information au sein des établissements, qui peuvent tout aussi bien être des enseignants, enseignants-chercheurs, personnels techniques ou administratifs.

Ainsi, à l'université de Limoges, ce sont plus de 15 personnes impliquées dans 5 composantes et services.

⁷<https://observatoire.hype13.fr/home>

Le profil des référents techniques varie en fonction des attentes de chaque livrable. Chaque personne apporte ses compétences, son savoir. Ainsi se mélangent et travaillent en collaboration ingénieurs pédagogiques, enseignants, enseignants chercheurs, technicien audiovisuels, chefs de projet, étudiants...

À noter, que fort de sa philosophie de partage et de collaboration, HyPE-13 a réussi à mettre en œuvre une véritable équipe présente dans toute la France et travaillant en étroite collaboration sans qu'aucune réunion présentielle n'ait encore pu être tenue.

3.2. Outils de communication

Afin d'assurer une bonne gestion du projet, l'équipe HyPE a d'abord commencé son partage de ressources via un Sharepoint et ses réunions via Teams. Néanmoins, voyant le projet avancer et l'équipe s'agrandir, le groupe a décidé de migrer vers une plateforme plus complète : Bitrix qui permet toujours le partage de documents et ressources mais également d'agenda partagés, de salle de visioconférence, d'espace de conversation, un fil d'actualité etc. En somme, l'outil Bitrix permet une meilleure communication interne.

En termes de communication externe, HyPE13 a la volonté de toucher un public issu du monde de l'enseignement mais plus largement tout public s'intéressant à l'hybridation et le partage de ressource pédagogique. Ainsi, le site internet⁸ hype13.fr est mis en place dès avril 2021. Servant tout d'abord de vitrine au projet, le site rassemble les infos liées au projet, les ressources produites mais également les évènements HyPE ou en lien avec l'hybridation et l'enseignement. En complément au site internet, une page LinkedIn⁹ HyPE13 est créé, notamment pour relayer les informations du site ainsi que les offres d'emploi liées au projet.

Il est important de noter qu'au moment de la rédaction de cet article, plusieurs actions de communication visuelle (teasers dirigés par l'université de Tours) ou écrite (groupe communication HyPE) sont en cours de réflexion au sein de l'équipe HyPE13.

Conclusion

Pour conclure, il paraît essentiel de noter que HyPE13 est un projet créé dans un contexte particulier avec, dès lors des conditions particulières : à distance et en mettant en collaboration 12 universités françaises. Chaque établissement a apporté ses expériences, ses compétences, son savoir et les ont partagés. Le projet a permis de balayer en détails les aspects liés à l'enseignement hybride : contenu pédagogique, production de ressource, exploitation de données ainsi que développement d'API et de plateforme. Ainsi, l'équipe HyPE13 a mis en place notamment des outils pédagogiques innovant touchant chaque acteur de la relation éducative, en par exemple les accompagnant ou en participant à la réussite étudiante.

8 <http://hype13.fr/>

9 <https://www.linkedin.com/mwllite/company/hype-13>

Références

Site internet HyPE13 : <https://hype13.fr/>

Learning Analytics, definition: <https://www.solaresearch.org/about/what-is-learning-analytics/>

Plateforme SPOC réussir avec les Learning Analytics” – HyPE13 : <https://spoc-la.hype13.fr/>

Observatoire HyPE13 : <https://observatoire.hype13.fr/home>

Page LinkedIn HyPE13 : <https://www.linkedin.com/mwlite/company/hype-13>

Site internet Anstia : <https://www.anstia.fr/page/1400082-accueil>

Site internet Edtech : <https://edtechfrance.fr/>

Annexes

Carte des livrables HyPE13

AXES DU PROJET HyPE-13	
Appui des Learning Analytics	
Formation à l'hybridation des acteurs de la relation éducative	
Partage et réutilisation des ressources (Référentiel commun, portabilité des contenus, interopérabilité des plate-formes)	
Cartographie de l'existant	
LIVRABLES	
Q1 / W1 : Utiliser les ressources extérieures (NCU, UNT, FUN, EdTech,...)	
Q2 / W1 : Identification des freins au passage à l'échelle (Droits d'auteurs,...)	
L1 / W1 : Boîte à outils de l'hybridation pédagogique et technologique	
Q3 / W1 : Inscrire les étudiants empêchés (Internationaux, fragiles, reprise d'études,...) dans les formations à distance du consortium, en lien avec les campus connectés	
L2 / W1 : Cartographie des ressources du consortium (NCU, ressources, compétences) & usages possibles	
L3 / W1 : Présentation d'un prototype de guichet pour les enseignants de suivi des étudiants	
Q4 / W2 : Se préparer à suivre un enseignement hybride	
L4 / W2 : Sensibiliser à l'enseignement hybride (étudiants, enseignants et scolarités)	
Q5 / W2 : Ouvrir et assister aux cours des EC	
Q6 / W2 : Webinar de synthèse sur Learning Analytics	
L5 / W2 : Masques pédagogiques	
L6 / W2 : Réussir avec les Learning Analytics	
L8 / W3 : Développement d'une API d'interconnexion des 12 Moodle des établissements	
Q8 / W3 : Afficher l'offre de formation hybride et à distance riche et renouvelée	
Q9 / W3 : Etude de faisabilité	
L10 / W3 : Développement d'une API Moodle pour un outil de Learning Analytics à déployer par les établissements	
L11 / W4 : Observatoire de la transformation pédagogique, publications de rapports et publications scientifiques en open access	
Q10 / W4 : Conformité RGPD	
L12 / W4 : Sécurité des données et des évaluations en ligne avec ou sans surveillance présentiel	

Carte de France HyPE13





**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Un « dialogue » indiscipliné

An unruly dialogue

Jacques Fontanille

Centre de Recherches Sémiotiques (CeReS)

Université de Limoges

jacques.fontanille@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/148>

DOI : 10.25965/lji.148

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Les disciplines scientifiques ne dialoguent pas, elles interagissent, et ces interactions peuvent prendre de très nombreuses formes. Cette contribution examine quelques-unes de ces formes d'interaction, sans prétendre à l'exhaustivité, et en prenant l'exemple des relations de la sémiotique avec l'anthropologie, la psychothérapie, la physique des matériaux, ainsi que d'une configuration transversale, celle de la transparence. Dans ces interactions, les précautions diplomatiques sont de première importance, et elles ne sont ni toujours réciproques, ni une garantie de succès ; mais toutes les situations sont riches d'enseignements : en matière d'interdisciplinarité, tout vaut mieux que la juxtaposition dans l'indifférence partagée.

Mots clés : interactions, diplomatie, sémiotique

Abstract: Scientific disciplines do not dialogue, they interact, and these interactions can take many forms. This contribution examines some of these forms of interaction, without claiming to be exhaustive, and taking the example of the relations between semiotics and anthropology, psychotherapy, material physics, as well as a transversal configuration, that of transparency. In these interactions, diplomatic precautions are of prime importance, and they are neither always reciprocal nor a guarantee of success; but all situations are rich in lessons: when it comes to interdisciplinarity, anything is better than juxtaposition in shared indifference.

Keywords: interactions, diplomacy, semiotics

Quand on cherche à comprendre comment les différentes disciplines collaborent, on doit d'abord circonscrire et dénommer la question à traiter. Le nom qui vient spontanément à l'esprit est celui de « dialogue ». Pourtant, ce qui se passe entre deux ou plusieurs domaines scientifiques ressemble rarement à un *dialogue*, d'autant que les disciplines ne sont pas du tout conçues pour *dialoguer* entre elles !

On pourrait aussi considérer que les relations qu'entretiennent les disciplines reposent toutes sur une condition indispensable : elles doivent *se connaître* les unes les autres. Mais que signifie, pour les membres d'une discipline, « connaître » les autres disciplines ? Se mettre à la place de leurs collègues ? S'approprier tel ou tel des aspects des autres disciplines ? Se contenter d'une version globale et vulgarisée ? Analyser la manière dont on y fait de la science ? Faire des projets en commun en juxtaposant les résultats ? On voit tout de suite qu'on ne peut échapper à une description précise de ces *interactions entre disciplines*.

Cette description des interactions entre différents domaines de recherche s'appuiera sur l'exemple de la sémiotique, la science des signes et de la signification en général, qui est déjà considérée, selon les points de vue, soit comme *interdisciplinaire*, soit franchement *indisciplinée*.

1. Premier cas : sémiotique et anthropologie

Dans les années 60 du siècle précédent, la sémiotique structurale s'est constituée entre autres en s'appuyant sur l'anthropologie structurale de Lévi-Strauss. Greimas, fondateur de la sémiotique structurale, était alors, en tant que linguiste et sémioticien, invité permanent au laboratoire d'anthropologie dirigé par Lévi-Strauss

La démarche de Greimas a consisté alors à examiner en détail et exploiter les résultats de ce dernier. L'anthropologue travaillait alors principalement sur les mythes des peuples amazoniens, et s'efforçait d'en dégager un corpus homogène. Face à la profusion de données hétérogènes, et à la très grande variation des mythes, dans l'espace (géographique) et dans le temps (historique), il procédait par comparaison et il modélisait le principe de ces variations, grâce à la formule canonique des mythes, proposée dans *Anthropologie Structurale*, en 1958. Mais il ne décrivait pas alors la signification intrinsèque du mythe lui-même, il se focalisait sur les mythes en tant que groupe de transformations.

Le sémioticien s'est alors approprié le résultat de cette homogénéisation du corpus des mythes, et de cette première formalisation, et a commencé par poser une opposition achronique entre « contenus inversés » (séquence initiale) et « contenus posés » (séquence finale », qui doit permettre de comparer et superposer plusieurs mythes ou versions de mythes. Ensuite, le sémioticien propose une typologie des segments narratifs qui composent le mythe de référence. Le mythe de référence était notamment étudié par l'anthropologue sous l'angle des types d'alimentation (Cru/Cuit, pour le Cru : Frais/Pourri) et des types animaux correspondants. Le sémioticien repère les transformations principales, identifie les contenus sémantiques abstraits qui sont en jeu (vie/mort, non vie/non mort), et aboutit à une conclusion tout à fait imprévue, à savoir que le mythe tout entier est structuré par des opérations élémentaires : négation du Cru, affirmation du Cuit, négation du Pourri et affirmation du Frais, et que ces opérations

concernent non seulement les animaux qui s'alimentent, mais aussi des acteurs du système de la parenté (époux, épouse, fils mâle, mère et grand-mère).

Ce premier épisode marquait la naissance de la sémiotique narrative, mais aboutissait à une sérieuse difficulté diplomatique avec l'anthropologie : mécontent de cette reconstruction sémiotique qui débordait sa propre analyse, Lévi-Strauss a demandé à Greimas de quitter son laboratoire et de se trouver un autre lieu pour ses recherches et son séminaire. C'est ainsi qu'en sortant de chez Lévi-Strauss, Greimas entra à l'EHESS, et fonda le Groupe de Recherches Sémiolinguistiques.

2. Deuxième cas : psychothérapie et sémiotique

Je voudrais ici évoquer la rencontre entre un psychothérapeute spécialisé dans les enfants et adolescents, Jean-Pierre Klein, et un sémioticien formé à la sémiotique structurale, Ivan Darrault, qui a appartenu au CeReS jusqu'à sa retraite. Les deux partenaires ont mis en relation leurs équipes respectives, celle de l'hôpital pour enfants d'un côté, et celle de sémiotique, de l'autre. La spécificité de cette collaboration tient à ce que les deux disciplines se sont données un objet commun : dans la thérapie, en effet, il faut parvenir à déplacer, déporter les capacités de parole, d'émotion, d'imagination du patient, d'un lieu où elles provoquent la souffrance, vers un autre lieu où elles connaîtront le soulagement. Le thérapeute doit faire changer le patient : changer de discours, d'identité, de rôle, voire changer de symptômes. Cette perspective thérapeutique devient un objet pour la sémiotique, parce que les deux disciplines s'accordent sur le fait que ce changement est un parcours interprétatif, un parcours de changement du sens, que le patient suit en même temps que le thérapeute.

Le sémioticien invente alors un modèle du problème à traiter : au lieu de partir d'une seule instance personnelle (le MOI), il propose de partir de deux foyers d'identité, l'un qui s'exprime directement, un Moi qui ne fait que « dire », et l'autre, le SOI, qui exprime des représentations différentes, éventuellement de nature fictionnelle, et qui raconte autre chose que lui-même, en somme un Soi qui imagine et se projette en dehors de lui-même. Avec ses deux foyers, l'œuvre commune du psychothérapeute et du sémioticien est devenue « la psychiatrie de l'ellipse » : la thérapie comme l'explication sémiotique vont et viennent entre ces deux foyers.

Entretemps, le psychothérapeute est devenu à moitié sémioticien, le sémioticien a appris à conduire des thérapies d'enfants et adolescents, les deux ont publié ensemble un livre, et tenu pendant quatre ans un séminaire commun à Beaubourg sur l'utilisation de l'art-thérapie comme moyen pour opérer le changement d'instance sémiotique, pour passer du Moi au Soi, du dire à la fiction. La diplomatie a été efficace, parce qu'elle était réciproque.

3. Troisième cas : sémiotique et sciences physiques

Cette expérience est presque anecdotique, mais édifiante. Dans le cadre d'un projet financé par une ANR, et consacré à l'étude des images et imageries scientifiques et médicales, j'avais moi-même choisi d'analyser l'utilisation des images et graphiques dans un article de la revue *Chocs* du CEA, et intitulé « Comportement thermomécanique des composites texturés en environnements extrêmes ». Mon article, intitulé « Séries d'image et argumentation scientifique. La formation d'un montage-type dans une stratégie institutionnelle » montrait et démontrait l'existence d'une stratégie argumentative

implicite et sans doute en partie involontaire dans le choix des images et surtout dans la manière dont elles étaient associées.

J'ai demandé au CEA le droit d'utiliser quelques-unes de ces images dans la publication de mon article, étant donné que son contenu ne pouvait être compris et utilisé que s'il était accompagné des montages analysés. J'ai joint, à ma demande de cession des droits mon article, ainsi que les informations nécessaires concernant le programme ANR et la recherche collective en cours. Devinez-vous quelle réponse j'ai reçue ? Ni oui, ni non, mais cette demande impérative : « Vous devez d'abord nous expliquer pourquoi vous avez écrit cet article ? ». Comme j'ai compris l'arrière-pensée et la méfiance institutionnelle qui inspirait cette question, je n'ai pas répondu, je n'ai rien demandé, et j'ai publié l'article en me disant que je ne risquais rien car il n'y a aucune chance que des « collègues » qui posent de telles questions lisent des revues ou des livres de sciences humaines, encore moins de sémiotique. Rien ne s'est passé, en effet. Néanmoins, autre difficulté diplomatique...

4. Quatrième cas : la transparence

On pourrait parler dans ce cas d'*interdisciplinarité unilatérale* ! Je me suis intéressé il y a une dizaine d'années à la structure signifiante des phénomènes de transparence. Mon hypothèse de départ était qu'une configuration banale comme la transparence pouvait être une forme constante à travers plusieurs domaines de l'expérience, correspondant à des objets disciplinaires différents. C'était un défi, puisque les disciplines concernées étaient l'optique (du côté physique), la géographie (du côté des paysages), et la sociologie des organisations (du côté de la transparence de la gouvernance). Je suis donc parti de l'optique, je me suis concentré sur les différents types de mesure qui permettent de caractériser la transparence : celle de *l'énergie incidente* (celle qui est dirigée sur le matériau-obstacle), celle de *l'énergie absorbée* dans l'obstacle, celle de *l'énergie transmise* et celle de *l'énergie réfléchie*. Je n'entre pas ici dans le détail, je résume : j'ai effectué une transposition phénoménologique et narrative, permettant de rendre compte de la manière dont le raisonnement de l'optique était construit. Je l'ai ensuite transférée, transposée et adaptée aux autres domaines, pour vérification, ce qui a donné lieu à une modélisation désormais intégrée à l'organon de la sémiotique visuelle en général.

C'est une autre forme encore d'interdisciplinarité, où l'interaction ne se produit pas entre des équipes ou entre des personnes, mais entre des publications et la recherche de résultats innovants.

5. Conclusion

Vous comprenez pourquoi je propose de renoncer à la notion de « dialogue », qui masque les problèmes et la diversité des situations d'interdisciplinarité, tout en faisant croire « qu'il suffit de se parler ». Il y a « interdisciplinarité » quand une discipline exploite les résultats d'une autre discipline pour construire ses propres modèles, jusqu'à rendre les résultats de l'autre méconnaissables (cas 1). Il y a « interdisciplinarité » quand deux équipes, deux partenaires, construisent ensemble un modèle et des résultats qui leur sont communs (cas 2). Il y a interdisciplinarité quand une discipline prend pour objet-problème les pratiques et publications scientifiques d'une autre (cas 3). Il y a enfin interdisciplinarité quand une discipline cherche à mettre en place une problématique commune et transversale à plusieurs autres (cas 4). Etc... et bien d'autres cas sans doute...



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Pandémie de COVID-19 : Les défis méthodologiques de la recherche sociétale actuelle

**COVID-19 Pandemic : Methodological Challenges of the
Current Societal Research**

Petra PELLETIER

Laboratoire de Psychologie Sociale (EA 4471)

Université de Paris

Centre de Recherches Sémiotiques, CeReS (EA 3648)

Université de Limoges

petra.pelletier@gmail.com

Cécile MCLAUGHLIN

Centre de Recherches Sémiotiques, CeReS (EA 3648)

Université de Limoges

cecile.mc-laughlin@unilim.fr

Claire LEFORT

Institut de recherche Xlim, CNRS UMR 7252

Université de Limoges

claire.lefort@unilim.fr

Magali BOESPFLUG

Centre de Recherche en Gestion (CEREGE)

Université de Poitiers

magali.boespflug@univ-poitiers.fr

Sophie ALAIN

INSERM UMR 1092, Resinfit CHU de Limoges

Université de Limoges

sophie.alain@unilim.fr

Erwan FERRANDON

Institut de recherche Xlim, CNRS UMR 7252

Université de Limoges

erwan.ferrandon@gmail.com

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/433>

DOI : 10.25965/lji.433

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La complexité de la pandémie de COVID-19 révèle d'importants débats méthodologiques et des défis quant à l'articulation de différentes approches de recherche. La recherche sociétale actuelle concernant la COVID-19 met en évidence la nécessité d'une étude holistique de la situation de la pandémie de COVID-19, fondée sur une approche de recherche multidisciplinaire. L'approche multidisciplinaire apparaît indispensable pour saisir l'ennemi invisible qu'est le virus SARS-COV-2 et ses conséquences sociétales à « l'effet domino ». Dans cet article, nous proposons des pistes de réflexion concrètes qui s'appuient sur les approches méthodologiques de l'intelligence collective et de co-design. En effet, celles-ci permettent d'engager une logique de fertilisation croisée des disciplines en positionnant l'objet d'étude au centre des préoccupations de chacune des disciplines convoquées. C'est à partir de cette fertilisation croisée que le projet CovZion pourra évoluer en passant d'un dispositif multidisciplinaire à un

dispositif interdisciplinaire voire transdisciplinaire permettant une lecture à 360 degrés de la situation sociétale complexe et inédite qu'est la crise COVID-19. Cette approche transdisciplinaire est essentielle et connaît des implications importantes, notamment celle de fournir des outils permettant une meilleure efficacité dans la gestion des crises sanitaires par les politiques de santé publiques particulièrement.

Mots clés : COVID-19, multidisciplinarité, intelligence collective, co-design, transdisciplinarité

Abstract: The complexity of the COVID-19 pandemic reveals important methodological debates and challenges with regard to the articulation of different research disciplines. The current COVID-19 societal research highlights the need for a holistic study of the COVID-19 pandemic issues based on a multidisciplinary research approach. The multidisciplinary approach appears to be essential to seize the invisible enemy of SARS-CoV-2 virus and related "domino effect" of consequences. In this article, we propose concrete avenues of reflection, drawn on innovative approaches of collective intelligence and co-design. Indeed, these approaches allow to initiate a logic of cross-fertilization of different disciplines by positioning the object of the study at the center of concerns of each of these disciplines. It is from this cross-fertilization that the CoviZion project will be able to evolve from a multidisciplinary device to an interdisciplinary or even transdisciplinary device allowing a 360-degree reading of the complex and unprecedented societal situation that is the COVID-19 crisis. This transdisciplinary approach is essential and has important implications, such as providing tools for better efficiency in the sanitary crisis management, particularly through public health policies.

Keywords: COVID-19, multidisciplinarity, collective intelligence, co-design, transdisciplinarity

Nous remercions à Camelia POPESCU et à Yann LAUNAY de IRCER, UMR CNRS 7315, Université de Limoges, 12 rue Atlantis, 87068, Limoges, France, pour leur collaboration au projet de recherche CoviZion.

Introduction

Le programme de recherche multidisciplinaire CoviZion : « Mises en récit d'un virus : Représentations, images et imaginaires. Représenter et comprendre pour mieux agir et vivre avec » est le projet lauréat de l'AMI FLASH Recherche et Innovations COVID de la région Nouvelle-Aquitaine, France. Le programme de recherche CoviZion est porté par le Centre de Recherches Sémiotiques - CeReS et l'Institut de recherche Xlim de l'Université de Limoges. Ainsi, CoviZion s'articule autour d'une collaboration innovante entre les sciences du vivant, les sciences et techniques et les sciences humaines et sociales qui vise à construire une vision holistique de la pandémie de COVID-19 (Pelletier et al., 2021 ; Pelletier, McLaughlin, Valette, Lefort, & Boespflug, 2021). En effet, le virus SARS-CoV-2 qui est à l'origine de la maladie de Coronavirus est étudié par des chercheurs en sciences du vivant par des méthodes issues du domaine de la virologie, de la physique, des sciences computationnelles et des solutions nanométriques de microscopie qui permettent d'imager la représentation biologique du nouveau virus par des méthodes innovantes. En parallèle, les chercheurs en sciences humaines et sociales mettent en place les protocoles de recherche innovants et adaptés à la situation inédite fondés sur les méthodes mixtes (méthodes quantitatives et qualitatives). Ces protocoles de recherche visent à étudier les spécificités des représentations que les populations ont du virus invisible SARS-CoV-2, ainsi que les conséquences cognitives, émotionnelles, sociales et comportementales de la pandémie COVID-19 sur la population.

1. L'Intelligence collective : une démarche méthodologique adaptée à l'interdisciplinarité

La complexité de la pandémie de COVID-19 révèle d'importants débats et défis méthodologiques en ce qui concerne l'articulation des différentes approches et méthodologies de recherche. L'approche interdisciplinaire et multi-méthodologique s'avère d'autant plus nécessaire que les phénomènes sociétaux sont complexes (Pelletier, 2016). Spécifiquement, la pandémie de COVID-19 met en évidence un besoin immédiat : la mise en place d'une approche de recherche interdisciplinaire qui permette de saisir la complexité de la réalité de la pandémie de COVID-19. Toutefois, la mise en place de l'approche interdisciplinaire est assez délicate, particulièrement lorsqu'il s'agit de construire un dialogue entre les sciences et techniques et les sciences humaines et sociales et d'autant plus difficile dès l'instant où ce dialogue croisé à construire a comme objet d'étude une crise inédite et un ennemi invisible

Ainsi, engager une approche d'intelligence collective en recherche scientifique est une démarche innovante particulièrement pertinente pour faciliter la construction de l'interdisciplinarité au service de l'objet d'étude.

En effet, l'intelligence collective s'inspire de collectifs biologiques tels que les insectes sociaux qui démontrent une coordination distribuée entre les individus remarquablement efficace et qui leur permet d'atteindre des objectifs particulièrement complexes (Malone, Atlee, & Lévy, 2008). Les exemples

emblématiques de ces collectifs biologiques qui vivent en colonies sont : les fourmis, les communautés bactériennes ou encore les troupes d'oiseaux (Pratt, 2019). Ainsi, les collectifs biologiques sont une source d'inspiration pertinente pour les équipes hétérogènes qui visent à aboutir à un objectif commun. Quelques rares recherches qui portent sur les processus psychologiques démontrent que l'intelligence collective est le résultat d'une combinaison de processus complexes qui sont aussi bien descendants qu'ascendants, tels qu'une communication de groupe efficace, la diversité cognitive, y compris divers styles de pensée et perspectives, et la cohésion sociale qui permettent d'effectuer des tâches innovantes et complexes. (Woolley, Aggarwal, & Malone, 2015). Par conséquent, l'intelligence collective est le résultat de diverses interactions sociales entre différents individus qui construisent un « super-organisme », ancré dans une dimension spatio-temporelle particulière et ayant un objectif commun (Trianni, Tuci, Passino, & Marshall, 2011).

2. Le co-design : une démarche de travail collectif centrée sur l'humain

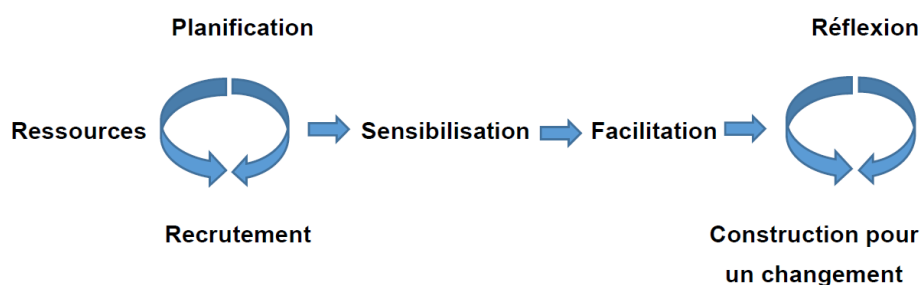
A l'instar de l'intelligence collective, la démarche de travail du design collaboratif vise à unir les efforts au sein d'une équipe hétérogène pour apporter une solution innovante qui est centrée sur l'utilisateur. Le premier postulat de co-design est que les solutions de conception n'ont une signification seulement si elles apportent des éléments d'amélioration concrets dans la vie des individus. Le co-design est par conséquent, avant tout, une démarche pragmatique et appliquée qui vise une amélioration concrète et utile au service des individus. La pensée design émerge dans une équipe hétérogène où les différents individus ont des formes d'expertises différentes. Le co-design apparaît donc comme tout indiqué pour soutenir d'un point de vue méthodologique la construction d'une approche interdisciplinaire. De surcroît, selon certains chercheurs en psychologie, l'hétérogénéité des équipes est une véritable force pour atténuer les différents biais cognitifs qui sous-tendent la génération des idées innovantes et les perspectives monolithiques qui entravent l'innovation (Liedtka, 2015).

Parce qu'il place l'humain au cœur de sa démarche, le co-design est tout indiqué pour faciliter l'émergence d'outils méthodologiques qui permettront de déployer une approche transdisciplinaire sur un défi sociétal : une approche qui ne nourrit pas directement la discipline et les disciplines concernées, mais qui éclaire en premier lieu l'objet d'étude concerné, justement parce que cet objet d'étude concerne l'humain et/ou son environnement. Dans le cadre d'une crise sanitaire de grande ampleur, comme la pandémie de COVID-19, les responsables politiques, les dirigeants d'entreprises, les citoyens et les chercheurs doivent collaborer pour apporter des solutions pratiques, efficaces et adaptées pour pouvoir gérer au mieux la situation de crise. Il s'agit donc, pour le chercheur, en activant les méthodes de co-design, pas seulement d'aller chercher dans une autre discipline de quoi nourrir la sienne, mais bien d'aller au-delà de sa discipline, d'engager une approche transversale, en dépassant les champs disciplinaires, en se situant « au-delà » et/ou « à travers » pour fournir, dans une approche globale et non compartimentée des éléments de compréhension d'un phénomène sociétal complexe. L'un des exemples est l'une des recherches du programme CoviZion qui vise à investiguer à 360 degrés les images du virus SARS-CoV-2 (Pelletier, Ferrandon, Lefort, Boespflug, McLaughlin, & Alain, *en expertise*). Plus spécifiquement, l'image biologique du virus SARS-CoV-2, obtenue par les méthodes innovantes des sciences et techniques, est confrontée à l'image socialement construite du virus qui émerge dans la

population. L'investigation de ces différentes images du virus SARS-CoV-2, qui régissent les réactions émotionnelles et comportementales de la population face à la pandémie, est cruciale pour une meilleure efficacité dans la gestion des crises sanitaires par les politiques de santé publiques.

Toutefois, la construction de l'interdisciplinarité au service de l'objet d'étude s'avère particulièrement complexe. Les chercheurs ont récemment identifié plusieurs étapes qui sont nécessaires à une démarche de co-design dans le cadre de la gestion et l'innovation dans le domaine public (Trischler, Dietrich, & Rundle-Thiele, 2019). Ces étapes qui sont représentées dans la Figure 1., présentée ci-dessous impliquent : 1) Ressources 2) Planification, 3) Recrutement, 4) Sensibilisation, 5) Facilitation, 6) Réflexion et 7) Construction pour un changement.

Figure 1 : Les étapes de co-design pour la construction d'un changement dans le domaine public



Source : Trischler, Dietrich, & Rundle-Thiele (2019)

Les étapes de co-design pour la construction d'un changement dans le domaine public, présentées ci-dessus, visent à aboutir à des solutions à la fois viables et utiles pour la collectivité. Ces étapes qui soulignent une démarche étroitement collaborative démontrent les étapes à la fois itératives et séquentielles. Le modèle souligne la nécessité de l'étape finale de la « Réflexion » qui permet de réévaluer l'appréhension initiale du problème sociétal et les solutions qui y ont été initialement apportées. La démarche itérative finale entre l'étape de la « Réflexion » et l'étape « Construction pour un changement » démontre l'importance de la pensée innovante en tant que catalyseur d'un changement sociétal. Par conséquent, ce modèle de co-design, axé sur les besoins de la population, s'avère particulièrement pertinent pour projet CoviZion qui pourra ainsi évoluer en passant d'un dispositif multidisciplinaire à un dispositif interdisciplinaire voire transdisciplinaire.

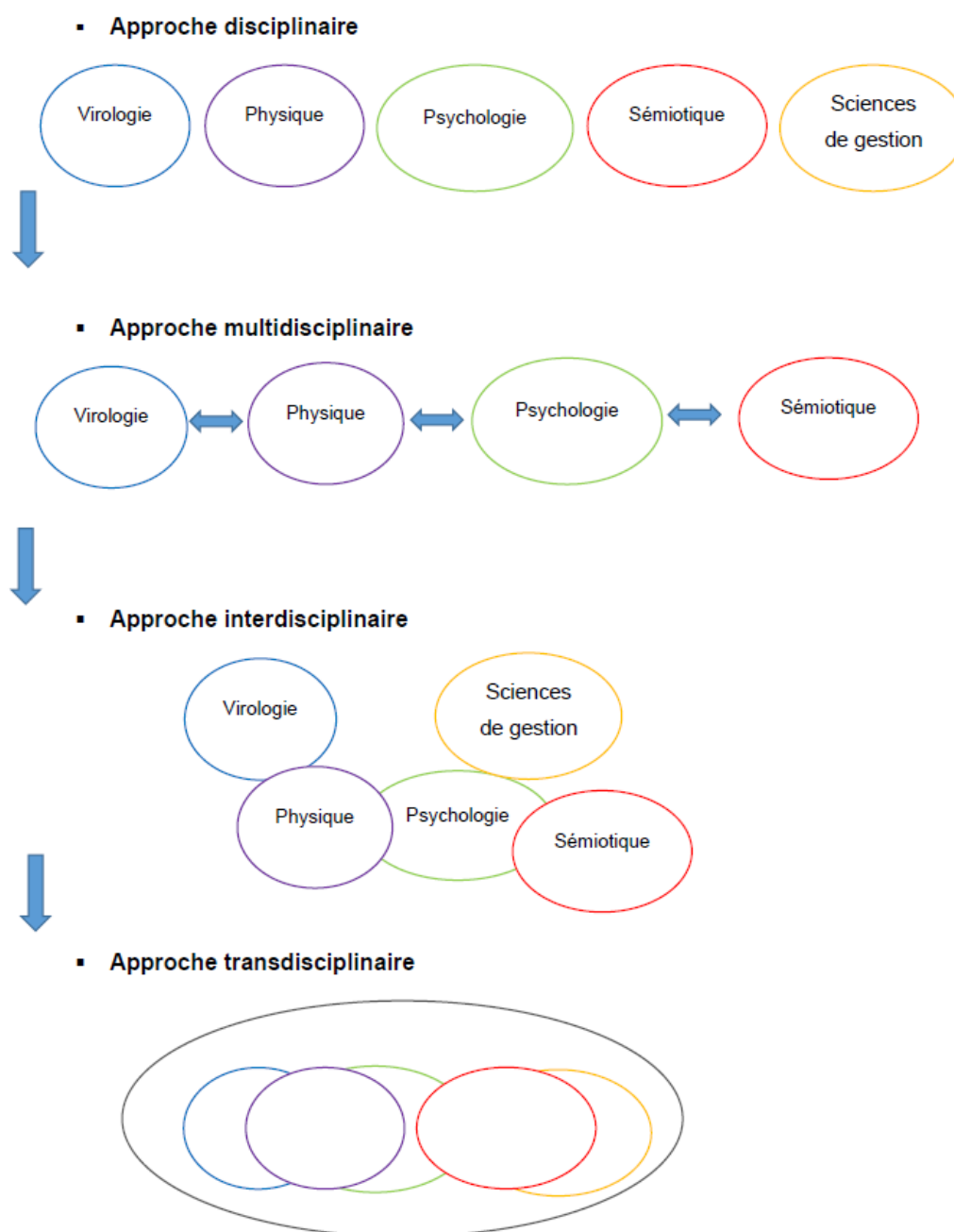
3. COVID-19 : De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité

La démarche scientifique, basée sur une méthodologie qui combine de différentes approches et méthodes s'avère indispensable compte tenu de la complexité de la pandémie de COVID-19. Ainsi, le programme de recherche CoviZion est un véritable défi scientifique qui combine les approches et les méthodes des sciences du vivant, des sciences et techniques et les sciences humaines et sociales dans l'objectif d'investiguer les images et les représentations du virus SARS-CoV-2 et ses conséquences sur les populations. La démarche méthodologique, inspirée par les démarches de l'intelligence collective et de co-design est non seulement novatrice, mais elle permet également de centrer la recherche sur la population pour obtenir les résultats applicables et concrets au service de cette population. En clair, le

co-design est sollicité pour construire des méthodologies transdisciplinaires centrées sur l'humain et au service de l'humain.

Ainsi, si la démarche scientifique et méthodologique du projet CoviZion permet un croisement disciplinaire certain, le projet, en s'appliquant les outils de co-design construit progressivement une approche transdisciplinaire afin d'apporter de nouvelles connaissances permettant une meilleure compréhension de la crise inédite de la COVID-19. Cette orientation vers la transdisciplinarité n'est pas sans difficultés : elle implique de sortir des approches disciplinaires, de faire communiquer entre eux des langages spécialisés qui n'ont pas pour habitude de dialoguer entre eux, d'accepter de regarder entre les disciplines et au-delà de celles-ci, de se décentrer d'un point de vue épistémologique, de renforcer sa posture d'écoute : écoute de l'autre chercheur et de son langage, de ses approches méthodologiques (Létourneau, 2010). Ainsi, le défi principal du programme de recherche CoviZion repose sur l'intégration des différentes approches disciplinaires en progressant par étape : de l'interdisciplinarité à la transdisciplinarité (cf., Figure 2.).

Figure 2 : L'intégration progressive de différentes approches de recherche de CoviZion



Source : Produite par nos soins

Ainsi, la transdisciplinarité représente un défi scientifique de la recherche de courant « dominant » (« *mainstream* » *research*) pour apporter un changement et pour être centrée sur l'humain et au service de l'humain (Kirby, Greaves, & Reid, 2006). La transdisciplinarité doit dépasser les frontières disciplinaires habituelles pour une construction nouvelle des connaissances et des démarches méthodologiques qui permettent de saisir de façon holistique les situations sociétales inédites et complexes, telles que la pandémie de la COVID-19.

Conclusion

Le programme de recherche CoviZion exige un décloisonnement, aussi bien disciplinaire que méthodologique, pour l'investigation pertinente des images et des représentations du virus invisible SARS-CoV-2 et de ses conséquences. Ce décloisonnement disciplinaire s'avère indispensable pour une compréhension holistique de la crise complexe que nous traversons et nécessite la mise en place d'outils méthodologiques innovants, notamment par le recours au co-design qui permettront de déployer une approche globale de la crise. La compréhension des différentes représentations de cette crise est en effet un élément-clé pour mettre en place des politiques de prévention et/ou de gestion de crise adaptée et efficace.

Referencias

Kirby, S. L., Greaves, L., & Reid, C. (2006). *Experience Research Social Change: Methods Beyond the Mainstream*. Canada, Toronto: University of Toronto Press.

Liedtka, J. (2015). Perspective: Linking Design Thinking with Innovation Outcomes through Cognitive Bias Reduction. *Journal of Product Innovation Management*, 32(6), 925–938. doi:10.1111/jpim.2015.32.issue-6.

Létourneau, A. (2010). La transdisciplinarité considérée en général et en sciences de l'environnement. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online], 8(2), URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/5253>; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.5253>

Malone, T.W., Atlee, T., & Lévy, P. (2008), *Collective Intelligence: Creating a Prosperous World at Peace*. Earth Intelligence Network, Oakton, VA.

Pelletier, P. (2016). *Propagation des informations menaçantes : le rôle du temps et de l'espace social* [Propagation of threatening information: The role of time and social space] Paris Descartes University – Sorbonne Paris Cité, Paris, France : Thèse de Doctorat).

Pelletier, P., McLaughlin, C., Lefort, C., Boespflug, M., Alain, S., Duteil-Mougel, C., & Ferrandon, E. (2021). *Pandémie de COVID-19 : Les défis méthodologiques de la recherche sociétale actuelle*. [COVID-19 Pandemic: Methodological Challenges of Current Societal Research.]. Communication affichée au 1ère Edition des journées de l'interdisciplinarité à l'université, Université de Limoges, Limoges, France (30 juin – 2 juillet).

Pelletier, P., Ferrandon, E., Lefort, C., Boespflug, M., McLaughlin, C., & Alain, S. (en expertise). COVID-19: From Biological Image to the Social Construction of a Virus. Chapitre invité par *COVID-19 Series: Current Studies on COVID-19*, ISPEC Publishing Agency.

Pelletier, P., McLaughlin, C., Valette, S., Lefort, C., & Boespflug, M. (2021). *COVID-19: From Biological Reality to the Social Construction of a Virus*. International Conference on Innovative Studies of Contemporary Sciences, Tokyo, Japan (February 19-21).

Pratt, S. C. (2019). Collective Intelligence in Social Animals, Dans Jae Chun Choe (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior* (Second Edition), Academic Press, pp. 754-761, ISBN 9780128132524, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.90137-7>.

Trianni, V., Tuci, E., Passino, K. M., Marshall, J. A. R. (2011). Swarm cognition: an interdisciplinary approach to the study of self-organising biological collectives. *Swarm Intelligence*, 5(1), 3–18. <https://doi.org/10.1007/s11721-010-0050-8>

Trischler, J., Dietrich, T., & Rundle-Thiele, S. (2019). Co-design: from expert- to user-driven ideas in public service design. *Public Management Review*, 21(11), 1595-1619, DOI: 10.1080/14719037.2019.1619810

Woolley, A. W., Aggarwal, I., & Malone, T. W. (2015). Collective intelligence and group performance. *Current Directions in Psychological Science*, 24(6), 420–424. DOI: 10.1177/0963721415599543



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

BISCEm, plateforme technologique pour l'exploration du vivant

**BISCEm, a technology platform to explore the living
systems**

Yves CHAMPAVIER

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges PEIRENE, EA7500
contact.biscem@unilim.fr

Lionel FORESTIER

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Inserm, Univ. Limoges, CHU Limoges, IRD, UMR 1094, NET

Emilie GUERIN

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
CHU Limoges

Emilie PINAULT

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Inserm, Univ. Limoges, CHU Limoges, UMR 1248, IPPRITT

Claire CARRION

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges CRIBL, CNRS UMR 7276, Inserm UMR 1262

Alain CHAUNAVEL

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
CHU Limoges
Univ. Limoges CAPTuR, EA3842

Catherine OUK

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges CRIBL, CNRS UMR 7276, Inserm UMR 1262

Sandrine ROBERT

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges CAPTuR, EA3842

Antoine BIETTE

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Ophélie BOUDEAU

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Mohammed BOUDRAHEM

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Laetitia MAGNOL

Univ. Limoges BISCEm, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Inserm, Univ. Limoges, CHU Limoges, IRD, UMR 1094, NET

Agnès PORIEL

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Bernadette REMERAND

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Magali SAGE

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges

Véronique BLANQUET

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Inserm, Univ. Limoges, CHU Limoges, IRD, UMR 1094, NET

Stéphanie DURAND-PANTEIX

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges CRIBL, CNRS UMR 7276, Inserm UMR 1262

Anne-Marie FERREIRA

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges Institut GEIST

Karine VUILLIER

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Inserm, Univ. Limoges, CHU Limoges, IRD, UMR 1094, NET

Anne DRUILHE

Univ. Limoges BISCEM, Inserm US042, CNRS UMS 2015, CHU Limoges
Univ. Limoges CRIBL, CNRS UMR 7276, Inserm UMR 1262

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/157>

DOI : 10.25965/lji.157

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : BISCEM (<https://www.unilim.fr/biscem/>), acronyme de Biologie Intégrative Santé Chimie Environnement, est une plateforme technologique créée par l'Institut de recherche GEIST en 2017. La plateforme regroupe des équipements de pointe permettant la réalisation d'analyses moléculaires, cellulaires et tissulaires et d'expériences sur des animaux, dans le strict respect de la réglementation en vigueur et du bien-être animal. La réalisation des prestations, la formation à l'utilisation des équipements, les conseils dans la conception des expériences et dans l'interprétation des résultats, la veille technologique et la gestion de la plateforme sont assurés par une équipe d'une vingtaine d'agents hautement qualifiés. La plateforme est ouverte à toutes les structures de recherche, publiques ou privées.

Mots clés : séquençage, spectrométrie, microscopie, cytométrie, histologie

Abstract: BISCEM is a technology platform that holds several core facilities dedicated to the analyses of molecules, cells and tissues, as well as to the use of animals according to european regulation. A team of around 20 highly skilled researchers, engineers and technicians is in charge of the platform. The facilities offer a wide range of state-of-the-art equipments (sequencers, spectrometers, microscopes, cytometers, ...) and provide three main services, *i.e.* carrying out experiences, training, and advice for setting up experiments or for analysing data. BISCEM is opened to the entire academic and private scientific community.

Keywords: sequencing, spectrometry, microscopy, cytometry, histology

La science, c'est ce que le père enseigne à son fils.
La technologie, c'est ce que le fils enseigne à son père.

Michel Serres

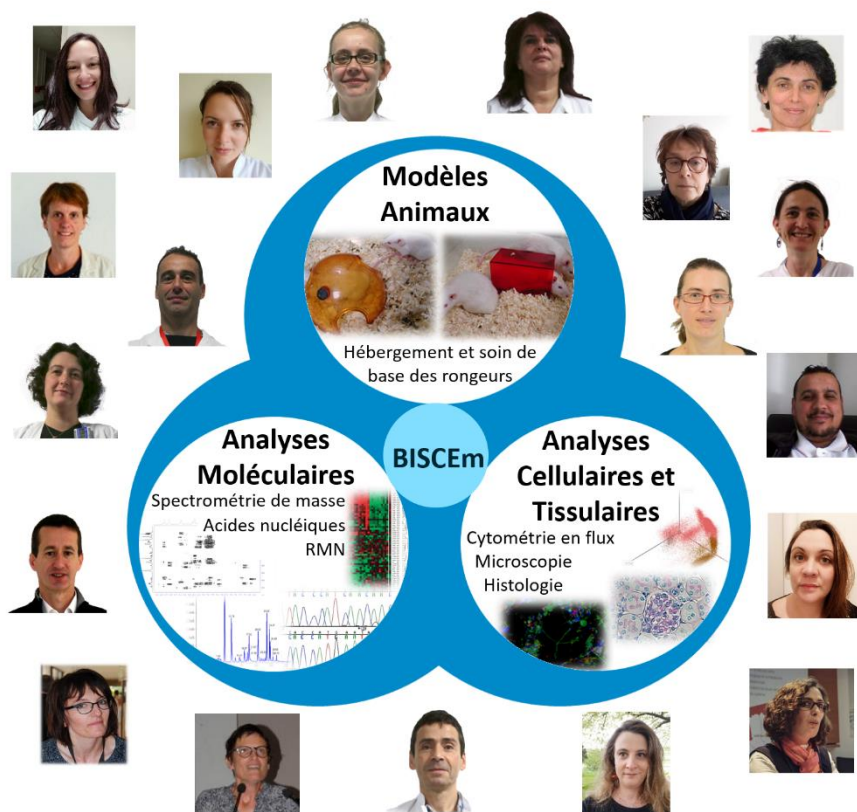
L'avancée des connaissances en sciences biologiques et médicales repose en grande partie sur les progrès technologiques, sur les développements d'équipements d'observation, de détection, de quantification d'évènements à l'échelle d'organismes entiers, de tissus, de cellules, et de molécules. Qui dit équipement de pointe dit aussi coût élevé et savoir-faire spécifique pour les faire fonctionner et analyser les résultats. Afin de rendre accessible ces technologies à tous les laboratoires de recherche en sciences de la vie, ces derniers se sont fédérés pour organiser des plateformes technologiques qui regroupent les équipements de pointe et mutualisent des personnels techniques hautement qualifiés. Le site de Limoges n'a pas échappé à cette mondialisation de la structuration de la recherche ; dès les années 2000, les laboratoires de l'Institut GEIST ont organisé des services communs puis les ont regroupés, en 2017, en une unique plateforme technologique appelée BISCEM. La structuration et la qualité du service rendu ont été reconnu par le CNRS et l'Inserm qui ont fait de BISCEM une de leurs plateformes. En 2020, BISCEM (<https://www.unilim.fr/biscem/>) est devenue plateforme technologique de l'Université et du CHU de Limoges, Unité Mixte de Services 2015 CNRS et Unité de Services 042 Inserm. Cette année, à nouveau, l'activité et le projet de développement de BISCEM sont évalués par les EPST qui se prononceront, d'ici quelques mois, sur le renouvellement de leur confiance pour les six ans à venir.

BISCEM (prononcer « *bissème* ») est l'acronyme de Biologie Intégrative Santé Chimie Environnement en référence aux grands domaines dans lesquels la plateforme intervient. BisCem est aussi le nom d'un ciment médical ; la plateforme BISCEM a été conçue comme un liant technologique entre les unités de l'Institut GEIST. Ce lien comme les nombreuses autres missions de BISCEM, présentées ci-dessous, est assumé par une équipe de vingt agents fonctionnaires, en CDI ou en CDD de l'Université, du CNRS, de l'Inserm, et du CHU. La plupart sont ingénieurs, techniciens ou adjoints-techniques ; BISCEM comprend aussi trois chercheurs et enseignants-chercheurs. Les deux-tiers des agents sont rattachés à des laboratoires de recherche du site (CAPTuR, CRIBL, IPPRITT, NET, PEIRENE) et donnent un temps partiel à la plateforme.

La plateforme est organisée en trois pôles d'activités technologiques et en un pôle transverse qui vient en appui des autres pôles et de la direction pour la gestion administrative, la démarche qualité, la prévention des risques, le suivi des réglementations, et la mise en place de partenariats. La gouvernance est assurée par la direction qui s'appuie sur un comité opérationnel interne à BISCEM et un comité d'orientation stratégique qui est assuré par le conseil de l'Institut GEIST. Les pôles technologiques proposent différents services aux laboratoires : négociation pour l'acquisition de nouveaux équipements et maintien des équipements en bon état de fonctionnement, réalisation d'analyses ou de prestations et rendu de résultats, mise au point de méthodes ou de techniques, conseil aux utilisateurs de la plateforme pour la préparation des échantillons à analyser et pour l'exploitation et la mise en forme des résultats, assistance pour la rédaction des parties technologiques d'appels à projets et de publications, formation des utilisateurs pour une utilisation en autonomie de certains équipements, orientation des utilisateurs vers d'autres plateformes le cas échéant, veille technologique, encadrement d'étudiants stagiaires, et

participation à des unités d'enseignement technologique de l'Université de Limoges. Pour faire appel aux services de BISCEM, une unique adresse est à retenir : contact.biscem@unilim.fr.

Figure 1 : Les personnels et les activités de BISCEM



Les trois pôles technologiques sont le pôle d'Analyses Moléculaires, celui d'Analyses Cellulaires et Tissulaires et celui de Modèles Animaux. Le pôle Analyses Moléculaires regroupe des équipements dits de séquençage d'acides nucléiques comme l'ADN, d'étude des gènes par *polymerase chain reaction* en temps réel, d'analyse des protéines et des petites molécules par spectrométrie de masse et par résonance magnétique nucléaire (RMN). Ces équipements permettent de quantifier les molécules de différentes natures chimiques, d'identifier la composition de ces molécules et de connaître leur structure, c'est-à-dire l'organisation des atomes au sein d'une molécule. Le pôle Analyses Cellulaires et Tissulaires dispose de nombreux équipements : cryostat, microtome, vibratome, automates de coloration et d'immunohistochimie, scanner de lames, microscopes classiques ou dits confocaux pour la fluorescence, cytomètres et imageurs en flux. Ces équipements permettent de couper les tissus en fines lamelles de quelques micromètres d'épaisseur pour les rendre transparents, de trier des cellules en suspension pour obtenir des populations cellulaires homogènes, de colorer les tissus et les cellules avec des « marqueurs » moléculaires, de visualiser les tissus et les cellules et d'analyser les architectures tissulaires et cellulaires. Le pôle Modèles Animaux comprend une animalerie de rongeurs et une structure chargée du bien-être animal (SBEA) et travaille en étroite collaboration avec un vétérinaire et un comité d'éthique dans le respect strict de la réglementation européenne en vigueur sur l'utilisation des animaux à des fins scientifiques. Une animalerie de recherche est un lieu d'hébergement d'animaux et de réalisation d'expériences, de l'étude du comportement d'un animal vigile jusqu'à des gestes

chirurgicaux ou de l'imagerie pratiqués sous anesthésie et analgésie. La structure chargée du bien-être animal conseille les concepteurs de projets utilisant des animaux et les personnes manipulant les animaux afin que le bien-être animal soit respecté tout au long de la vie de l'animal au sein de l'animalerie. Le pourquoi et le comment de l'utilisation des animaux en sciences fait l'objet d'une présentation dans ce livret.

BISCEm gère un parc d'équipements de plus de cinq millions d'euros et dispose de plus de 1100 m² de locaux répartis sur la faculté des sciences et techniques et sur le campus hospitalo-universitaire Marcland. La majorité des équipements sont dans le Centre de Biologie et Recherche en Santé (CBRS). Les équipements ont été achetés majoritairement grâce à des fonds européens, étatiques et régionaux. Ces fonds ont été complétés par des aides des établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST) tutelles d'équipes locales, des associations et fondations de soutien à la recherche et par les ressources propres de la structure. Les coûts directs (consommables et réactifs) de fonctionnement, les maintenances des équipements et certains salaires de personnels en CDD sont pris en charge par le budget de fonctionnement de la plateforme, qui est essentiellement constitué du paiement des prestations par les laboratoires utilisateurs de BISCEm.

En plus de ses ressources propres, BISCEm offre à ses utilisateurs un accès privilégié aux équipements et aux savoir-faire de ses partenaires : CARMALIM d'IRCER, PLATINOM et PREMISS d'XLIM, service d'anatomie pathologique et unité de séquençage du CHU de Limoges, PREBIOS de l'Université de Poitiers.

Les utilisateurs de la plateforme sont majoritairement des structures locales ; en effet, ses utilisateurs réguliers sont sept des huit unités de recherche de l'Institut GEIST, une équipe d'XLIM et un groupe d'IRCER, les facultés de médecine, de pharmacie et de sciences et techniques, certains services du CHU, et trois entreprises de biotechnologies, c'est-à-dire qui génèrent des produits à visée diagnostique ou thérapeutique, à partir d'organismes vivants. Le service rendu localement est important, preuve en est les quarante publications, depuis 2017, dans lesquelles les personnels de BISCEm sont signataires au titre de leur activité dans la plateforme. D'année en année, la sollicitation des personnels de BISCEm est de plus en plus forte pour une contribution comme partenaires des laboratoires de recherche ; en 2021, une dizaine de porteurs de projets a fait appel à l'expertise des membres de BISCEm pour des demandes de financements régionaux ou nationaux, ainsi que pour des demandes d'autorisation ministérielle de projets utilisant des êtres vivants. Le service rendu se traduit également par la formation et l'accompagnement de nombreux étudiants de master 1 ou 2 et de doctorants, en stage dans les laboratoires de recherche de l'Université de Limoges.

À noter, enfin, que BISCEm n'apporterait pas le service de qualité qu'il offre actuellement à ses utilisateurs sans le soutien des services recherche, finance, ressources humaines, prévention, systèmes d'information et qualité de l'Université de Limoges et l'accompagnement de l'Inserm et du CNRS.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Imagerie 3D par microscopie multiphotonique appliquée aux sciences du vivant : la chaîne instrumentale et computationnelle FAMOUS

3D multiphoton microscopy for life sciences: the instrumental and computational pipeline FAMOUS

Claire Lefort

XLIM Research Institute, CNRS UMR 7252, Université de Limoges, France
claire.lefort@cnrs.fr

Mathieu Chalvidal

CerCo, UMR CNRS 5549, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

Alexis Parenté

PEIRENE, EA7500, USC 1061 INRA, Université de Limoges, France

Véronique Blanquet

PEIRENE, EA7500, USC 1061 INRA, Université de Limoges, France

Henri Massias

XLIM Research Institute, CNRS UMR 7252, Université de Limoges, France

Laetitia Magnol

PEIRENE, EA7500, USC 1061 INRA, Université de Limoges, France

Emilie Chouzenoux

Center for Visual Computing, CentraleSupélec, Inria Saclay, Université Paris-Saclay, France

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/221>

DOI : 10.25965/lji.221

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : Nous présentons une nouvelle stratégie instrumentale et computationnelle appelée FAMOUS (pour **fast algorithm for three-dimensional (3D) multiphoton microscopy of biomedical structures**) basée sur une approche de microscopie multiphotonique assistée par calcul. Le but est l'amélioration visuelle des images d'échantillons biologiques épais offrant ainsi un nouveau point de vue sur les structures biologiques. L'approche de post-traitement repose sur un algorithme de restauration d'image régularisé, alimenté par une estimation 3D précise de la fonction d'étalement du point (Point Spread Function en anglais, PSF) de l'instrument sur toute la profondeur des structures. Cette dernière étape revient à mesurer, grâce à un algorithme d'ajustement de modèle avancé, les distorsions variant en profondeur de l'image résultant de la combinaison entre la contribution instrumentale et les hétérogénéités du milieu. Les performances du pipeline FAMOUS sont évaluées pour un milieu hétérogène constitué d'un muscle entier de souris. La génération de seconde harmonique (SHG), émise par l'assemblage des chaînes de myosine du muscle est enregistrée. Les artefacts optiques issus de la chaîne d'acquisition incluant des hétérogénéités dans les 3 dimensions sont estimés avec les spécificités propres à l'échantillon puis retirées numériquement. Des images brutes et restaurées sur 5 μm de l'ultrastructure fine du muscle illustrent la robustesse du pipeline FAMOUS.

Mots clés : imagerie biologique, microscopie multiphotonique, traitements numériques, fonction d'étalement du point

Abstract: We present a new instrumental and computational strategy named FAMOUS (for fast algorithm for three-dimensional (3D) multiphoton microscopy of biomedical structures) based on a computational-assisted

multiphoton microscopy approach. The goal is to visually improve images of thick biological samples, thus offering a new viewpoint on biological structures. The post-processing approach is based on a regularized image restoration algorithm, fed by a precise 3D estimation of the point spread function (PSF) of the instrument over the entire depth of the structures. This last step amounts to measuring, thanks to an advanced model adjustment algorithm, the distortions varying in depth of the image resulting from the combination between the instrumental contribution and the heterogeneities of the medium. The performances of the FAMOUS pipeline are evaluated for a heterogeneous medium consisting of whole muscle of mice. The second harmonic generation (SHG), emitted by the myosin assembly of the muscle is recorded. The optical artefacts from the acquisition chain including heterogeneities in the 3 dimensions are estimated with the specificities specific to the sample and then removed numerically. Raw and restored images of the 5 μm depth of muscle ultrastructure illustrate the robustness of the FAMOUS instrumental and computational chain.

Keywords: biological imaging, multiphoton microscopy, computational image restoration, point-spread-function

Introduction

L'imagerie biomédicale à l'échelle subcellulaire est un challenge pour lequel les solutions existantes présentent toutes des intérêts et des inconvénients. Aujourd'hui, obtenir une image à l'échelle de quelques dizaines de nanomètres est possible par deux méthodes très différentes : la cryo-microscopie électronique et la microscopie optique super-résolue. Ces deux stratégies sont reconnues internationalement et ont d'ailleurs été récompensées chacune par un prix Nobel : Jacques Dubochet en 2017 pour la 1^{ère} et Stefan Hell en 2014 pour la seconde. Dans le 1^{er} cas, l'échantillon est congelé à -196°C puis imagé en microscopie électronique à transmission. Au besoin, l'échantillon peut être tranché en fine lames imagées successivement, puis l'image est reconstruite. De grandes avancées ont été obtenues par ces méthodes avec l'observation dans le plan de structure en 3D d'un complexe d'interaction entre un ribosome et des antibiotiques (Schoen et al., 2018). Ce niveau de performance est imbattable par d'autres méthodes. Cependant, la préparation de l'échantillon est limitante. Elle nécessite des conditions extrêmes de température et de pression qui ne peuvent pas être adaptés à toutes les structures. L'instrumentation particulièrement complexe et cher n'est que très peu disponible pour les équipes de recherche en sciences de la vie. Dans sa version la plus aboutie, la cryo-microscopie électronique fait appel aux très grandes installations comme par exemple le synchrotron Soleil.

Ainsi, seule la microscopie optique donne accès à des images vivantes sans imposer une préparation extrême de l'échantillon. Mais l'optique est rapidement limitée par la diffraction. La résolution optimale accessible est de l'ordre de 200 nm au mieux. Il existe des stratégies optiques sur lesquelles reposent la microscopie optique super-résolue. Le STED (Stimulated Emission Depletion), le SMLM (Single Molecule Localization Microscopy), le SIM (Structured Illumination Microscopy) et les feuillets de lumière sont des méthodes qui ont démontré à de nombreuses reprises leurs performances en termes de nouveaux résultats de biologie obtenus grâce aux performances de résolution (Hell et al., 2015). Pour cette seconde méthode, des paramètres expérimentaux spécifiques sont également nécessaires, soit concernant la source d'excitation qui doit avoir un fort niveau de puissance moyenne soit en termes de fluorophores dont les propriétés de luminescence doivent être spécifiques (extinction de fluorescence par un donut, clignotement...). Là-encore, les cibles biologiques ne peuvent pas toutes résister à de telles conditions.

Les méthodes numériques de reconstruction des images sont encore peu explorées en microscopie optique. On peut répertorier des outils commerciaux comme le logiciel Huygens (SVI, Inc.) dont les traitements permettent d'améliorer la qualité visuelle des images ou encore le système THUNDER Imaging Systems (Leica, Inc.) qui retire numériquement le flou hors focus. Les microscopes optiques proposent souvent des méthodes ad hoc pour traiter en direct les images (filtre Kalman sur le microscope multiphotonique d'Olympus Inc., ou moyennage d'images pour des outils standards). La plupart du temps, il s'agit de solutions astucieuses pour améliorer le rendu visuel des images. Cela présente un intérêt certain pour l'illustration des résultats. Mais ces méthodes ne permettent pas de révéler de nouveaux assemblages structurels biologiques.

Pour extraire réellement de nouvelles informations d'images brutes produites par un microscope optique, il faut être en mesure d'extraire de l'image la contribution de l'instrument, principal

responsable d'artéfacts visuels (aberrations optiques, pupille limitée...). Ainsi, être capable numériquement de retirer la fonction d'étalement du point de l'instrument (Point-Spread-Function en anglais, ou PSF) est un point clé qui doit maintenant être traité par les stratégies numériques et mathématiques les plus récentes et le plus sophistiquées. On trouve dans la littérature des solutions numériques ayant démontré leurs preuves pour des échantillons de faible épaisseur (Boutet De Monvel et al. 2003, Dao et al. 2015, Strohl et al. 2015, Lefort et al. 2021)

Dans cet article, nous présentons le pipeline computationnel et instrumental FAMOUS qui propose une stratégie inédite de génération d'images brutes, associées aux PSF vraies produites simultanément. Ensuite, un traitement algorithmique des PSF d'une part, puis des images brutes d'autres part, en prenant en compte les estimations de PSF, produit des images dont de nouvelles informations structurelles sont mises en évidence sur des échantillons de muscle de souris. Dans cette méthode originale, il n'y a pas de recours préalable à un marquage spécifique ou bien de méthode de clarification de la cible biologique, ni l'utilisation d'un marquage fluorescent particulier. La microscopie multiphotonique est choisie comme solution optique produisant un signal de génération de seconde harmonique (SHG) provenant sans marquage de l'assemblage des chaînes de myosine. Le but ultime de ce travail est de restaurer des données d'image volumétriques de muscle et de révéler de nouvelles informations inaccessibles par d'autres méthodes.

1. Stratégie instrumentale et computationnelle

1.1. La microscopie multiphotonique

La microscopie multiphotonique est basée sur le principe de fluorescence telle que mis en œuvre en microscopie optique plein champs ou confocale, moyennant un phénomène d'excitation à deux photons. Ainsi, deux photons « rouges », c'est-à-dire de faible énergie, se combinent pour produire une excitation provoquant une fluorescence classique. L'intérêt de l'excitation dans les grandes longueurs d'onde par des sources lasers standard ou spécifiques (Lefort 2018), réside dans l'utilisation de lumière faiblement énergétique qui est également faiblement absorbée par les tissus biologiques. Ainsi, de plus grandes profondeurs de pénétration sont accessibles. La résolution de ce système et les limites de profondeur d'imagerie sont évaluées par mesures de fluorescence d'objets standardisés comme des microsphères fluorescentes. Par ailleurs, les marqueurs identiques sont mis en œuvre dans ces trois méthodes. La microscopie multiphotonique présente toutefois un intérêt complémentaire majeur. En effet, si la fluorescence biphotonique est un phénomène d'optique non linéaire facilement opérable, cette stratégie d'excitation pulsée dans le rouge et l'infrarouge ouvre aussi sur un second processus d'optique non linéaire très connu en optique des phénomènes ultrarapides : la génération de seconde harmonique (SHG pour second harmonic generation en anglais). Ce moyen de contraste révèle les structures dites « non centrosymétriques » comme le collagène ou la myosine. Cette dernière est une protéine largement présente dans les structures de muscle. C'est cette cible que nous allons visualiser sur du muscle de souris.

1.2. Le muscle de souris

L'imagerie des structures intra-musculaires est d'un grand intérêt afin d'observer de potentiels modifications intra-musculaires lors de l'utilisation de nouveaux traitements contre la fonte musculaire. Dans cette étude, nous avons travaillé sur une lignée de souris sur-exprimant la protéine GASP-2 (un anti-myostatine pertinent pour induire une hypertrophie musculaire) (Parenté et al. 2020). L'EDL (Extensor digitorum longus) a été prélevé de tendon à tendon sur une souris male âgée de 1 an. L'EDL a été fixé durant une nuit à 4°C dans du paraformaldéhyde à 4 % puis nettoyé dans une solution de PBS (phosphate-buffered saline) contenant les billes fluorescentes. Le muscle entier est ensuite fixé mécaniquement sous l'objectif de microscope et imagé sur toute sa profondeur, soit un total de 200 μm , par microscopie multiphotonique. La SHG produite par l'assemblage de myosine du muscle est enregistrée simultanément à la PSF de l'instrument.

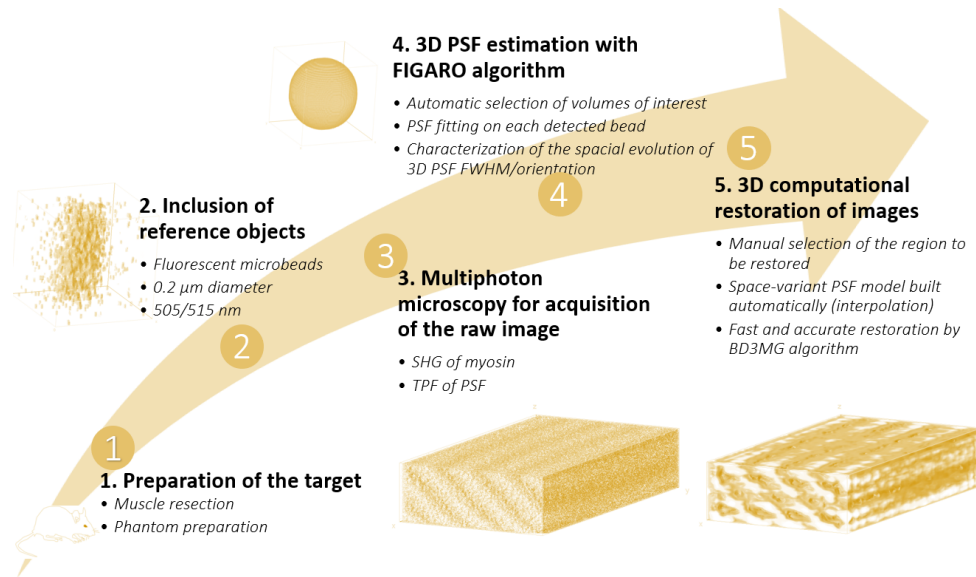
1.3. Stratégie numérique de restauration d'image

Le principe que nous mettons en œuvre numériquement considère l'image produite par le microscope comme étant le résultat d'une convolution entre le signal réel émis par la cible et la contribution instrumentale, comprenant du flou et du bruit. L'enregistrement de la PSF 3D donne ainsi accès à une référence des déformations dont on établit un modèle. Il s'agit ici de considérer le modèle Gaussien 3D de la PSF, une solution mathématique largement admise dans la littérature et considérée comme un modèle solide pour les questions de microscopie (Marim et al. 2008, Chouzenoux et al. 2019). Ainsi, nous avons accès à l'évolution de la PSF 3D dans l'ensemble de l'échantillon optiquement hétérogène (muscle) ou optiquement homogène (gel), ce que nous avons décrit précédemment dans (Lefort et al. 2021). Partant du modèle mathématique de la PSF établi à partir des mesures réelles dans l'échantillon, nous appliquons une méthode de restauration d'image incluant une étape de déconvolution de l'image par le modèle non aveugle de la PSF. La stratégie de restauration repose sur la minimisation d'un critère pénalisé incluant une stratégie d'optimisation efficace et rapide incluant le principe de majorisation-minimisation ainsi qu'une implémentation distribuée efficace sur une architecture multi-cœurs.

2. Le pipeline FAMOUS pour l'imagerie du muscle

2.1. Le pipeline FAMOUS

Figure 1 : Le pipeline instrumental et computationnel FAMOUS en 5 étapes, menant à la production d'une image volumétrique restaurée.

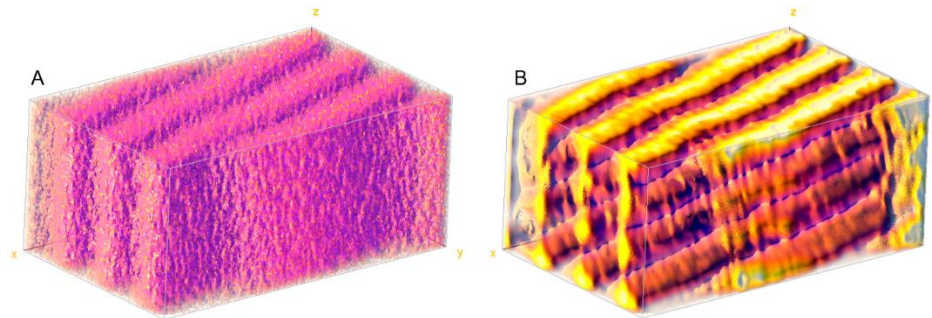


La Figure 1 illustre dans sa globalité les étapes à mettre en œuvre pour construire une image volumétrique restaurée, produite par le pipeline FAMOUS. Les deux premières étapes consistent à préparer l'échantillon pour visualiser la cible d'une part et la calibration fine de l'instrument d'autre part, une étape d'enregistrement des images brutes provenant de la cible et de la PSF est réalisée par microscopie multiphoton, et les deux dernières étapes relèvent de la stratégie computationnelle.

2.2. La restauration des images de muscle de souris enregistrées en microscopie multiphoton

L'ultrastructure fine du muscle strié squelettique est constituée d'un assemblage de myosine et d'actine. Les myofilaments de myosine ont un assemblage non centrosymétrique qui génère un signal de seconde harmonique sous excitation laser pulsée dans l'infrarouge. Jusqu'à présent, seules des images de tranches axiales ou latérales du muscle étaient présentées, révélant ainsi une période comprise entre 1,6 μm et 3 μm selon l'état de contraction du muscle au moment du prélèvement (Hessel et al. 2019).

Figure 2 : A. Image brute enregistrée en microscopie multiphotonique. B. Image reconstruite en appliquant le pipeline FAMOUS.



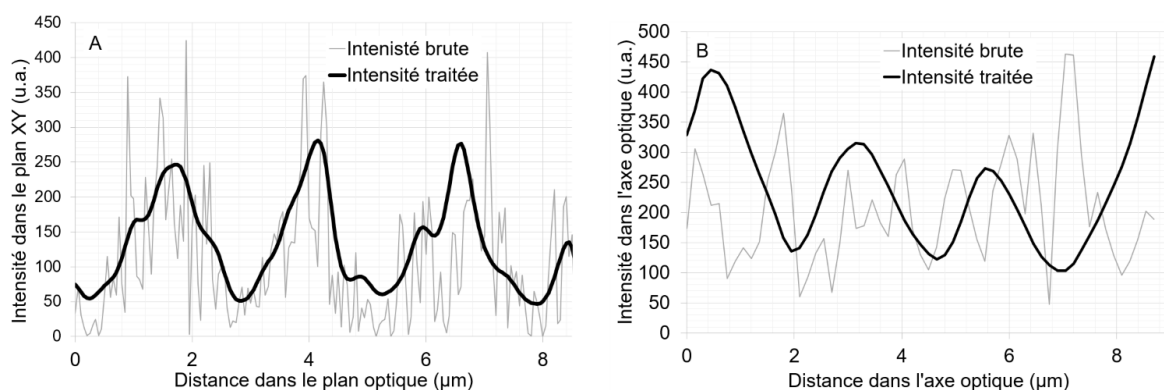
Les images présentées à la Figure 2 illustrent la restauration produite par le pipeline FAMOUS. Il s'agit ici de montrer principalement que la structuration axiale (suivant l'axe z) est noyée dans le flou et le bruit de l'image brute (Figure 2A) alors que la stratégie instrumentale et computationnelle inédite permet de révéler l'organisation « tubulaire » de la myosine dans l'axe vertical.

2.3. Quantification de la structure de la myosine

Nous avons révélé à la Figure 2B l'organisation de l'ultrastructure fine du muscle dans l'axe de l'acquisition. Nous pouvons pour la 1^{ère} fois, mesurer les périodicités planaires (plan XY) et axiales (axe Z). La Figure 3 trace les niveaux d'intensité de SHG de la myosine dans le plan optique (XY) et dans l'axe optique YZ. Ainsi, si la structuration de la myosine dans le plan optique reste exploitable à partir des images non traitées (Figure 3A), ce n'est pas le cas pour la structuration dans l'axe optique (Figures 2A et 3B). En effet, la périodicité axiale de la myosine n'est visualisable qu'après traitement computationnel des images.

La périodicité de l'assemblage du muscle EDL pour la souris issue de la lignée Gasp-2 est de $2,57 \mu\text{m}$ dans le plan optique XY. Dans l'axe optique, ici représenté par l'axe YZ, cette périodicité est de $2,55 \mu\text{m}$. Les valeurs de périodicité sont cohérentes entre-elles, ce qui est une nouveauté et donne ainsi accès à un nouveau type d'information.

Figure 3 : intensité de SHG de la myosine (A) dans le plan optique XY le long d'un axe perpendiculaire à l'orientation du signal de SHG (B) et le long de l'axe optique YZ à l'emplacement de la myosine.



Conclusion

La visualisation de la structuration tridimensionnelle de la myosine du muscle est nouvelle. C'est la 1^{ère} fois que l'ultrastructure fine du muscle est révélée dans toute la profondeur de la structure grâce au pipeline instrumental et computationnel FAMOUS. Les informations nouvellement disponibles doivent maintenant être prises en compte par les spécialistes de ce domaine et interprétées. Par exemple, nous pouvons nous demander de quelle façon se traduit l'hypertrophie à l'échelle de l'ultrastructure fine. Bien sûr, cela est visible macroscopiquement sur les muscle eux-mêmes. Mais aucune modification de la périodicité de myosine n'est mise en évidence. Une analyse complémentaire des niveaux d'intensité de SHG générés entre différentes lignées de souris (sauvages et hypertrophiées) apporte de nouvelles informations. L'assemblage de myosine peut-il être plus ou moins dense sans pour autant être espacé différemment ? Si cette hypothèse était avérée, cela pourrait avoir un impact sur l'organisation des brins de myosine entre eux ainsi que dans leur environnement protéique direct, notamment avec l'actine. Ces hypothèses nécessitent encore d'être étayées par des mesures complémentaires.

Références

BOUTET DE MONVEL J, SCARFONE E, LE CALVEZ S and ULFENDAHL M, 2003, *Image-adaptive deconvolution for three-dimensional deep biological imaging*, Biophys. J. 85 3991–4001.

CHOUZENOUX E., TSZ-KIT Lau T., LEFORT C., PESQUET J.-C., 2019, *Optimal Multivariate Gaussian Fitting with Applications to PSF Modeling in Two-Photon Microscopy Imaging*, Journal of Mathematical Imaging and Vision, 61 (7), pp. 1037-1050.

DAO L, Glancy B, LUCOTTE B, CHANG L-C, BALABAN R S and HSU L-Y, 2015, *A model-based approach for microvasculature structure distortion correction in two-photon fluorescence microscopy images*, J. Microsc. 260 180–93.

HELL Stefan W, SAHL Steffen J, BATES Mark, ZHUANG Xiaowei, HEINTZMANN Rainer, BOOTH Martin J, BEWERSDORF Joerg, SHTENGEL Gleb, HESS Harald, TINNEFELD Philip, HONIGMANN Alf, JAKOBS Stefan, TESTA Ilaria, COGNET Laurent, LOUNIS Brahim, EWERS Helge, DAVIS Simon J, EGGELING Christian, KLENERMAN David, WILLIG Katrin I, VICIDOMINI Giuseppe, CASTELLO Marco, DIASPRO Alberto, CORDES Thorben, 2015, *The 2015 super-resolution microscopy roadmap*, J. Phys. D : Appl. Phys. 48, 443001 (35pp).

HESSEL A L, JOUMAA V, Eck S, HERZOG W and NISHIKAWA K C 2019, *Optimal length, calcium sensitivity and twitch characteristics of skeletal muscles from mdm mice with a deletion in N2A Titin*, J. Exp. Biol. 222

LEFORT C., 2018, *Laser sources in multiphoton microscopy: Overview and optimization*, SPIE, International Society for Optics and Photonics, Unconventional Optical Imaging 10677, 106770V.

LEFORT C., CHALVIDAL M. PARENTE A., BLANQUET V., MASSIAS H., MAGNOL L., CHOUZENOUX E., 2021, *FAMOUS : A fast instrumental and computational pipeline for multiphoton microscopy applied to 3D imaging of muscle ultrastructure*, J. Phys. D : Appl. Phys. 54, 274005 (11pp)

MARIM, M., ZHANG, B., OLIVO-MARIN, J.C., ZIMMER, C., 2008, *Improving single particle localization with an empirically calibrated Gaussian kernel*, 5th IEEE Int. Symp. Biomed. Imag. : From Nano to Macro pp. 1003–1006.

PARENTE A., BOUKREDINE A., BARAIGE F., DUPRAT N., GONDRAN-TELLIER V., MAGNOL L., BLANQUET V., 2020, *GASP-2 overexpressing mice exhibit a hypermuscular phenotype with contrasting molecular effects compared to GASP-1 transgenics*, FASEB Journal, 34, 3, 4026 – 4040.

SCHOEN Guy, MUELLER-DIECKMAN Christoph, KANDIAH Eazhisai, EFFANTIN Grégory, HONS Michael, 2018, *Prix Nobel de chimie : la cryo-microscopie électronique, principes et applications*, The Conversation.

STROHL F, KAMINSKI C F, 2015, *A joint Richardson–Lucy deconvolution algorithm for the reconstruction of multifocal structured illumination microscopy data*, Methods Appl. Fluoresc. 3 014002.



**Les journées de
l'interdisciplinarité**

Créer un langage végétal

Creating a plant language

Camille REIDT

Ecole Nationale Supérieure d'Art de Limoges, Laboratoire CCE
camillereidt31@gmail.com

Michel PAYSANT

Ecole Nationale Supérieure d'Art de Limoges, Laboratoire CCE
michel.paysant@ensa-limoges.fr

Idelette PLAZANET

InPlanta, ESTER TECHNOPOLE, Limoges
idelette.plazanet@inplanta.fr

David MARIONNET

InPlanta, ESTER TECHNOPOLE, Limoges
david.marionnet@inplanta.fr

Vincent GLOAGUEN

Université de Limoges, Laboratoire PEIRENE - E2Lim (EA7500)
vincent.gloaguen@unilim.fr

URL : <https://www.unilim.fr/journees-interdisciplinarite/445>

DOI : 10.25965/lji.445

Licence : CC BY-NC-ND 4.0 International

Résumé : La rencontre du chercheur et de l'artiste peut-elle conduire à la création d'un langage végétal ? A l'origine d'un dialogue interculturel entre chercheurs en sciences végétales et artistes plasticiens, ce questionnement a servi de fil conducteur à la définition d'une véritable dialectique végétale. Cet article propose une contribution tout à la fois expérimentale et méthodologique qui débouche sur la mise en oeuvre d'une recherche transdisciplinaire originale. Les pistes d'étude empruntées à cette occasion, tout comme les approches scientifiques et technologiques retenues pour sa mise en oeuvre, sont illustrées par le processus de création d'une oeuvre majeure baptisée *Essentia*.

Mots clés : artistes, chercheurs, langage végétal, art conceptuel

Abstract: Is it possible that the meeting of a researcher and an artist could lead to the creation of a plant language ? At the origin of an intercultural dialogue between researchers in plant sciences and visual artists, this question has served as a guideline for the definition of a true plant dialectic. This article proposes a contribution, which is both experimental and methodological, that leads to the implementation of original transdisciplinary research. The avenues of study taken on this occasion, as well as the scientific and technological approaches chosen for its application, are illustrated by the creation process of a major work called *Essentia*.

Keywords: artists, researchers, plant language, conceptual art

Introduction

Comment faire parler les plantes ? Comment leur permettre d'exprimer qu'elles sont une composante indispensable du vivant, l'ingrédient nécessaire d'une harmonie entre l'homme et l'environnement ? Cette dialectique végétale inscrite en filiation de la pensée naturaliste hégélienne est née de cette recherche transdisciplinaire entre chercheurs en sciences végétales spécialistes de la valorisation durable des ressources végétales et artistes plasticiens qui questionnent la fragilité de notre société en puisant leur inspiration dans l'interaction du vivant avec la matière. Une telle approche a été présentée à l'occasion des expositions « *L'Arbre de Darwin* » (Reidt, 2018) et « *Formes vivantes* » (Reidt, 2019) puis reportée à l'occasion de l'édition 2021 des fêtes de la Science intitulée « *Planète Nature* » (Gloaguen & Paysant, 2020).

Saisissant la démarche proposée par l'Université de Limoges à l'occasion de l'organisation des premières journées de l'interdisciplinarité, artistes et chercheurs ont souhaité présenter plus particulièrement leur démarche méthodologique et les pistes d'études empruntées pour développer un tel langage. Ce processus créatif sera finalement illustré par la présentation d'une œuvre majeure baptisée *Essentia*.

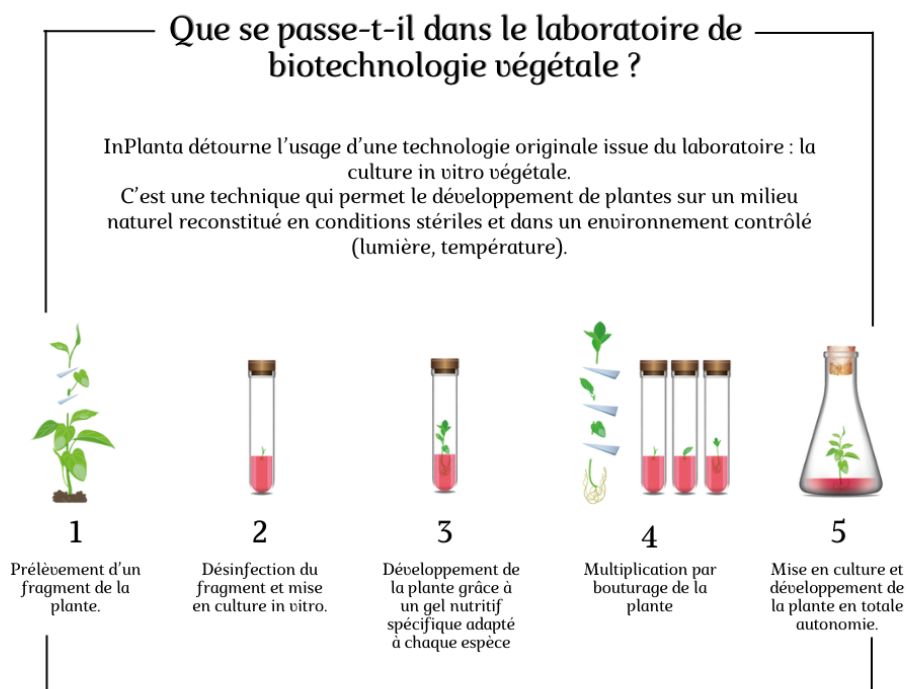
1. Un regard croisé sur les plantes et les technologies végétales

1.1. La culture *in vitro* végétale comme outil pour le chercheur

Au cours de leurs échanges préalables, chercheurs et artistes font le constat que les végétaux sont des organismes fixés et que cet immobilisme les invite à une grande capacité adaptative destinée à préserver la vie de l'organisme face aux agressions du milieu. La multiplication végétative est une illustration de cette faculté adaptative souvent observée chez les organismes végétaux qui sont parfois capables de se multiplier de manière asexuée par fragmentation, bouturage ou encore marcottage.

Cette extraordinaire et fascinante capacité des végétaux a été très largement exploitée par le laboratoire PEIRENE-E2Lim et la société InPlanta qui utilisent dans le cadre de leurs recherches académiques et/ou des développements applicatifs qui en découlent, des modèles de plantes cultivées *in vitro* (figure 1 ; Vidalie, 1999).

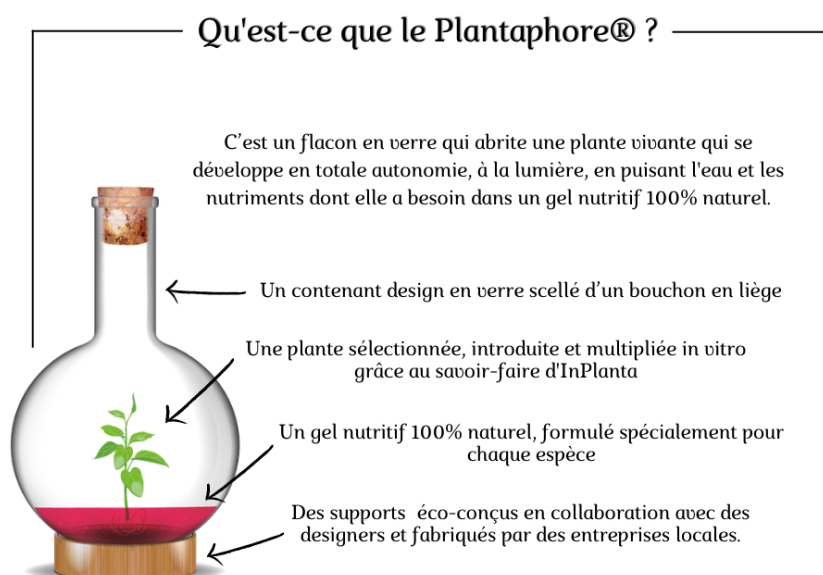
Figure 1 : le processus de culture *in vitro* végétale



Crédit image ©InPlanta

Placées dans un espace clos, à l'abri de toute contamination chimique et microbiologique, disposant des quantités de nutriments et d'eau nécessaires à leur croissance, les plantes ainsi cultivées vont pouvoir se développer durablement, sans aucune intervention. Le concept des Plantaphores® était né (figure 2).

Figure 2 : le concept du Plantaphore®.



Crédit image ©InPlanta

Dans une approche tout à la fois technologique et esthétique, des plantes remarquables grandissent durablement dans leur enceinte protectrice au design contemporain, sans entretien. Il est ainsi recréé un jardin intérieur, un véritable écosystème miniature, tout à la fois parfaitement autonome et fragile dans son équilibre comme tout objet vivant.

1.2. La culture *in vitro* végétale comme source d'inspiration pour l'artiste

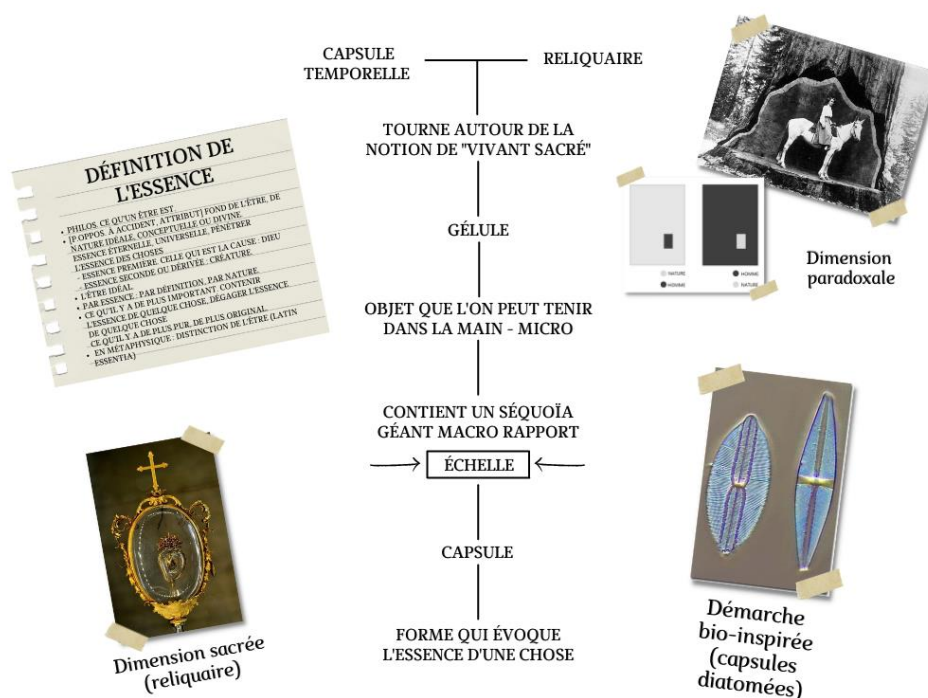
Le Plantaphore®, cet univers végétal artificiel, s'avère utopique pour l'artiste. Il convoque l'imaginaire, il idéalise la plante lui donnant un air tellement parfait que cela s'avère presque irréel, impossible. Il devient la représentation d'un univers idéal, sans défaut et le questionne. Dans une démarche presque contemplative il donne enfin à voir les plantes, à en apprécier l'esthétisme des formes.

Cette nature artificielle totalement préservée et contrôlée par le scientifique se transforme progressivement dans l'esprit de l'artiste en promesse d'avenir. La promesse d'un recommencement, la possibilité d'un réensemencement des écosystèmes dégradés. Les plantes ainsi cultivées s'affichent alors comme le salut possible de l'humanité (Reidt *et al*, 2021).

2. La création : de l'esquisse d'artiste à la création de l'œuvre originale

Les Plantaphores® développés à l'interface du Laboratoire PEIRENE - E2Lim et de la société InPlanta sont alors réinterprétés par l'artiste comme autant d'écosystèmes miniatures, à mi-chemin entre la capsule temporelle et l'étui reliquaire (figure 3). Ils ont désormais pour but de protéger, de préserver et de transmettre.

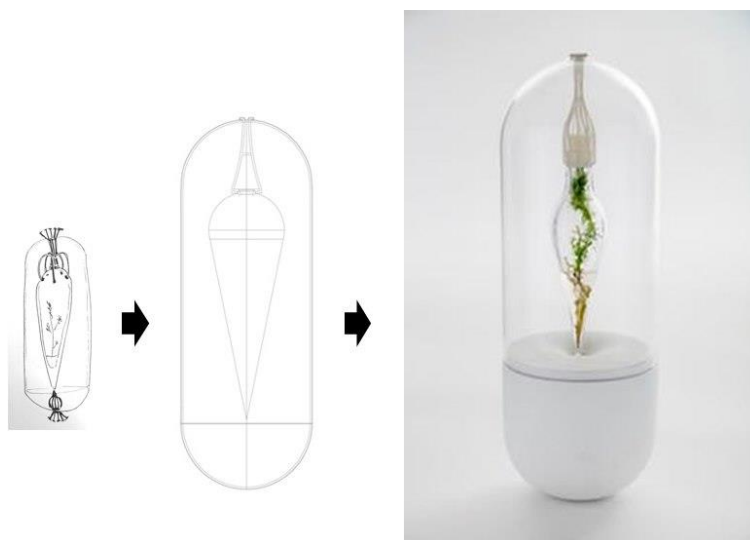
Figure 3 : une démarche méthodologique et un processus créatif bio inspirés.



Crédit image et photo ©C. REIDT

Les plantes y sont déposées pour y être protégées des agressions du milieu extérieur mais aussi pour y être mises à distance de l'homme. S'appuyant sur une démarche bioinspirée / biomimétique, cette capsule temporelle a été pensée comme un véritable étui reliquaire. Elle incarne désormais l'essence d'une chose, son âme (figure 4).

Figure 4 : de l'esquisse d'artiste à la création de l'œuvre originale. **Essentia** - Verre soufflé, porcelaine, impression 3D stéréolithographie, plante : *Sequoia sempervirens* (Séquoia toujours vert), gélose In-Planta. Diamètre 13 cm, H : 36 cm. Vue de l'exposition Formes Vivantes, Musée National Adrien Dubouché, 2019.



Crédit image et photo © C. REIDT et ©InPlanta

Conclusion

À mi-chemin entre la capsule temporelle et l'étui reliquaire, ces œuvres vivantes sont constitutives d'une démarche artistique originale et séduisante qui fait naître un véritable langage végétal. Elles expriment au grand public tout comme aux passionnés d'art l'idée d'une nature fragile, protégée et à protéger. Ces œuvres ont elles-mêmes vocation à préserver et transmettre la diversité végétale. Elles représentent en tout cas un hymne à la beauté végétale, à la biodiversité, à sa préservation, à sa valorisation.

Références

GLOAGUEN Vincent et PAYSANT Michel, octobre 2020. *Entre utopie et dystopie, créer un langage végétal*. The Conversation, disponible sur <https://theconversation.com/entre-utopie-et-dystopie-creer-un-langage-vegetal-143628>.

REIDT Camille, 2018, l'arbre de Darwin. FRAC-Artothèque Limousin Nouvelle-Aquitaine. <http://www.fracartothequenouvelleaquitaine.fr/index.php/2018-l-arbre-de-darwin>.

REIDT Camille, 2019, formes vivantes. Musée national Adrien Dubouché, Limoges. <http://www.musee-adriendubouche.fr/fr/activit%C3%A9s/archives>.

REIDT Camille, PLAZANET Idelette, GLOAGUEN Vincent, PAYSANT Michel, 2021. *Les plantes, l'artiste et le chercheur. L'inventaire du vivant*. Coédition Ensa Limoges, Naima, pp 219-227. ISBN 978-2-37440-153-9, 236 p.

VIDALIE Henri, 1999. La culture *in vitro* et ses applications horticoles. Techniques et Documentations, ISBN 2852065045, 224 p.